

PARTE

1

Introdução à Termologia

Na Termologia, a matéria é estudada em seu aspecto microscópico e em seu comportamento global. Nesta parte apresentamos os conceitos fundamentais para os dois tipos de abordagem adotados.

RAINER JENSEN / CORBIS-LATINSTOCK



■ Este operário de siderúrgica, com roupas protetoras especiais, junto ao forno com ferro fundido, tem uma atividade profundamente ligada aos conceitos discutidos nesta introdução.



CAPÍTULO 1. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Conceitos fundamentais

JUCA MARTINS/OLHAR IMAGEM



1. TERMOGIA: OBSERVAÇÕES MACROSCÓPICAS, INTERPRETAÇÕES MICROSCÓPICAS
2. ENERGIA TÉRMICA E CALOR
3. NOÇÃO DE TEMPERATURA
4. OS ESTADOS DE AGREGAÇÃO DA MATÉRIA

■ Nesta introdução à Termologia, apresentamos o conceito de energia térmica e enfatizamos o caráter energético do calor. A noção de temperatura é discutida do ponto de vista macroscópico e do microscópico. Os estados de agregação da matéria também são analisados macroscópica e microscopicamente. Para nós, a fonte de calor mais importante é o Sol.



1. Termologia: observações macroscópicas, interpretações microscópicas

Na Termologia, parte da Física com que iniciamos o segundo volume, estudamos os fenômenos ligados à energia térmica (fenômenos térmicos). Esses fenômenos, assim como outros fenômenos físicos, podem ser interpretados sob duas perspectivas que freqüentemente se completam: a macroscópica e a microscópica.

O estudo macroscópico está relacionado com os aspectos globais do sistema, como o volume que ocupa, sua temperatura e outras propriedades que podemos perceber por nossos sentidos. Ao estudar a Mecânica, no primeiro volume, geralmente adotamos o ponto de vista macroscópico, analisando apenas as propriedades do sistema na sua interação com o ambiente, como energia mecânica, posição, velocidade etc. Entretanto, muitas vezes, para uma compreensão mais aprofundada de um fenômeno, é importante adotar também o ponto de vista microscópico, considerando então grandezas que não percebemos pelos nossos sentidos e que são medidas indiretamente.

Nos fenômenos térmicos, microscopicamente, consideramos a energia das moléculas, suas velocidades, interações etc. Nessa análise, os resultados obtidos devem ser compatíveis com o estudo feito por meio de grandezas macroscópicas.

As perspectivas macroscópica e microscópica completam-se na Termologia, propiciando uma compreensão mais profunda de um mesmo fenômeno. Exemplificando, a noção de temperatura obtida a partir da sensação táctil de quente e frio (ponto de vista macroscópico) aprofunda-se ao considerarmos o movimento molecular e entendermos a temperatura a partir desse movimento (ponto de vista microscópico).

Esse entrelaçamento de perspectivas ocorre em vários outros ramos da Física, sendo característico do estudo atual dessa ciência.



2. Energia térmica e calor

As moléculas constituintes da matéria estão sempre em movimento, denominado **agitação térmica**. A energia cinética associada a esse movimento é denominada **energia térmica**.

A energia térmica de um corpo pode variar. Por exemplo, se uma certa quantidade de água for colocada junto à chama de um bico de gás, o movimento de suas moléculas se torna mais intenso, isto é, sua energia térmica aumenta. Por outro lado, adicionando-se gelo à água, ocorre a diminuição do movimento molecular da água, isto é, sua energia térmica diminui. Essa ocorrência é ilustrada nas figuras 1a e 1b, nas quais as moléculas de água são representadas esquematicamente por pequenas esferas.

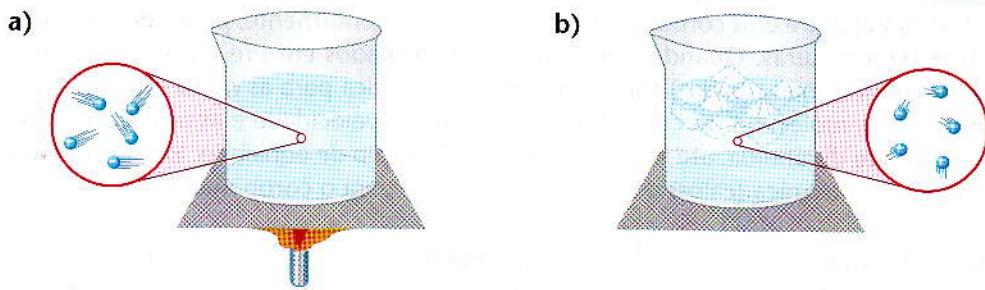


Figura 1. As moléculas da água quente se agitam mais intensamente.

Nesses exemplos, identificamos um corpo quente (a chama do bico de gás) e um corpo frio (o gelo). Note que, ao empregar os termos “quente” e “frio”, estamos utilizando uma noção subjetiva de temperatura, baseada em sensações apreendidas pelo tato. Embora seja uma forma imprecisa de caracterizar a temperatura, essa é a noção que utilizamos no dia-a-dia para dizer que um corpo quente está a uma temperatura mais elevada que um corpo frio.

Ainda pelos exemplos apresentados, podemos concluir que a energia térmica transferiu-se de um corpo para outro (do bico de gás para a água, na figura 1a, e da água para o gelo, na figura 1b), em virtude da **diferença de temperatura** entre eles. À energia térmica **em trânsito** damos o nome de **calor**. Por isso, não se deve falar em calor “contido” num corpo. Quando for necessário dar a idéia da energia contida num corpo, relacionada com a agitação de suas moléculas, deve-se usar a expressão **energia térmica**.

O fato de que o calor é uma forma de energia só foi definitivamente estabelecido na Física no século XIX, graças aos trabalhos dos cientistas William Thompson (conde de Rumford), Joseph Mayer e James Prescott Joule. Nos modelos aceitos até então, o calor era entendido como uma substância imponderável (fluído calórico) que se incorporava aos corpos ou sistemas.

A medida da **quantidade de calor** trocada entre dois corpos é, portanto, uma medida de energia. Sendo assim, a unidade de quantidade de calor no Sistema Internacional é o **joule (J)**. Entretanto, a **caloria** (símbolo **cal**), unidade estabelecida antes de se entender o calor como forma de energia, continua sendo utilizada para medir as quantidades de calor.

A relação entre a caloria (**cal**) e o joule (**J**) é:

$$1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}$$

3. Noção de temperatura

Podemos considerar a **temperatura** de um corpo como a **medida do grau de agitação de suas moléculas**. Desse modo, supondo não haver mudança de fase, quando o corpo recebe energia térmica, suas moléculas passam a se agitar mais intensamente — a temperatura aumenta. Ao perder energia, as moléculas do corpo se agitam com menor intensidade — a temperatura diminui. Na figura 2, as moléculas do gás, representadas esquematicamente por pequenas esferas, aumentam seu grau de agitação ao receberem energia térmica da chama do bico de gás.

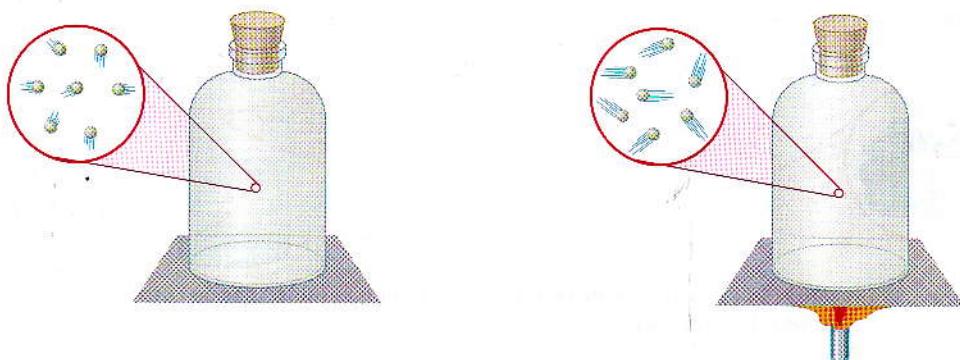


Figura 2. As moléculas do gás, quando colocado sobre a chama, adquirem mais energia cinética, ou seja, o gás passa a apresentar uma temperatura mais elevada.

A transferência de calor entre dois corpos, como acentuamos anteriormente, pode ser explicada pela diferença entre suas temperaturas. Quando dois corpos são colocados em presença um do outro, as moléculas do corpo quente (mais rápidas) transferem energia cinética para as moléculas do corpo frio (mais lentas). Com isso, as moléculas do corpo frio aumentam sua velocidade e as moléculas do corpo quente têm sua velocidade diminuída, até ser alcançada uma situação de equilíbrio. Em outras palavras, há transferência de energia térmica (calor) do corpo mais quente para o corpo mais frio.

A situação final de equilíbrio, caracterizada pela **igualdade das temperaturas** dos corpos, constitui o **equilíbrio térmico**. Assim, dois corpos em equilíbrio térmico possuem obrigatoriamente temperaturas iguais. Uma vez alcançada essa situação, não mais há transferência de calor entre eles.

Sendo assim, podemos concluir que: "se dois corpos estão em equilíbrio térmico com um terceiro, eles estão em equilíbrio térmico entre si". Esse enunciado constitui a chamada **lei zero da Termodinâmica**. Assim, se um corpo A está em equilíbrio térmico com um corpo C e um corpo B também está em equilíbrio térmico com o corpo C, então os corpos A e B estão em equilíbrio térmico entre si.



4. Os estados de agregação da matéria

Estamos habituados com o fato de a água apresentar-se como líquido, sólido ou vapor, podendo passar de uma para outra situação. Assim, como se mostra na figura 3, um cubo de gelo (sólido) pode derreter, passando a líquido; e este, por aquecimento, pode passar a vapor.

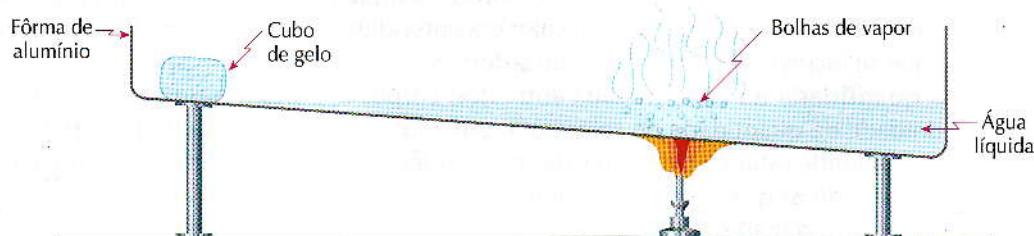


Figura 3. Esquema de um dispositivo em que o gelo se transforma em água líquida, e esta, por aquecimento, se transforma em vapor.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 8.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Sólido, líquido e gasoso constituem os **estados de agregação da matéria** (há uma diferença física entre gás e vapor que discutiremos em outro capítulo, mas ambos correspondem ao estado gasoso). De modo geral, os materiais que nos rodeiam se encontram em um desses estados de agregação.

Um sólido tem volume e forma definidos. Um líquido assume a forma do recipiente que o contém, mas seu volume é definido. Um gás ou um vapor preenche totalmente um recipiente fechado no qual seja colocado, qualquer que seja a forma deste. Portanto, gases e vapores não têm forma nem volume definidos: a forma e o volume são do recipiente no qual se encontram.

Para explicar esses estados de agregação, admite-se que qualquer material é formado de moléculas e que essas estão em movimento, mais intenso ou menos intenso, com maior ou menor liberdade, conforme a intensidade das forças de coesão* entre elas.

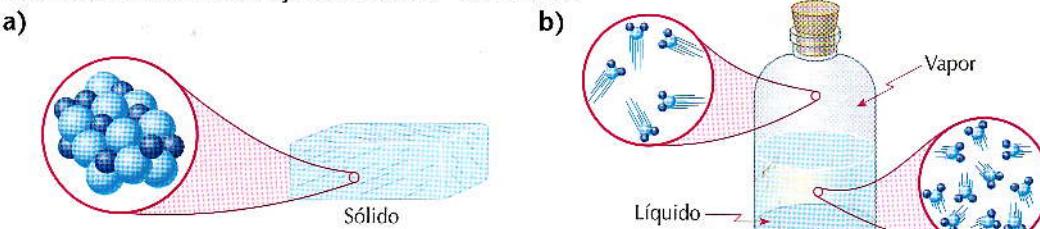


Figura 4. Representação esquemática de como se apresentam as moléculas do corpo no estado sólido (a) e nos estados líquido e gasoso (b).

* Chamam-se **forças de coesão** as forças que se desenvolvem entre moléculas de mesma natureza, e **forças de adesão** as que se desenvolvem entre moléculas de naturezas diferentes.

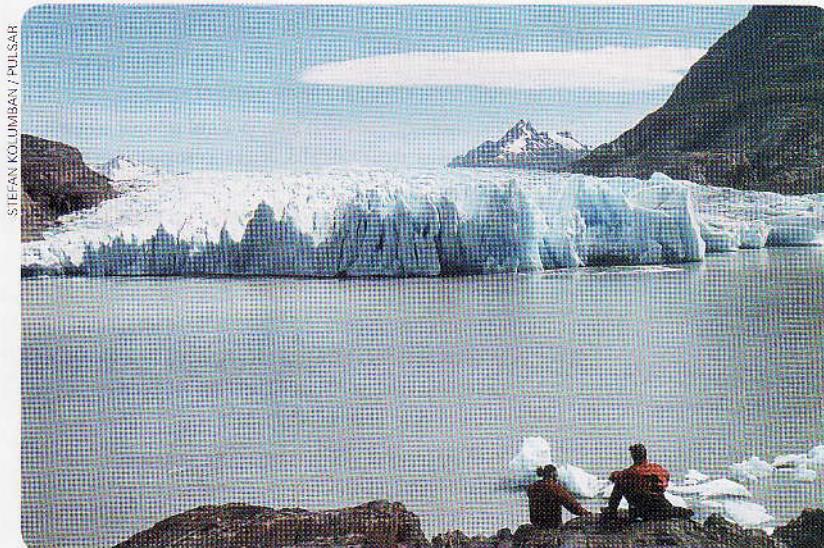


No **estado sólido**, as forças de coesão são muito intensas, restringindo o movimento das moléculas a uma ligeira vibração em torno de uma posição média. Na figura 4, representando esquematicamente as moléculas, esse movimento restrito é mostrado em a (no destaque). Por conseguinte, as moléculas, fortemente coesas, dispõem-se com regularidade, geralmente formando uma rede cristalina. Assim, os sólidos apresentam forma e volume definidos.

No **estado líquido**, as distâncias entre as moléculas são, em média, maiores que no estado sólido. No entanto, as forças de coesão ainda são apreciáveis e a liberdade de movimentação das moléculas é limitada, havendo apenas o deslizamento de umas em relação às outras (figura 4b). Em consequência, os líquidos apresentam volume definido, mas sua forma é variável, adaptando-se à do recipiente.

No **estado gasoso**, as forças de coesão entre as moléculas têm intensidade muito pequena, possibilitando uma movimentação bem mais intensa que nos outros estados (figura 4b). Conseqüentemente, os gases e vapores têm a propriedade de se difundir por todo o espaço em que se encontram, não apresentando nem forma nem volume definidos.

Tanto uma mistura gasosa como uma mistura homogênea de líquidos apresentam uma única fase — a fase gasosa, no primeiro caso, e a fase líquida, no segundo. Uma pedra de gelo flutuando na água constitui um sistema com duas fases distintas: a fase sólida e a fase líquida. Assim, fase de um sistema é uma parte geometricamente definida e fisicamente homogênea desse sistema. Por isso, podemos nos referir aos estados de agregação de uma substância como fases da substância.



A água pode se apresentar, na Natureza, em suas três fases: líquida, no mar, nos lagos e rios e nas nuvens (em forma de gotículas em suspensão na atmosfera); vapor, em mistura com os gases que constituem o ar; sólida, nas geleiras, nos icebergs e nas crostas de gelo que cobrem os picos das montanhas mais elevadas.



Entre na rede

No endereço eletrônico <http://www2.biglobe.ne.jp/~norimari/science/JavaApp/Mole/e-Mole.html> (acesso em 19/04/2007), você poderá, por meio de uma simulação, analisar a diferença entre os estados sólido, líquido e gasoso de uma substância.



Testes propostos

T.1 (PUC-Campinas-SP) Sobre o conceito de calor, pode-se afirmar que se trata de uma:

- a) medida da temperatura do sistema.
- b) forma de energia em trânsito.
- c) substância fluida.
- d) quantidade relacionada com o atrito.
- e) energia que os corpos possuem.

T.2 (UFSM-RS) Calor é:

- a) a energia contida em um corpo.
- b) a energia que se transfere de um corpo para outro, quando existe uma diferença de temperatura entre eles.
- c) um fluido invisível e sem peso, que é transmitido de um corpo para outro.
- d) a transferência de temperatura de um corpo para outro.
- e) a energia que se transfere espontaneamente do corpo de menor temperatura para o de maior temperatura.

T.3 (Unifesp) O SI (Sistema Internacional de unidades) adota como unidade de calor o joule, pois calor é energia. No entanto, só tem sentido falar em calor como **energia em trânsito**, ou seja, energia que se transfere de um corpo a outro em decorrência da diferença de temperatura entre eles.

Assinale a afirmação em que o conceito de calor está empregado corretamente.

- a) A temperatura de um corpo diminui quando ele perde parte do calor que nele estava armazenado.
- b) A temperatura de um corpo aumenta quando ele acumula calor.
- c) A temperatura de um corpo diminui quando ele cede calor para o meio ambiente.
- d) O aumento da temperatura de um corpo é um indicador de que esse corpo armazenou calor.
- e) Um corpo só pode atingir o zero absoluto se for esvaziado de todo o calor nele contido.

T.4 (Unisa-SP) O fato de o calor passar de um corpo para outro deve-se:

- a) à quantidade de calor existente em cada um.
- b) à diferença de temperatura entre eles.
- c) à energia cinética total de suas moléculas.
- d) ao o número de calorias existentes em cada um.
- e) Nada do que se afirmou acima é verdadeiro.

T.5 (UFPR) No século XVII, uma das interpretações para a natureza do calor considerava-o um fluido imponderável que preenchia os espaços entre os átomos dos corpos quentes. Essa interpretação explicava corretamente alguns fenômenos, porém falhava em outros. Isso motivou a proposição de uma outra interpretação, que teve origem em trabalhos de Mayer, Rumford e Joule, entre outros pesquisadores.

Com relação aos conceitos de temperatura, calor e trabalho atualmente aceitos pela Física, avalie as seguintes afirmativas:

- I. Temperatura e calor representam o mesmo conceito físico.
- II. Calor e trabalho estão relacionados com transferência de energia.
- III. A temperatura de um gás está relacionada com a energia cinética de agitação de suas moléculas.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.
- b) Somente a afirmativa I é verdadeira.
- c) Somente a afirmativa II é verdadeira.
- d) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- e) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.

T.6 (UFV-MG) Quando dois corpos de materiais diferentes estão em equilíbrio térmico, isolados do meio ambiente, pode-se afirmar que:

- a) o mais quente é o que possui menor massa.
- b) apesar do contato, suas temperaturas não variam.
- c) o mais quente fornece calor ao mais frio.
- d) o mais frio fornece calor ao mais quente.
- e) suas temperaturas dependem de suas densidades.

T.7 (UFRGS-RS) Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas do texto abaixo, na ordem em que elas aparecem.

Quando um corpo mais quente entra em contato com um corpo mais frio, depois de certo tempo ambos atingem a mesma temperatura. O que será que “passa” de um corpo para o outro quando eles estão a diferentes temperaturas? Será que é transferida a própria temperatura?

Em 1770, o cientista britânico Joseph Black obteve respostas para essas questões. Ele mostrou que, quando misturamos partes iguais de um líquido (leite, por exemplo) a temperaturas iniciais diferentes, as temperaturas de ambas as partes _____ significativamente; no entanto, se derramarmos um copo de leite morno num balde cheio de água com vários cubos de gelo fundente, e isolarmos esse sistema como um todo, a temperatura do leite sofrerá uma mudança significativa, mas a temperatura da mistura de água e gelo não. Com esse simples experimento, fica confirmado que “aquel” que é transferido nesse processo _____ a temperatura.

A fim de medir a temperatura da mistura de gelo e água, um termômetro, inicialmente à temperatura ambiente, é introduzido no sistema e entra em equilíbrio térmico com ele. Nesse caso, o termômetro _____ uma variação em sua própria temperatura.

- a) mudam — não é — sofre
- b) não mudam — é — sofre
- c) mudam — não é — não sofre
- d) mudam — é — não sofre
- e) não mudam — é — não sofre

- T.8** (Fatec-SP) Três corpos encostados entre si estão em equilíbrio térmico. Nessa situação:
- a) os três corpos apresentam-se no mesmo estado físico.
 - b) a temperatura dos três corpos é a mesma.
 - c) o calor contido em cada um deles é o mesmo.
 - d) o corpo de maior massa tem mais calor que os outros dois.
 - e) há mais de uma proposição correta.

- T.9** Dois corpos A e B , de massas m_A e m_B tais que $m_A > m_B$, estão às temperaturas θ_A e θ_B , respectivamente, com $\theta_A \neq \theta_B$. Num dado instante, eles são postos em contato. Ao alcançarem o equilíbrio térmico, teremos para as temperaturas finais θ'_A e θ'_B :

- a) $\theta'_A > \theta'_B$
- b) $\theta'_A = \theta'_B$
- c) $\theta'_A < \theta'_B$
- d) $\theta'_A \neq \theta'_B$

- T.10** Se dois corpos estiverem em equilíbrio térmico com um terceiro, conclui-se que:
- a) os três acham-se em repouso.
 - b) os dois corpos estão em equilíbrio térmico entre si.
 - c) a diferença entre as temperaturas dos corpos é diferente de zero.

- d) a temperatura do terceiro corpo aumenta.
- e) os dois corpos possuem a mesma quantidade de calor.

- T.11** (FEI-SP) Um sistema isolado termicamente do meio possui três corpos, um de ferro, um de alumínio e outro de cobre. Após um certo tempo, verifica-se que as temperaturas do ferro e do alumínio aumentaram. Podemos concluir que:
- a) o corpo de cobre também aumentou a sua temperatura.
 - b) o corpo de cobre ganhou calor do corpo de alumínio e cedeu calor para o corpo de ferro.
 - c) o corpo de cobre cedeu calor para o corpo de alumínio e recebeu calor do corpo de ferro.
 - d) o corpo de cobre permaneceu com a mesma temperatura.
 - e) o corpo de cobre diminuiu a sua temperatura.

- T.12** As forças de coesão entre as moléculas de uma substância:
- a) são mais intensas no estado gasoso do que nos estados sólido e líquido, em virtude de maior agitação.
 - b) são menos intensas no estado sólido do que nos estados gasoso e líquido, em vista da estrutura cristalina.
 - c) não dependem do estado de agregação da substância.
 - d) têm maior intensidade no estado sólido e menor intensidade no estado gasoso.
 - e) têm intensidade desprezível no estado sólido.

PARTe 2

A temperatura e seus efeitos

Nesta parte estabelecemos como é feita a medida da temperatura e a criação das escalas termométricas. Discutimos em seguida os efeitos produzidos pela variação de temperatura no volume de sólidos e líquidos.



CAPÍTULO 2.

A MEDIDA DA TEMPERATURA

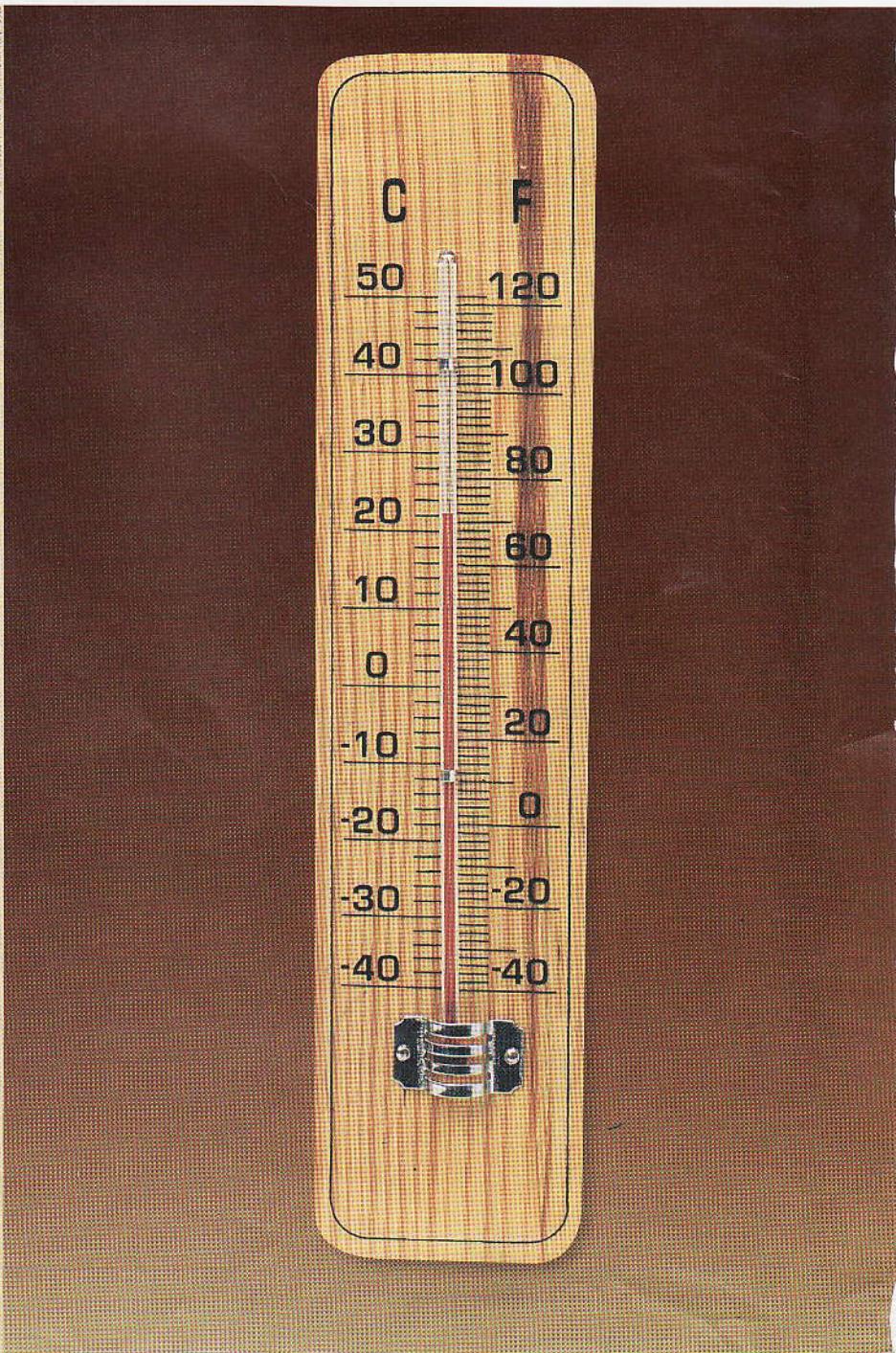
— TERMOMETRIA



CAPÍTULO 3.

DILATAÇÃO TÉRMICA DE SÓLIDOS E LÍQUIDOS

SERIEC PHOTOWAGENF/CIP

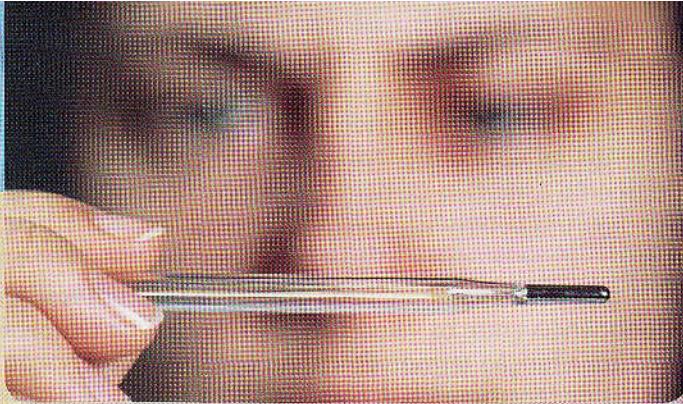


■ O termômetro da foto está graduado nas escalas Celsius e Fahrenheit.

CAPÍTULO 2

A medida da temperatura — Termometria

DAVID LOVEGROVE / SPLATINSTOCK



1. SENSAÇÃO TÉRMICA
2. MEDIDA DA TEMPERATURA. TERMÔMETRO
3. GRADUAÇÃO DE UM TERMÔMETRO. ESCALAS TERMOMÉTRICAS
4. VARIAÇÃO DE TEMPERATURA
5. FUNÇÃO TERMOMÉTRICA
6. A TEMPERATURA COMO MEDIDA DA AGITAÇÃO TÉRMICA. A ESCALA ABSOLUTA KELVIN

Neste capítulo, desenvolvemos o estudo da medida da temperatura. São apresentados os critérios para a criação das escalas termométricas, com ênfase para as escalas relativas usuais — a escala Celsius e a escala Fahrenheit. Destaque especial é dado à escala absoluta Kelvin, estabelecida com base no conceito de zero absoluto. O instrumento usado na medição da temperatura, o termômetro, também é objeto desse estudo. Na foto, uma pessoa “lê” um termômetro clínico, usado para medir a temperatura do corpo humano.



1. Sensação térmica

Freqüentemente usamos os termos frio, quente, morno etc. para traduzir a sensação que temos ao entrar em contato com um sistema. Assim, do mesmo modo que a luz impressiona nossa visão (sensação luminosa) e que o som impressiona nossa audição (sensação sonora), é o sentido do tato que nos proporciona a sensação térmica, que constitui a primeira noção de temperatura de um sistema.

Esse critério sensorial para avaliar temperaturas, no entanto, é impreciso, pois depende da pessoa que sente e das condições nas quais se encontrava anteriormente.



© 1996 UNIVERSAL PRESS SYNDICATE
1996 WATTERSON / DISTRIBUÍDOR ATLANTIC SYNDICATE / UNIVERSAL PRESS SYNDICATE



2. Medida da temperatura. Termômetro



Para tornar mais precisa a noção de temperatura, recorremos às variações que certas propriedades dos corpos sofrem quando muda a sensação térmica. Por exemplo, o comprimento de uma barra aumenta (dilatação) quando ela se torna mais quente. Desse modo, a temperatura θ da barra pode ser avaliada indiretamente pelo valor assumido por seu comprimento L (figura 1).

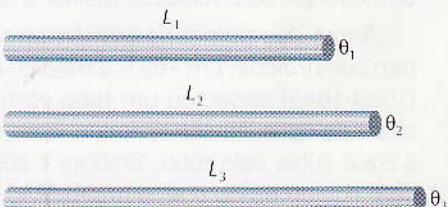


Figura 1. A cada valor L do comprimento da barra corresponde um valor θ de temperatura.

De modo geral, sendo x uma grandeza conveniente que define uma das propriedades do corpo (como o comprimento L , no caso da barra), a cada valor de x faz-se corresponder um determinado valor θ de temperatura.

A grandeza x é denominada **grandeza termométrica**. A correspondência entre os valores da grandeza x e da temperatura θ constitui a função termométrica. Ao corpo em observação dá-se o nome de **termômetro**. A barra da figura 1, na qual a cada valor do comprimento L (grandeza termométrica) corresponde um valor da temperatura θ , poderia, em princípio, ser usada como termômetro.

Até o advento dos modernos termômetros digitais, que usam recursos da eletrônica na medida da temperatura, os termômetros mais utilizados eram os de mercúrio, como o representado na figura 2. O **termômetro de mercúrio** baseia-se na dilatação de certa quantidade de mercúrio contido num recipiente de vidro (bulbo), ligado a um tubo capilar, isto é, um tubo de diâmetro bem pequeno. A escolha do mercúrio como **substância termométrica** deve-se ao fato de ser um líquido de dilatação regular numa faixa de temperaturas bem ampla. Além disso, o mercúrio é facilmente visualizável, por ser opaco e brilhante. Nas considerações seguintes, admitiremos sempre a utilização de termômetros de mercúrio no estudo das escalas de temperatura.

O emprego do termômetro para avaliação da temperatura de um sistema fundamenta-se no fato de que, após algum tempo em contato, o sistema e o termômetro adquirem a mesma temperatura, isto é, alcançam o equilíbrio térmico.

O “termômetro” de Galileu

Um dos primeiros dispositivos criados para avaliar temperaturas foi o **termoscópio a ar** inventado por Galileu, do qual se vê uma réplica na foto. Esse termoscópio não pode ser considerado propriamente um termômetro, uma vez que não estabelece valores numéricos para a temperatura — ele apenas indica se um corpo está mais quente ou mais frio que outro, tomado como referência.

O termoscópio de Galileu é constituído de um bulbo ligado a um tubo de vidro que tem a extremidade inferior imersa em um líquido. Quando a temperatura do ar contido no bulbo aumenta, a pressão do ar também aumenta e o nível do líquido desce. Quando a temperatura do ar diminui, a pressão do ar diminui e o nível do líquido sobe. Consta que, originalmente, Galileu teria usado vinho no seu termoscópio para visualizar melhor o nível do líquido.

Antes dos primeiros termômetros, outros termoscópios foram construídos. Em 1631, o médico e químico francês Jean Rey (1583-1645) conectou um tubo vertical aberto a um recipiente cheio de água. Nesse aparelho, com o aumento da temperatura, a água subia pelo tubo. Embora a substância termométrica fosse o líquido e não o ar, a imprecisão ainda era grande, devido à influência da pressão atmosférica, à pouco dilatação da água e à evaporação do líquido.

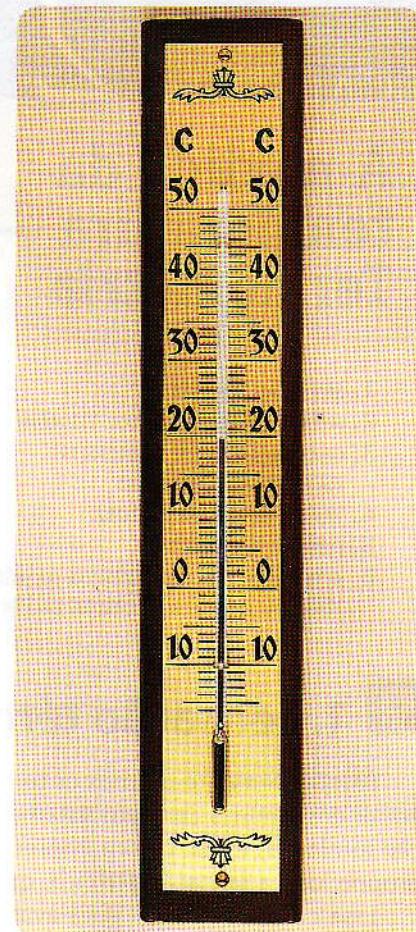
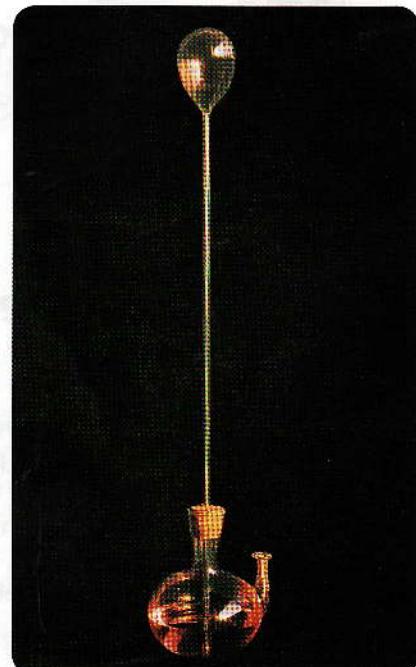


Figura 2. O termômetro de mercúrio.



ANTONIO VÍNIAS VALCARCEL / CID

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



3. Graduação de um termômetro. Escalas termométricas



O conjunto dos valores numéricos que a temperatura θ pode assumir constitui uma escala termométrica, que é estabelecida ao se graduar um termômetro.

Para a graduação de um termômetro comum de mercúrio procede-se da seguinte maneira:

- 1º) Escolhem-se dois sistemas cujas temperaturas sejam invariáveis no decorrer do tempo e que possam ser reproduzidos facilmente quando necessário. Essas temperaturas são denominadas pontos fixos, sendo usualmente escolhidas:
 - ponto do gelo (θ_G) — temperatura de fusão do gelo sob pressão normal (1 atm);
 - ponto do vapor (θ_V) — temperatura de ebulição da água sob pressão normal (1 atm).
- 2º) O termômetro é colocado em presença dos sistemas que definem os pontos fixos (figura 3). A cada um deles vai corresponder uma altura da coluna líquida. A cada altura atribui-se um valor numérico arbitrário de temperatura, geralmente fazendo o menor corresponder ao ponto do gelo (θ_G), e o outro, ao ponto do vapor (θ_V).
- 3º) O intervalo delimitado entre as marcações feitas (correspondentes às temperaturas θ_V e θ_G) é dividido em partes iguais. Cada uma das partes em que fica dividido o intervalo é a unidade da escala (o **grau** da escala).

Atualmente a escala mais usada é a **escala Celsius***, que adota os valores 0 (zero) para o ponto do gelo e 100 para o ponto do vapor (figura 4). O intervalo entre os pontos fixos é dividido em cem partes**. Cada uma dessas cem partes é a unidade da escala, o **grau Celsius**, cujo símbolo é $^{\circ}\text{C}$.

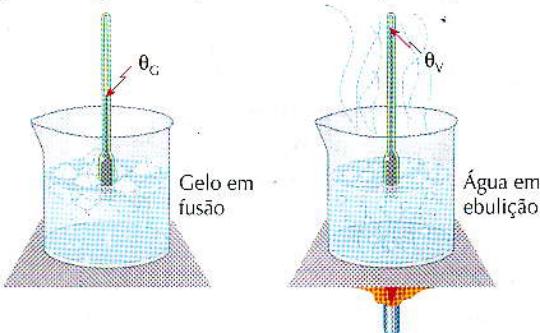


Figura 3. Graduação de um termômetro: θ_G indica a temperatura da fusão do gelo, e θ_V , a temperatura da ebulição da água, sob pressão normal.

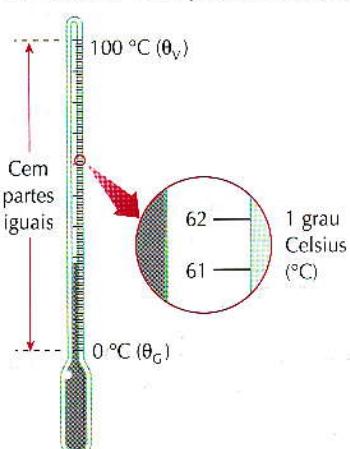


Figura 4. Escala Celsius.

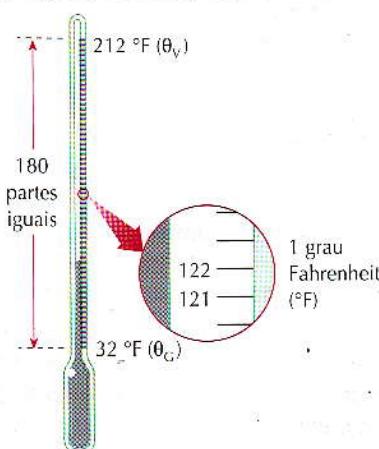


Figura 5. Escala Fahrenheit.

Em alguns países usa-se a **escala Fahrenheit*****, que adota os valores 32 para o ponto do gelo e 212 para o ponto do vapor (figura 5). O intervalo é dividido em 180 partes, cada uma das quais corresponde ao **grau Fahrenheit**, cujo símbolo é $^{\circ}\text{F}$.

Note que a escolha dos valores que definem a escala é arbitrária: na escala Celsius os valores de θ_G e θ_V são 0 (zero) e 100, enquanto na escala Fahrenheit os valores são 32 e 212.

* CELSIUS, Anders (1701-1744), astrônomo e físico sueco. Dedicou-se principalmente à Astronomia, tornando-se professor dessa ciência em 1730. Em 1948 seu nome foi adotado para a escala que criou.

** Toda escala em que o intervalo entre o ponto do gelo e o ponto do vapor é dividido em cem partes é dita **centesimal** ou **centígrada**. A escala Celsius é uma escala centesimal ou centígrada, mas não é a única.

*** FAHRENHEIT, Daniel Gabriel (1686-1736), físico alemão. Foi quem propôs, em 1714, a utilização do mercúrio em vez de álcool nos termômetros. Em 1724 foi eleito membro da Sociedade Real inglesa.

3.1. Conversão entre as escalas Celsius e Fahrenheit

Às vezes é necessário transformar a indicação da escala Fahrenheit na correspondente indicação da escala Celsius ou vice-versa. Para obtermos a relação entre as leituras nas duas escalas, devemos estabelecer a proporção entre os segmentos a e b (figura 6), determinados no capilar do termômetro.

Sejam θ_C a leitura Celsius e θ_F a leitura Fahrenheit para a temperatura de um sistema. A relação entre os segmentos a e b não depende da unidade em que são expressos. Assim:

$$\frac{a}{b} = \frac{\theta_C - 0}{100 - 0} = \frac{\theta_F - 32}{212 - 32} \Rightarrow \frac{\theta_C}{100} = \frac{\theta_F - 32}{180}$$

Simplificando: $\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9}$

Isolando θ_C e θ_F , vem:

$$\theta_C = \frac{5}{9}(\theta_F - 32)$$

e $\theta_F = 1,8\theta_C + 32$

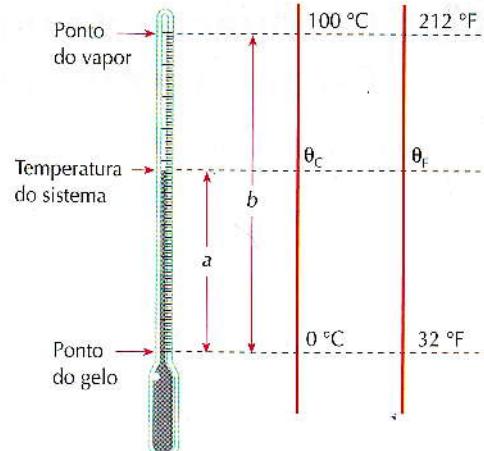


Figura 6. Conversão entre as leituras nas escalas Celsius e Fahrenheit.

Leia mais

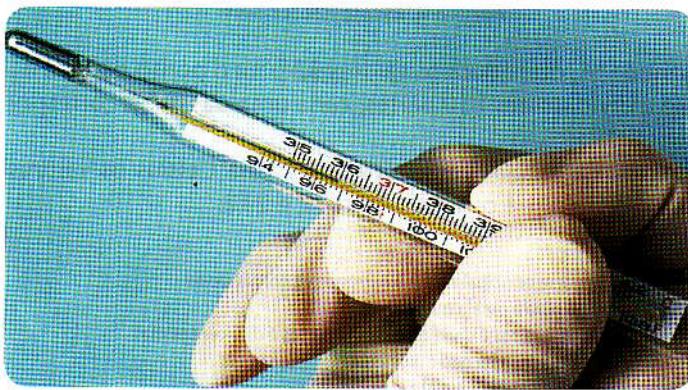
Em **História da Física**, na página 29, você terá mais informações sobre como a medição da temperatura evoluiu ao longo do tempo.

A medida da temperatura corporal

A avaliação da temperatura do corpo humano é de grande importância na Medicina. Quando a temperatura corporal aumenta além de 37 °C (que pode ser considerado um valor médio normal), dizemos que a pessoa está com **febre** ou **hipertermia**. Há também situações de anormalidade em que a temperatura diminui abaixo de 37 °C, caracterizando uma **hipotermia**.

Os termômetros utilizados na medida da temperatura corporal são denominados **termômetros clínicos**. Atualmente existe um grande número deles no mercado, a maior parte do tipo digital. Entretanto, ainda é muito difundido o termômetro clínico de mercúrio. Nele, junto ao bulbo, no início do tubo capilar, há um estreitamento, que não impede a movimentação da coluna líquida quando a temperatura sobe e o mercúrio se dilata. Entretanto, se a temperatura diminuir, o mercúrio não consegue voltar para o bulbo, continuando a indicar a maior temperatura que foi medida. Portanto, trata-se de um termômetro de máxima. Para ser usado novamente, o termômetro deve ser vigorosamente sacudido, de tal maneira que o mercúrio retorne ao bulbo.

O termômetro clínico da foto está graduado nas escalas Celsius (entre 35 °C e 42 °C) e Fahrenheit (entre 94 °F e 108 °F). A graduação é feita apenas entre esses valores porque eles correspondem, aproximadamente, aos limites extremos da temperatura do corpo humano.



ADRIENNE HART-DAVIS / SPL-LATIN STOCK



© 1995 Dazor and Friends, Inc. Div. da Universal Press Syndicate

Exercícios resolvidos

- R.1** A temperatura média do corpo humano é $36,5^{\circ}\text{C}$. Determine o valor dessa temperatura na escala Fahrenheit.

Solução:

Comparando as escalas Celsius e Fahrenheit, obtemos:

$$\frac{\theta_c}{100} = \frac{\theta_f - 32}{180} \quad \text{ou} \quad \frac{\theta_c}{5} = \frac{\theta_f - 32}{9}$$

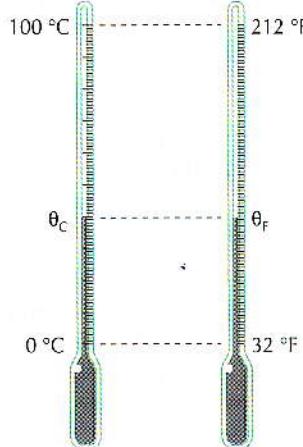
Sendo $\theta_c = 36,5^{\circ}\text{C}$, vem:

$$\frac{36,5}{5} = \frac{\theta_f - 32}{9} \Rightarrow 7,3 = \frac{\theta_f - 32}{9} \Rightarrow 65,7 = \theta_f - 32 \Rightarrow \theta_f = 97,7^{\circ}\text{F}$$

Resposta: $97,7^{\circ}\text{F}$

Observação:

Na escala Fahrenheit, a temperatura do corpo humano está normalmente em torno de 100°F .



- R.2** Dois termômetros, um graduado na escala Celsius e o outro na escala Fahrenheit, fornecem a mesma leitura para a temperatura de um gás. Determine o valor dessa temperatura.

Solução:

Se a temperatura do gás é indicada pelo mesmo número nas escalas Celsius e Fahrenheit, podemos escrever:

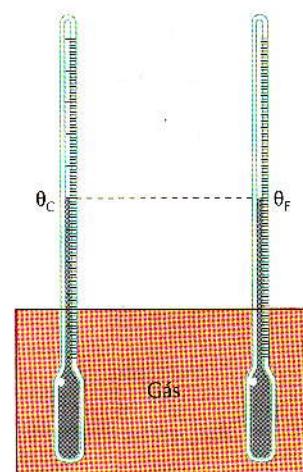
$$\theta_c = X^{\circ}\text{C} \quad \theta_f = X^{\circ}\text{F}$$

Substituindo na expressão de conversão, vem:

$$\frac{\theta_c}{5} = \frac{\theta_f - 32}{9} \Rightarrow \frac{X}{5} = \frac{X - 32}{9} \Rightarrow 9X = 5X - 160 \Rightarrow 4X = -160 \Rightarrow X = -40$$

$$\text{Portanto: } \theta_c = -40^{\circ}\text{C} \quad \text{e} \quad \theta_f = -40^{\circ}\text{F}$$

Resposta: -40°C e -40°F



- R.3** Certa escala termométrica adota os valores -20 e 580 , respectivamente, para os pontos do gelo e do vapor. Determine:

- a) a fórmula de conversão entre essa escala e a escala Celsius;
b) a indicação que nessa escala corresponde a 20°C .

Solução:

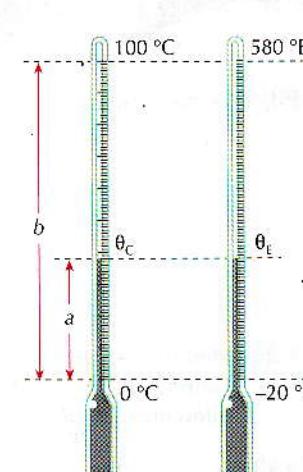
- a) Comparando a escala Celsius (C) e a escala (E) criada neste exercício, temos:

$$\frac{a}{b} = \frac{\theta_c - 0}{100 - 0} = \frac{\theta_E - (-20)}{580 - (-20)} \Rightarrow \frac{\theta_c}{100} = \frac{\theta_E + 20}{600}$$

$$\text{Simplificando: } \theta_c = \frac{\theta_E + 20}{6} \Rightarrow 6\theta_c = \theta_E + 20 \Rightarrow \theta_E = 6\theta_c - 20$$

- b) Para determinar a indicação θ_E que corresponde a $\theta_c = 20^{\circ}\text{C}$, usamos a relação anterior:

$$\theta_E = 6\theta_c - 20 \Rightarrow \theta_E = 6 \cdot 20 - 20 \Rightarrow \theta_E = 120 - 20 \Rightarrow \theta_E = 100^{\circ}\text{E}$$



Respostas: a) $\theta_E = 6\theta_c - 20$; b) 100°E

- R.4** Uma escala termométrica X relaciona-se com a escala Celsius segundo o gráfico apresentado, no qual em ordenadas se representam os valores de θ_X (temperaturas expressas na escala X) e em abscissas os valores de θ_C (temperaturas expressas na escala Celsius).

- Estabeleça a fórmula de conversão entre as duas escalas.
- Determine a temperatura registrada por um termômetro graduado na escala X quando a temperatura for 50°C .
- Determine que temperatura registra um termômetro graduado na escala Celsius para um sistema em que o termômetro graduado na escala X registra 10°X .
- Há uma temperatura em que os dois termômetros (graduados na escala X e na escala Celsius, respectivamente) registram valores que coincidem numericamente. Qual é essa temperatura?

Solução:

- a) Analisando o gráfico, verificamos que 15°X correspondem a 0°C e 35°X correspondem a 80°C .

Comparando as escalas, obtemos:

$$\begin{aligned} \frac{\theta_X - 15}{35 - 15} &= \frac{\theta_C - 0}{80 - 0} \Rightarrow \frac{\theta_X - 15}{20} = \frac{\theta_C}{80} \Rightarrow \\ \Rightarrow \theta_X - 15 &= \frac{\theta_C}{4} \Rightarrow \theta_X = \frac{\theta_C}{4} + 15 \Rightarrow \boxed{\theta_X = 0,25\theta_C + 15} \end{aligned}$$

- b) Para $\theta_C = 50^\circ\text{C}$, vem:

$$\theta_X = 0,25 \cdot 50 + 15 \Rightarrow \theta_X = 12,5 + 15 \Rightarrow \boxed{\theta_X = 27,5^\circ\text{X}}$$

- c) Para $\theta_X = 10^\circ\text{X}$, vem:

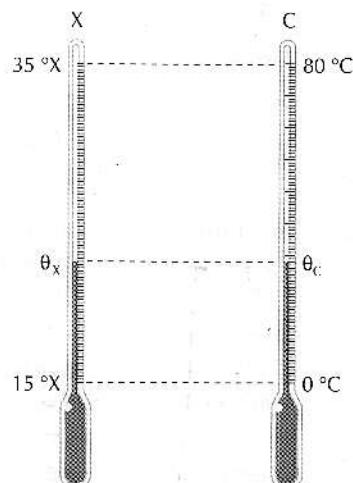
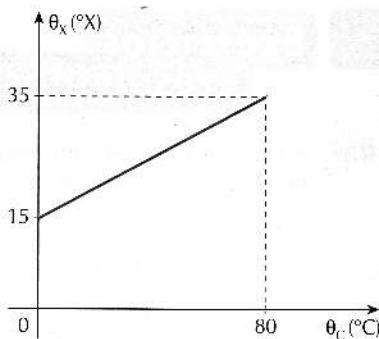
$$10 = 0,25\theta_C + 15 \Rightarrow 0,25\theta_C = -5 \Rightarrow \boxed{\theta_C = -20^\circ\text{C}}$$

- d) Se os valores coincidem numericamente nas duas escalas, temos: $\theta_X = \theta_C = \theta$. Na fórmula de conversão, temos:

$$\theta = 0,25\theta + 15 \Rightarrow \theta - 0,25\theta = 15 \Rightarrow 0,75\theta = 15 \Rightarrow \theta = 20$$

$$\text{Portanto: } \boxed{\theta_X = 20^\circ\text{X}} \quad \text{e} \quad \boxed{\theta_C = 20^\circ\text{C}}$$

Respostas: a) $\theta_X = 0,25\theta_C + 15$; b) $27,5^\circ\text{X}$; c) -20°C ; d) $20^\circ\text{X}; 20^\circ\text{C}$



Exercícios propostos

- P.1** Complete a tabela:

Celsius	Fahrenheit
400 °C	
	99,5 °F
180 °C	
	-49 °F

- P.2** Medindo a temperatura de um líquido com dois termômetros, um de escala Celsius e o outro de escala Fahrenheit, um estudante verificou que ambos davam a mesma indicação em módulo, porém os sinais eram diferentes. Determine a temperatura do líquido.

- P.3** No deserto do Saara registrou-se certo dia a temperatura de $X^\circ\text{C}$. Se a escala utilizada tivesse sido a Fahrenheit, a leitura seria 72 unidades mais alta. Determine o valor dessa temperatura.

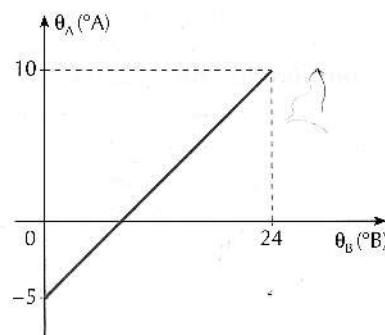
- P.4** Uma escala arbitrária adota os valores 5 e 365 para os pontos fixos fundamentais (ponto do gelo e ponto do vapor, respectivamente). Determine que indicação nessa escala corresponde ao 0°F .



P.5 Na temperatura do ponto do gelo um termômetro defeituoso marca $-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ e na temperatura de ebulição da água sob pressão normal $+100,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Determine qual é a única indicação correta desse termômetro. (Sugestão: admita que o termômetro defeituoso crie uma nova escala.)

P.6 O gráfico indica como se relacionam as leituras θ_A e θ_B para as temperaturas registradas por dois termômetros graduados respectivamente nas escalas A e B. Determine:

- a fórmula de conversão entre θ_A e θ_B ;
- a indicação do termômetro graduado na escala A quando o outro registra $96\text{ }^{\circ}\text{B}$;
- a indicação do termômetro graduado na escala B quando o outro registra $0\text{ }^{\circ}\text{A}$;
- a temperatura em que coincidem as leituras nos dois termômetros.



4. Variação de temperatura

Consideremos que a temperatura de um sistema varie de um valor inicial θ_1 para um valor final θ_2 num dado intervalo de tempo. A variação de temperatura $\Delta\theta$ é dada pela diferença entre o valor final θ_2 e o valor inicial θ_1 :

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$$

Assim, a variação de temperatura será positiva ($\Delta\theta > 0$) quando a temperatura aumentar ($\theta_2 > \theta_1$); negativa ($\Delta\theta < 0$) quando a temperatura diminuir ($\theta_2 < \theta_1$); e será nula ($\Delta\theta = 0$) quando a temperatura final for igual à inicial ($\theta_2 = \theta_1$).

Vamos correlacionar as variações de temperatura expressas na escala Celsius ($\Delta\theta_C$) e na Fahrenheit ($\Delta\theta_F$). Na figura 7, a relação entre os segmentos *a* (correspondente à variação de temperatura ocorrida) e *b* (correspondente ao intervalo entre as temperaturas do ponto do gelo e do ponto do vapor) não depende da unidade em que são expressos.

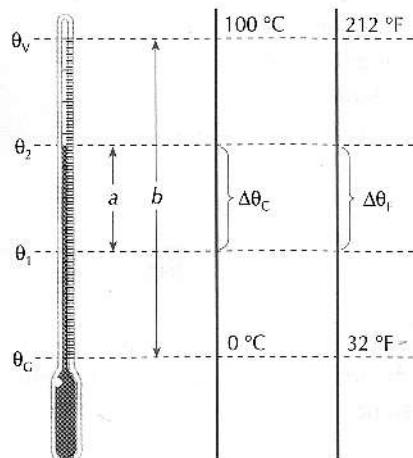


Figura 7. Conversão entre variações de temperatura.

Então:

$$\frac{a}{b} = \frac{\Delta\theta_C}{100 - 0} = \frac{\Delta\theta_F}{212 - 32} \Rightarrow \frac{\Delta\theta_C}{100} = \frac{\Delta\theta_F}{180}$$

Simplificando:

$$\frac{\Delta\theta_C}{5} = \frac{\Delta\theta_F}{9}$$

Isolando $\Delta\theta_C$ e $\Delta\theta_F$, vem:

$$\Delta\theta_C = \frac{5}{9} \Delta\theta_F \quad \text{e} \quad \Delta\theta_F = 1,8 \Delta\theta_C$$

O termômetro de máxima e mínima

As temperaturas máxima e mínima de um ambiente, em dado intervalo de tempo, são registradas por um tipo especial de termômetro: o **termômetro de máxima e mínima**.

O termômetro apresentado na figura é constituído de dois bulbos (**A** e **B**), ligados a um tubo em U de pequeno diâmetro, o qual contém mercúrio na parte inferior. O bulbo **A**, o ramo esquerdo e o ramo direito do tubo estão completamente cheios de álcool. O bulbo **B**, por sua vez, está parcialmente cheio de álcool. Nos ramos do termômetro existem dois índices de ferro esmaltado (**a** e **b**), banhados pelo álcool e aderentes à parede interna do tubo. O índice **a** indica a menor temperatura e o índice **b** indica a maior temperatura ocorrida num determinado período.

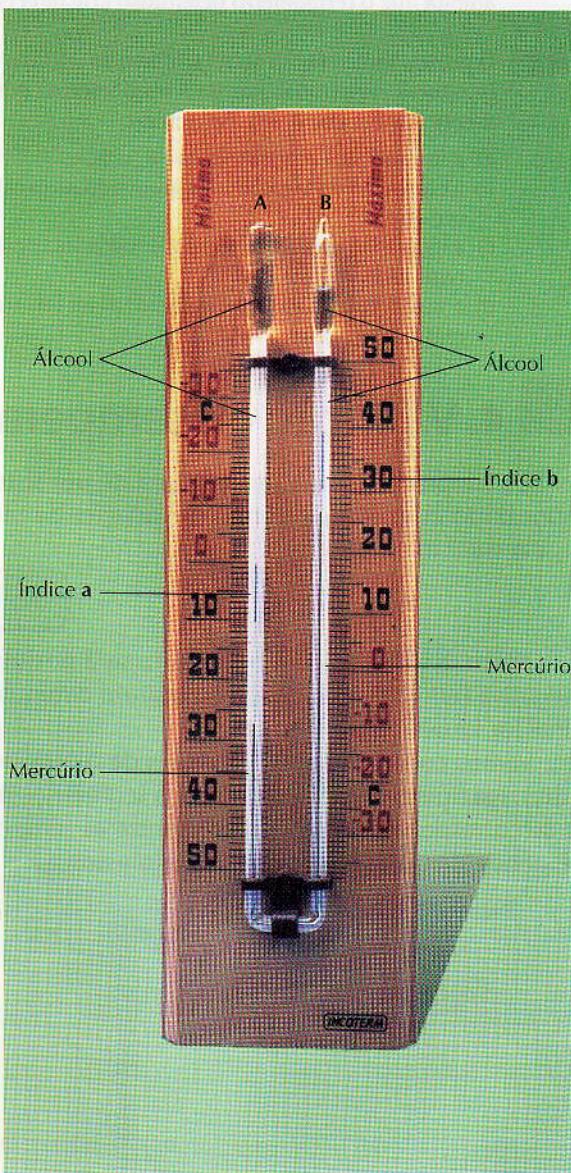
Inicialmente os índices são colocados em contato com as superfícies livres do mercúrio, nos dois ramos, com o auxílio de um pequeno ímã.

Quando ocorre um aumento de temperatura, o álcool do bulbo **A** se dilata. Com isso, o nível do mercúrio no ramo esquerdo desce (sem arrastar o índice **a**) e o nível do mercúrio no ramo direito sobe, arrastando o índice **b** para cima, de modo a indicar a máxima temperatura ocorrida.

Quando há uma diminuição de temperatura, o álcool de **A** se contrai. Com isso, o nível do mercúrio no ramo direito desce (sem arrastar o índice **b**) e o nível do mercúrio no ramo esquerdo sobe, arrastando o índice **a** para cima, de modo a indicar a mínima temperatura ocorrida.

Observe na figura que a temperatura máxima foi de 30 °C, a mínima de 10 °C e a temperatura num determinado momento era de 27 °C (indicada pelo nível de mercúrio nos dois lados).

Os boletins meteorológicos, divulgados na tevê, no rádio e em jornais, geralmente informam as temperaturas máxima e mínima em várias cidades do planeta. Muitas vezes, essas temperaturas são avaliadas com o uso de termômetros desse tipo.



LEVY MENDES JR. & LUIZ FERRAZ NETTO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.510 de 19 de fevereiro de 1998.



© 1990 PAWS, INC. ALL RIGHTS RESERVED / DISJ
BY ATLANTIC SYNDICATION / UNIVERSAL PRESS
SYNDICATE

Exercícios resolvidos

R.5 Em certo dia, na cidade de Salvador, o serviço de meteorologia anunciou uma temperatura máxima de 40°C e uma mínima de 25°C .

- Qual é a variação de temperatura entre os instantes em que foram assinaladas as temperaturas máxima e mínima?
- Qual é o valor dessa variação de temperatura expresso na escala Fahrenheit?

Solução:

a) Quando o serviço de meteorologia anuncia a temperatura máxima e a temperatura mínima de um dia, usualmente não indica qual delas ocorreu antes. Assim, temos duas hipóteses a considerar:

1ª hipótese — A temperatura mínima ocorreu **antes** da máxima.

Então: $\theta_1 = 25^{\circ}\text{C}$ e $\theta_2 = 40^{\circ}\text{C}$

$$\Delta\theta_{\text{C}} = \theta_2 - \theta_1 = 40 - 25 \Rightarrow \boxed{\Delta\theta_{\text{C}} = 15^{\circ}\text{C}} \quad (\text{aumento de temperatura})$$

2ª hipótese — A temperatura mínima ocorreu **depois** da máxima.

Então: $\theta_1 = 40^{\circ}\text{C}$ e $\theta_2 = 25^{\circ}\text{C}$

$$\Delta\theta_{\text{C}} = \theta_2 - \theta_1 = 25 - 40 \Rightarrow \boxed{\Delta\theta_{\text{C}} = -15^{\circ}\text{C}} \quad (\text{diminuição de temperatura})$$

- A variação expressa na escala Fahrenheit, no caso de aumento de temperatura, será dada por:

$$\frac{\Delta\theta_{\text{F}}}{9} = \frac{\Delta\theta_{\text{C}}}{5} \Rightarrow \frac{\Delta\theta_{\text{F}}}{9} = \frac{15}{5} \Rightarrow \boxed{\Delta\theta_{\text{F}} = 27^{\circ}\text{F}}$$

No caso de diminuição de temperatura: $\boxed{\Delta\theta_{\text{F}} = -27^{\circ}\text{F}}$

Respostas: a) 15°C ou -15°C ; b) 27°F ou -27°F

R.6 Existe a possibilidade de as variações de temperatura nas escalas Celsius e Fahrenheit serem expressas pelo mesmo valor numérico?

Solução:

Se fizermos, na fórmula de conversão entre as variações de temperatura, $\Delta\theta_{\text{F}} = \Delta\theta_{\text{C}} = X$, obteremos:

$$\frac{\Delta\theta_{\text{C}}}{5} = \frac{\Delta\theta_{\text{F}}}{9} \Rightarrow \frac{X}{5} = \frac{X}{9} \Rightarrow 9X = 5X$$

Assim, essa igualdade só é válida para $X = 0$. Portanto, só há coincidência entre os valores numéricos das variações de temperatura nas escalas Celsius e Fahrenheit quando $\boxed{\Delta\theta_{\text{C}} = 0^{\circ}\text{C}}$ e $\boxed{\Delta\theta_{\text{F}} = 0^{\circ}\text{F}}$, isto é, quando a temperatura final é igual à temperatura inicial.

Exercícios propostos

P.7 Em certa região da Terra, a temperatura máxima registrada no decorrer de um ano foi de 42°C e a mínima foi de 17°C . Determine:

- a variação de temperatura entre os instantes em que essas temperaturas foram registradas;
- o valor dessa variação de temperatura expresso em graus Fahrenheit.

P.8 Um sistema inicialmente na temperatura de 20°C sofre uma variação de -35°C . Determine:

- a temperatura final do sistema na escala Celsius;
- a variação de temperatura do sistema expressa na escala Fahrenheit;
- a temperatura final do sistema na escala Fahrenheit.



5. Função termométrica

Existem vários tipos de termômetros, diferindo uns dos outros pela grandeza termométrica. Por exemplo, nos termômetros de líquido, como os de mercúrio, a grandeza termométrica é o volume do líquido, que, ao variar, faz mudar a altura da coluna.

Nos termômetros de gás, a grandeza termométrica é o volume do gás (quando a pressão é mantida constante) ou a pressão do gás (quando o volume é mantido constante). No termômetro de resistência de platina, a grandeza termométrica é a resistência elétrica, que é estudada em Eletricidade, no Volume 3.

A fórmula que relaciona os valores da grandeza termométrica com os respectivos valores da temperatura é denominada **função termométrica**, que geralmente é do primeiro grau.



Exercício resolvido

- R.7** Num termômetro de mercúrio, a coluna líquida apresenta 0,4 cm quando em presença do gelo em fusão ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$) e 20,4 cm em presença de vapores de água em ebulação ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$). Determine:

- a função termométrica desse termômetro na escala Celsius;
- a temperatura indicada por esse termômetro quando sua coluna líquida apresenta 8,4 cm de altura.

Solução:

- a) A função termométrica adotada é do primeiro grau. Assim, podemos fazer a comparação entre a grandeza termométrica (h) e a temperatura (θ):

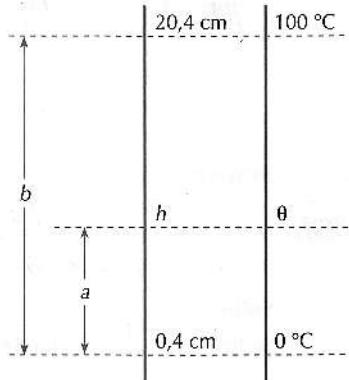
$$\begin{aligned} \frac{a}{b} &= \frac{h - 0,4}{20,4 - 0,4} = \frac{\theta - 0}{100 - 0} \\ \frac{h - 0,4}{20} &= \frac{\theta}{100} \\ h - 0,4 &= \frac{\theta}{5} \\ \theta &= 5h - 2 \end{aligned}$$

Essa equação expressa a função termométrica desse termômetro na escala Celsius.

- b) Substituindo na fórmula acima $h = 8,4$ cm, obtemos:

$$\theta = 5 \cdot 8,4 - 2 = 42 - 2 \Rightarrow \theta = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Respostas: a) $\theta = 5h - 2$; b) $40\text{ }^{\circ}\text{C}$



Exercícios propostos

- P.9** A coluna líquida de um termômetro de mercúrio apresenta altura de 5 mm quando o termômetro é colocado num recipiente contendo gelo em fusão. Quando o termômetro é colocado em vapores de água em ebulação sob pressão normal, a coluna líquida apresenta 50 mm. Determine:

- a função termométrica desse termômetro na escala Celsius;
- a temperatura de um corpo em presença do qual a coluna líquida apresenta 15 mm de altura.

- P.10** No termômetro de gás, a volume constante, a grandeza termométrica é a pressão que o gás exerce. Um termômetro nessas condições indica uma pressão de 5 mmHg quando em equilíbrio com o ponto do gelo, e uma pressão de 7 mmHg no equilíbrio térmico com o ponto do vapor.

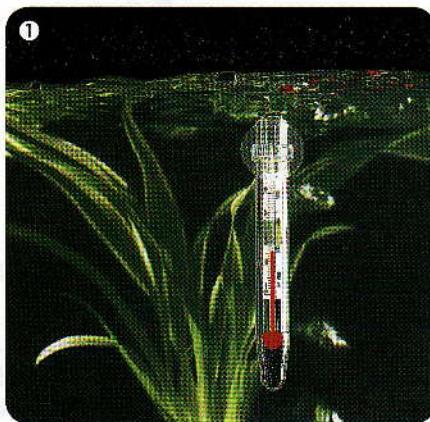
- Estabeleça a função termométrica desse termômetro para a escala Fahrenheit.
- Determine a temperatura de um forno sabendo que a pressão do gás no equilíbrio térmico é 9,5 mmHg.



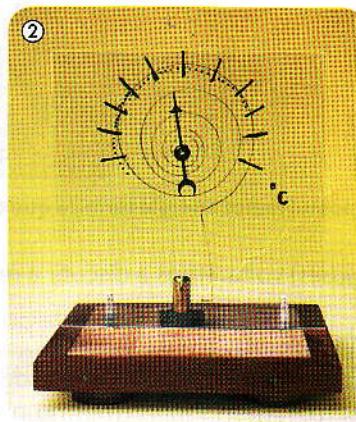
Outros tipos de termômetro

O termômetro de mercúrio ainda é de uso muito difundido, pela facilidade de construção e de manuseio aliada a uma boa precisão. Por isso, em laboratórios (nas situações em que não se exige um rigor muito grande nas medições) e nas residências (para medir a temperatura corporal ou para uso culinário), o termômetro de mercúrio é normalmente o escolhido.

Existem, entretanto, vários outros tipos de termômetro. Entre os mais simples estão o termômetro de álcool (1), em que o líquido termométrico é álcool com corante, e o termômetro metálico (2), baseado na dilatação de uma lâmina bimetálica. Dentre os mais sofisticados, destacam-se os chamados termômetros digitais (3), geralmente baseados na variação da resistência elétrica de um condutor metálico em função da temperatura.



ESQUEVA / CID



LEVY MENDES JR. & LUIZ FERRAZ NETTO



IARA VENANZI / KINO

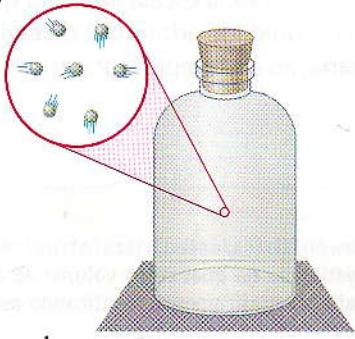


6. A temperatura como medida da agitação térmica. A escala absoluta Kelvin

As partículas constituintes de um gás estão em movimento desordenado. Esse movimento é denominado **agitação térmica**. Assim, cada partícula constituinte do gás é dotada de energia cinética própria. A soma das energias cinéticas individuais de todas as partículas constitui a **energia térmica** do gás.

Quanto mais intensa a agitação térmica, maior será a energia cinética de cada molécula e, em consequência, maior a temperatura (figura 8).

a)



b)

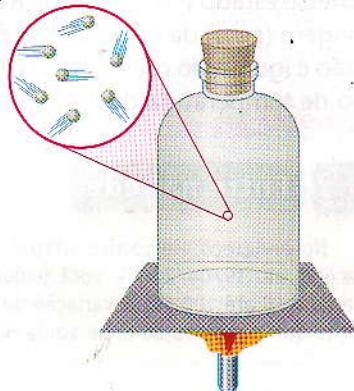


Figura 8. Ao se aquecer o gás, suas moléculas se agitam mais intensamente.
Na situação (b), a temperatura é maior que na situação (a).

O fato de haver um número maior ou menor de moléculas altera a energia térmica total do corpo; no entanto, se cada molécula continua com a mesma energia cinética média que possuía, o grau de agitação é o mesmo e, consequentemente, a temperatura também é a mesma.

Imagine, por exemplo, um recipiente A contendo um gás, no qual cada molécula tem uma energia cinética média de $4 \cdot 10^{-21}$ J (figura 9a). Se o ligarmos a um recipiente B (figura 9b) com o mesmo número de moléculas, tendo cada uma delas os mesmos $4 \cdot 10^{-21}$ J de energia cinética média, a energia térmica total do sistema formado será maior, mas a temperatura não irá se alterar.

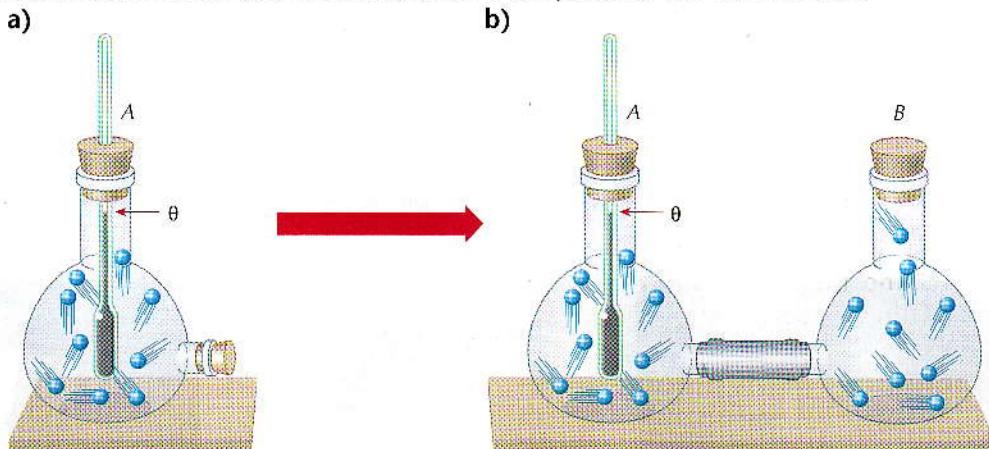


Figura 9. O sistema ($A + B$) possui maior energia térmica que o sistema A, mas a temperatura é a mesma.

No Capítulo 8 (*Estudo dos gases*) voltaremos a discutir a relação entre temperatura e agitação térmica. Por ora, podemos concluir:

A temperatura pode ser entendida como uma medida do nível energético de um sistema. Dois corpos podem apresentar temperaturas iguais (mesmo nível energético), mas possuir energias térmicas totais diferentes.

Experimentalmente, o físico irlandês William Thomson (lorde Kelvin*), verificou que a pressão de um gás rarefeito diminuía $\frac{1}{273,15}$ do valor inicial, quando resfriado a volume constante, de 0 °C para –1 °C.

Por extrapolação, concluiu que, se o gás não mudasse de estado, sua pressão seria nula na temperatura de –273,15 °C (que se costuma aproximar para –273 °C).

A esse estado térmico, em que se anularia a pressão do gás, foi dado o nome de **zero absoluto** — o limite inferior de temperatura. Todas as tentativas para alcançar o zero absoluto falharam. Ele é inatingível, embora seja possível aproximar-se dele indefinidamente. À medida que a temperatura de um corpo se aproxima do zero absoluto, a energia cinética de suas moléculas tende para um valor finito que se denomina **energia do ponto zero** — que, apesar do nome, **não é nula**.

Com base nesse estado térmico, lorde Kelvin estabeleceu, em 1848, a escala absoluta que hoje leva o seu nome. A origem (zero) da escala Kelvin é o zero absoluto e a unidade adotada é o **kelvin**** (símbolo K), cuja extensão é igual à do grau Celsius (°C). Assim, uma variação de temperatura de 1°C corresponde a uma variação de temperatura de 1 K.



Entre na rede

No endereço eletrônico <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/cero/cero.htm> (acesso em 19/04/2007), você poderá simular uma experiência na qual certo volume de ar é aquecido desde 0 °C até 100 °C. A variação de volume do ar é analisada graficamente, verificando-se por extrapolação que a pressão do ar se anula no zero absoluto (–273 °C).

* LORDE KELVIN é o título de nobreza que o célebre físico irlandês William Thomson (1824-1907) recebeu em 1892 da rainha Vitória. Aos 34 anos, ao instalar o primeiro cabo telegráfico sob o Oceano Atlântico, foi sagrado cavaleiro, recebendo o título de Sir. Ao morrer, foi enterrado ao lado da sepultura de Newton, na Abadia de Westminster, Londres.

** A unidade de temperatura termodinâmica (absoluta) do Sistema Internacional de Unidades é o kelvin (K), não se utilizando mais o grau Kelvin (°K) como era feito antigamente. Sua definição formal se encontra no final deste volume.



Generalizando, qualquer variação de temperatura na escala Celsius ($\Delta\theta_c$) é numericamente igual à variação de temperatura correspondente na escala Kelvin (ΔT):

$$\Delta\theta_c = \Delta T$$

Observe que as indicações que se correspondem nas escalas Celsius (θ_c) e Kelvin (T) nunca coincidem. Realmente, o ponto de congelamento da água (0°C) corresponde a 273 K (que se lê 273 kelvins) e o ponto de ebulição da água (100°C) corresponde a 373 K . Assim, comparando as indicações da escala Celsius e da escala absoluta Kelvin, para um mesmo estado térmico (figura 10), notamos que a temperatura absoluta (T) é sempre 273 unidades mais alta que a correspondente temperatura Celsius (θ_c).

$$T = \theta_c + 273$$

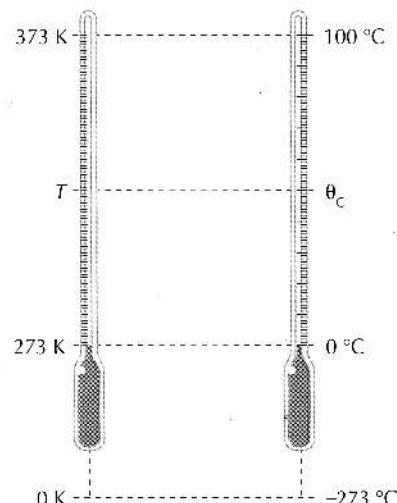


Figura 10. A temperatura absoluta T é igual à temperatura Celsius θ_c somada a 273 .

Exercício resolvido

R.8

A temperatura corporal humana pode variar entre 35°C e 42°C na escala Celsius.

- Determine os valores desses limites na escala absoluta Kelvin.
- Calcule a variação quando a temperatura de uma pessoa se altera do menor para o maior dos valores citados acima, nas duas escalas.

Solução:

a) A indicação absoluta é 273 unidades maior que a indicação Celsius: $T = \theta_c + 273$. Assim:

$$\theta_c = 35^\circ\text{C} \Rightarrow T = 35 + 273 \Rightarrow T = 308\text{ K}$$

$$\theta'_c = 42^\circ\text{C} \Rightarrow T' = 42 + 273 \Rightarrow T' = 315\text{ K}$$

b) Na escala Celsius: $\theta_1 = 35^\circ\text{C}$ e $\theta_2 = 42^\circ\text{C}$. Assim: $\Delta\theta_c = \theta_2 - \theta_1 = 42 - 35 \Rightarrow \Delta\theta_c = 7^\circ\text{C}$

Na escala Kelvin: $T_1 = 308\text{ K}$ e $T_2 = 315\text{ K}$. Então: $\Delta T = T_2 - T_1 = 315 - 308 \Rightarrow \Delta T = 7\text{ K}$

Observe que as variações de temperatura coincidem nas duas escalas: $\Delta\theta_c = \Delta T$.

Respostas: a) A temperatura corporal na escala Kelvin varia entre 308 K e 315 K ; b) 7°C e 7 K

Exercícios propostos

P.11 O álcool etílico tem ponto de congelamento de -39°C sob pressão normal. Determine essa temperatura na escala Kelvin.

P.12 (FICB-DF) Quando um termômetro graduado na escala Celsius sofrer uma variação de 32 graus em sua temperatura, qual será a correspondente variação de temperatura para um termômetro graduado na escala Kelvin?

P.13 Em certa cidade, num dia de verão, a temperatura mínima foi de 22°C , e a máxima, de 33°C . Determine:

- os valores das temperaturas mínima e máxima referidas expressos na escala absoluta Kelvin;
- a máxima variação de temperatura ocorrida nesse dia, expressa nas escalas Celsius e Kelvin.

Temperaturas absolutas notáveis

Apresentamos, a seguir, algumas temperaturas notáveis, expressas em kelvin, desde o interior das estrelas mais quentes até o zero absoluto, que representam os dois extremos conhecidos.

Interior das estrelas mais quentes	10^9 K
Bomba de hidrogênio	10^8 K
Interior do Sol	10^7 K
Coroa solar	10^6 K
Bomba atômica	$3 \cdot 10^5$ K
Temperatura em que todas as moléculas estão ionizadas	$1,5 \cdot 10^4$ K
Superfície do Sol	$6 \cdot 10^3$ K
Filamento de lâmpada incandescente	$3 \cdot 10^3$ K
Chama de fogão	$1,1 \cdot 10^3$ K
Turbina a vapor	$9 \cdot 10^2$ K
Temperaturas familiares ao homem	273 K a 373 K
Oxigênio vaporiza-se sob pressão normal	90 K
Superfície de Plutão	entre 38 K e 63 K
Hidrogênio vaporiza-se sob pressão normal	20 K
Hélio vaporiza-se sob pressão normal	4 K
Hélio solidifica-se sob alta pressão	1 K
Zero absoluto.....	0 K

Está no Guinness

De acordo com o *Guinness*, o livro dos recordes, a temperatura mais baixa até hoje conseguida foi $2,8 \cdot 10^{-10}$ K, isto é, duzentos e oitenta trilionésimos de kelvin acima do zero absoluto. Esse feito, anunciado em 1993, foi realizado no Laboratório de Baixas Temperaturas da Universidade de Tecnologia de Helsinque (Finlândia).

Exercícios propostos de recapitulação

- P.14** (PUC-SP) Um médico inglês mede a temperatura de um paciente com suspeita de infecção e obtém em seu termômetro clínico o valor de 102,2 °F (graus Fahrenheit).
- Tem ele motivo de preocupação com o paciente? Justifique.
 - Por que um doente com febre sente frio? Responda e defina também o conceito físico de calor.

- P.15** Uma escala arbitrária adota para o ponto do gelo e para o ponto do vapor, respectivamente, os valores -10 e 240. Estabeleça as fórmulas de conversão dessa escala para as escalas Celsius e Fahrenheit. Determine a indicação da referida escala para o zero absoluto.

- P.16** Numa escala arbitrária E, o zero corresponde a -10 °C e a indicação 100 °E corresponde a 40 °C.

Determine:

- a fórmula de conversão entre as indicações da escala E e da escala Celsius;
- as leituras que, na escala E, correspondem ao ponto do gelo e ao ponto do vapor;
- as indicações cujos valores absolutos coincidem nas escalas E e Celsius.

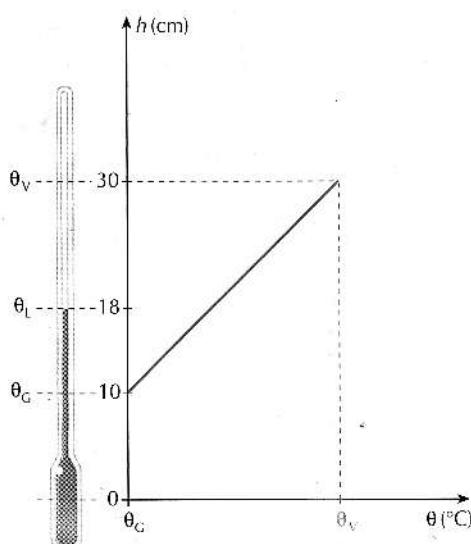
- P.17** (Olimpíada Brasileira de Física) Ao se construir uma escala termométrica arbitrária X, verificou-se que a temperatura de -40 °X coincide com o mesmo valor na antiga escala de temperatura Réaumur, que adota respectivamente 0 °R e 80 °R para os pontos fixos fundamentais (ponto do gelo e ponto do vapor). Verificou-se ainda que a temperatura de -75 °X coincide com o mesmo valor na escala Celsius. Determine na escala X a leitura correspondente a 0 °C e a 80 °R.

P.18 (UFRJ) Em uma escala termométrica, que chamaremos de escala médica, o grau é chamado de **grau médico** e representado por ${}^{\circ}\text{M}$. A escala médica é definida por dois procedimentos básicos: no primeiro, faz-se corresponder $0\text{ }{}^{\circ}\text{M}$ a $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $100\text{ }{}^{\circ}\text{M}$ a $44\text{ }^{\circ}\text{C}$; no segundo, obtém-se uma unidade de ${}^{\circ}\text{M}$ pela divisão do intervalo de $0\text{ }{}^{\circ}\text{M}$ a $100\text{ }{}^{\circ}\text{M}$ em 100 partes iguais.

- Calcule a variação em graus médicos que corresponde à variação de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Calcule, em graus médicos, a temperatura de um paciente que apresenta uma febre de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

P.19 Um termômetro de escala Celsius tornou-se inexacto, conservando, entretanto, seção interna uniforme. Quando as temperaturas são $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, ele marca, respectivamente, -2 ° e 71 ° . Determine uma fórmula que forneça as temperaturas exatas T em função das que se lêem no termômetro defeituoso θ . Quais das temperaturas lidas coincidem em valor absoluto?

P.20 (Cesgranrio-RJ) Com o objetivo de recalibrar um velho termômetro com a escala totalmente apagada, um estudante o coloca em equilíbrio térmico, primeiro com gelo fundente e, depois, com água em ebulição sob pressão atmosférica normal. Em cada caso, ele anota a altura atingida pela coluna de mercúrio: $10,0\text{ cm}$ e $30,0\text{ cm}$, respectivamente, medida sempre a partir do centro do bulbo. Em seguida, ele espera que o termômetro entre em equilíbrio térmico com o laboratório e verifica que, nessa situação, a altura da coluna de mercúrio é de $18,0\text{ cm}$.



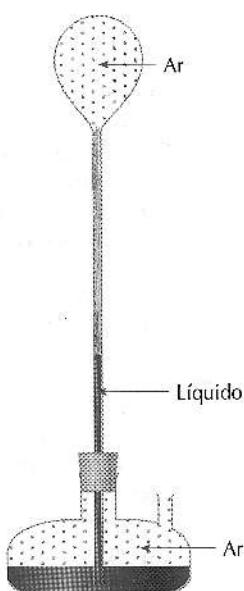
Qual é a temperatura do laboratório na escala Celsius desse termômetro?

P.21 (EEM-SP) Pode-se medir a temperatura com um termômetro de mercúrio. Neste, a grandeza termométrica é o comprimento L de uma coluna capilar, medida a partir de uma origem comum. Verifica-se que $L = 2,34\text{ cm}$, quando o termômetro está em equilíbrio térmico com o gelo em fusão, e $L = 12,34\text{ cm}$, quando o equilíbrio térmico é com a água em ebulição (num ambiente em que a pressão atmosférica é 1 atm).

- Calcule o comprimento da coluna de mercúrio quando a temperatura é $\theta = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Calcule a temperatura do ambiente quando $L = 8,84\text{ cm}$.

Testes propostos

T.13 (Unifesp) A figura reproduz uma gravura do termoscópio de Galileu, um termômetro primitivo por ele construído no início do século XVI. No termoscópio, o ar é aprisionado no bulbo superior, ligado por um tubo a um recipiente aberto contendo um líquido colorido. Assim, pode-se concluir que, se a temperatura ambiente subir, a altura da coluna de líquido colorido:

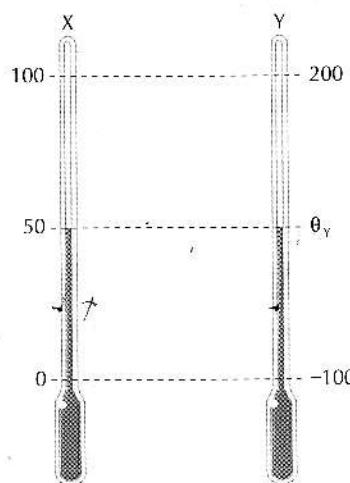


- a) aumenta, pois aumentam o volume e a pressão do ar contido no bulbo.
- b) diminui, pois aumentam o volume e a pressão do ar contido no bulbo.
- c) aumenta, em decorrência da dilatação do líquido contido no recipiente.
- d) diminui, em decorrência da dilatação do líquido contido no recipiente.
- e) pode aumentar ou diminuir, dependendo do líquido contido no recipiente.

T.14 (Olimpíada Paulista de Física) Uma empresa brasileira do setor de alimentos deseja exportar sua massa para bolos. A legislação vigente no país importador exige que as temperaturas sejam expressas na escala Fahrenheit. Se o forno para assar o bolo deve ser pré-aquecido a uma temperatura de $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, qual é o valor correspondente na escala Fahrenheit?

- $151\text{ }^{\circ}\text{F}$
- $202\text{ }^{\circ}\text{F}$
- $253\text{ }^{\circ}\text{F}$
- $302\text{ }^{\circ}\text{F}$
- $212\text{ }^{\circ}\text{F}$

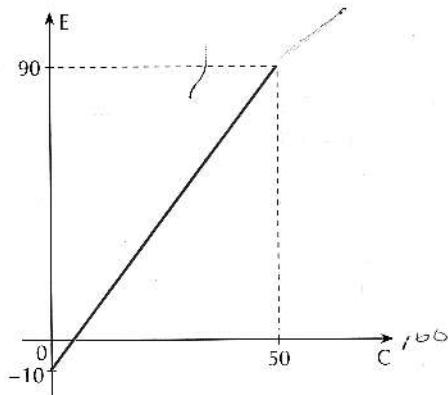
- T.29** (PUC-RS) Duas escalas termométricas quaisquer, X e Y, relacionam-se conforme o diagrama seguinte.



O valor θ_Y na escala Y que corresponde a 50 graus na escala X é:

- a) -50 c) 50 e) 150
b) 0 d) 100

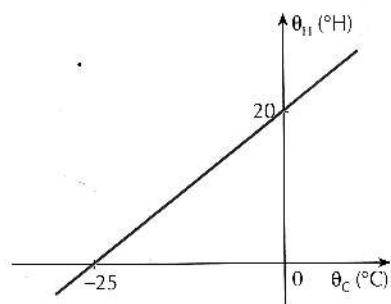
- T.30** (Uece) Comparando-se a escala E de um termômetro com a escala C (Celsius), obteve-se este gráfico de correspondência entre as medidas:



Quando o termômetro Celsius estiver registrando 90 °C, o termômetro E estará marcando:

- a) 100 °E d) 170 °E
b) 120 °E e) 200 °E
c) 150 °E

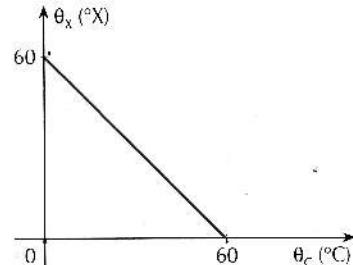
- T.31** (Uema) O gráfico estabelece a relação entre uma escala termométrica hipotética de temperatura e a escala Celsius.



A temperatura da água em ebulação, nessa escala hipotética, vale:

- a) 60 °H c) 80 °H e) 125 °H
b) 100 °H d) 120 °H

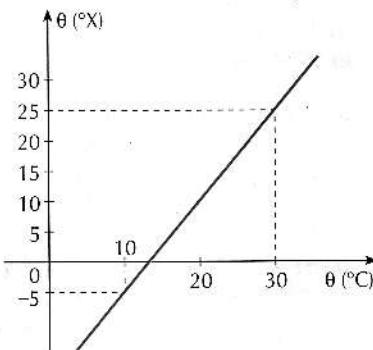
- T.32** (Unifor-CE) O gráfico representa a relação entre uma escala de temperatura arbitrária X e a escala Celsius.



Na escala X, ao nível do mar, a temperatura de fusão do gelo e a de ebulação da água valem, respectivamente:

- a) 100 e 0 c) 60 e -40 e) -40 e 60
b) 60 e 40 d) 0 e 100

- T.33** (UEL-PR) O gráfico a seguir representa a relação entre a temperatura medida numa escala X e a mesma temperatura medida na escala Celsius.



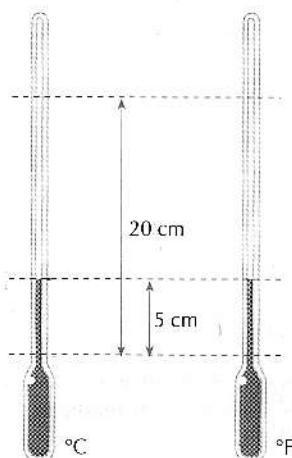
Pelo gráfico, pode-se concluir que o intervalo de temperatura de 1,0 °C é equivalente a:

- a) 0,50 °X c) 1,0 °X e) 2,0 °X
b) 0,80 °X d) 1,5 °X

- T.34** (Mackenzie-SP) Um profissional, necessitando efetuar uma medida de temperatura, utilizou um termômetro cujas escalas termométricas inicialmente impressas ao lado da coluna de mercúrio estavam ilegíveis. Para atingir seu objetivo, colocou o termômetro inicialmente numa vasilha com gelo fundente, sob pressão normal, e verificou que no equilíbrio térmico a coluna de mercúrio atingiu 8,0 cm. Ao colocar o termômetro em contato com água fervente, também sob pressão normal, o equilíbrio térmico se deu com a coluna de mercúrio atingindo 20,0 cm de altura. Se nesse termômetro utilizarmos as escalas Celsius e Fahrenheit e a temperatura a ser medida for expressa pelo mesmo valor nas duas escalas, a coluna de mercúrio terá altura de:

- a) 0,33 cm c) 3,2 cm e) 6,0 cm
b) 0,80 cm d) 4,0 cm

- T.35** (UFBA) As indicações para os pontos de fusão do gelo e de ebulição da água sob pressão normal de dois termômetros, um na escala Celsius e outro na escala Fahrenheit, distam 20 cm, conforme a figura.



A 5 cm do ponto de fusão do gelo os termômetros registram temperaturas iguais a:

- a) 25 °C e 77 °F
- b) 20 °C e 40 °F
- c) 20 °C e 45 °F
- d) 25 °C e 45 °F
- e) 25 °C e 53 °F

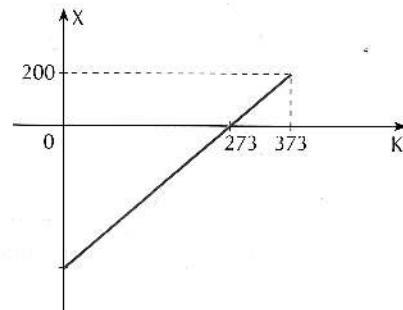
- T.36** (Uneb-BA) Numa cidade onde a pressão atmosférica vale 1 atm, a coluna de mercúrio de um termômetro apresenta altura de 4 cm, quando em equilíbrio térmico com gelo em fusão, e possui altura de 14 cm, quando em equilíbrio térmico com água em ebulição. A altura da coluna de mercúrio quando a indicação do termômetro é de 30 °C é, em cm:

- a) 3
- b) 4
- c) 7
- d) 11
- e) 17

- T.37** (Mackenzie-SP) O célebre físico irlandês William Thomson, que ficou mundialmente conhecido pelo título de lorde Kelvin, entre tantos trabalhos que desenvolveu, "criou" a escala termométrica absoluta. Essa escala, conhecida por escala Kelvin, consequentemente não admite valores negativos, e, para tanto, estabeleceu como zero o estado de mínima energia molecular. Conceitualmente sua colocação é consistente, pois a temperatura de um corpo se refere à medida:

- a) da quantidade de movimento das moléculas do corpo.
- b) da quantidade de calor do corpo.
- c) da energia térmica associada ao corpo.
- d) da energia cinética das moléculas do corpo.
- e) do grau de agitação das moléculas do corpo.

- T.38** (Unirio-RJ) O nitrogênio, à pressão de 1,0 atm, se condensa a uma temperatura de -392 graus numa escala termométrica X. O gráfico representa a correspondência entre essa escala e a escala K (Kelvin).



Em função dos dados apresentados no gráfico, podemos verificar que a temperatura de condensação do nitrogênio, em kelvin, é dada por:

- a) 56
- b) 77
- c) 100
- d) 200
- e) 273

- T.39** (Mackenzie-SP) Para medir a temperatura de um certo corpo, utilizou-se um termômetro graduado na escala Fahrenheit e o valor obtido correspondeu a $\frac{4}{5}$ da indicação de um termômetro graduado na escala Celsius, para o mesmo estado térmico. Se a escala adotada tivesse sido a Kelvin, esta temperatura seria indicada por:

- a) 305 K
- b) 273 K
- c) 241 K
- d) 32 K
- e) 25,6 K

- T.40** (UFPA) Em um certo instante a temperatura de um corpo, medida na escala Kelvin, foi de 300 K. Decorrido um certo tempo, mediu-se a temperatura desse mesmo corpo e o termômetro indicou 68 °F. A variação de temperatura sofrida pelo corpo, medida na escala Celsius, foi de:

- a) -32 °C
- b) -5 °C
- c) -7 °C
- d) 212 °C
- e) 368 °C



Criogenia – a Física das baixas temperaturas

A palavra **criogenia** se origina do grego e, literalmente, significa "criação do frio". Temperaturas muito reduzidas têm atualmente várias aplicações — desde as mais simples, como na conservação e no transporte de produtos perecíveis, até sua utilização em Medicina e Veterinária.

Na área médica, em certas cirurgias utiliza-se o chamado **bisturi criogênico**, no qual circula nitrogênio líquido, com temperaturas da ordem de 77 K. Com esse instrumento, só a parte a ser removida fica submetida a baixas temperaturas, sendo preservados os tecidos sadios. A cicatrização das incisões feitas com esse bisturi ocorre em menos tempo e com menor risco de infecção, comparando-se com os bisturis convencionais.

Outra aplicação é a conservação do sangue e de seus componentes em baixas temperaturas para posterior utilização. Um procedimento moderno, adotado por muitos países, consiste em coletar o sangue do cordão umbilical do recém-nascido e conservá-lo em baixas temperaturas. A intenção seria a futura utilização das células-tronco presentes nesse sangue que possibilitem a cura de doenças que a criança possa vir a ter em sua vida.

A inseminação artificial, tanto em seres humanos como em animais, depende muito da criogenia. Nos bancos de esperma, o sêmen deve ser mantido extremamente resfriado, para que o material a ser usado não perca suas características.

Outro uso da tecnologia de baixas temperaturas são os **combustíveis criogênicos**, principalmente compostos de oxigênio e hidrogênio, usados na propulsão de foguetes.

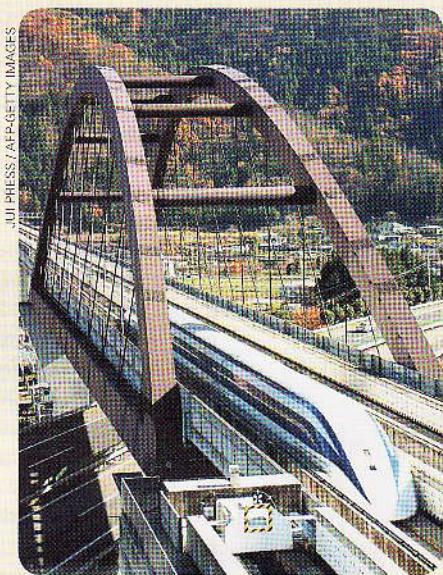
A criogenia é amplamente utilizada em tecnologias que dependem da **supercondutividade**. Esse fenômeno se manifesta em certos materiais que, em temperaturas baixas, praticamente não oferecem resistência à passagem da corrente elétrica, sendo por isso chamados **supercondutores**.

As aplicações técnicas dos supercondutores são as mais variadas. Os aparelhos de ressonância magnética nuclear, largamente usados na Medicina Diagnóstica, dependem de técnicas criogênicas para manter a temperatura dos supercondutores que garantem seu funcionamento. A supercondutividade também é utilizada nos trens-bala japoneses (trens de "levitação magnética"), possibilitando que eles desenvolvam velocidades da ordem de 500 km/h.

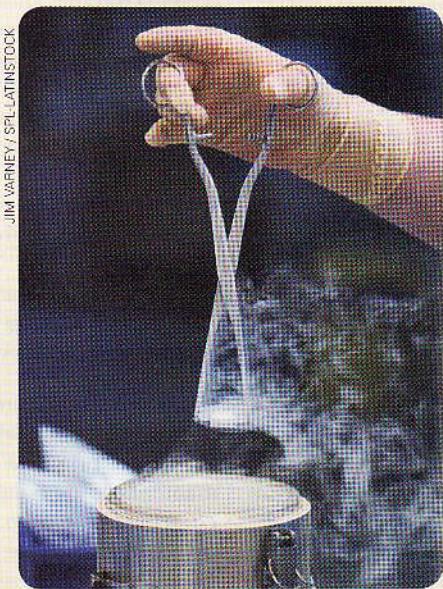
Outras aplicações:

- pneus velhos e plásticos, após serem congelados com nitrogênio líquido, são pulverizados e misturados com asfalto para pavimentação (essa mistura aumenta a aderência da pista);
- o aço tratado com nitrogênio líquido é mais duro e resistente ao desgaste;
- retirando-se moléculas de ar de um ambiente por meio da absorção a baixas temperaturas, conseguem-se pressões muito baixas, simulando ambiente extraterrestre.

Entrando no campo da ficção científica, cabe por fim citar a **criônica**, um ramo da criogenia. Trata-se do conjunto de técnicas utilizadas para preservar, utilizando temperaturas muito baixas, pessoas legalmente mortas ou animais para uma possível reanimação futura, na crença de que a ciência e a tecnologia poderão, algum dia, remediar qualquer enfermidade e reverter os danos causados pelo processo de criopreservação.



▲ Maglev, o trem-bala que "levita" sobre os trilhos, durante uma viagem experimental em que atingiu a velocidade de 580 km/h. Tsuru, Japão, 2003.



▲ Num laboratório, uma amostra de tecido é retirada de um tanque com nitrogênio líquido, onde foi armazenada para biópsia.

Teste sua leitura

- L.1 (Vunesp) Sêmen bovino para inseminação artificial é conservado em nitrogênio líquido que, à pressão normal, tem temperatura de 78 K. Calcule essa temperatura em:
- graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$);
 - graus Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$).

- L.2 (Unifesp) O texto a seguir foi extraído de uma matéria sobre congelamento de cadáveres para sua preservação por muitos anos, publicada no jornal *O Estado de S. Paulo* de 21/07/2002.

"Após a morte clínica, o corpo é resfriado com gelo. Uma injeção de anticoagulantes é aplicada e um fluido especial é bombeado para o coração, espalhando-se pelo corpo e empurrando para fora os fluidos naturais. O corpo é colocado numa câmara com gás nitrogênio, onde os fluidos endurecem em vez de congelar. Assim que atinge a temperatura de -321° , o corpo é levado para um tanque de nitrogênio líquido, onde fica de cabeça para baixo."

Na matéria, não consta a unidade de temperatura usada.

Considerando que o valor indicado de -321° esteja correto e que pertença a uma das escalas, Kelvin, Celsius ou Fahrenheit, pode-se concluir que foi usada a escala:

- Kelvin, pois trata-se de um trabalho científico e esta é a unidade adotada pelo Sistema Internacional.
- Fahrenheit, por ser um valor inferior ao zero absoluto e, portanto, só pode ser medido nessa escala.
- Fahrenheit, pois as escalas Celsius e Kelvin não admitem esse valor numérico de temperatura.
- Celsius, pois só ela tem valores numéricos negativos para a indicação de temperaturas.
- Celsius, por tratar-se de uma matéria publicada em língua portuguesa e essa ser a unidade adotada oficialmente no Brasil.

- L.3 (UFRN) O departamento de Física da UFRN possui um laboratório de pesquisa em criogenia, ciência que estuda a produção e manutenção de temperaturas muito baixas, contribuindo para o entendimento das propriedades físicas e químicas de sistemas nessas temperaturas pouco comuns. Nesse laboratório, uma máquina retira o gás nitrogênio do ar e o liquefaz a uma tempera-

tura de 77,0 kelvins (K), que corresponde a -196 graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Nessa temperatura o nitrogênio é usado cotidianamente pelos departamentos de Física, Química e Biologia da UFRN, como também por pecuaristas no congelamento de sêmen para reprodução animal.

O nitrogênio líquido, em virtude de suas características, necessita ser manuseado adequadamente, pois pessoas não habilitadas poderão sofrer acidentes e ser vítimas de explosões. Imagine uma pessoa desavisada transportando, num dia quente de verão, uma porção de nitrogênio líquido numa garrafa plástica fechada. Como o nitrogênio líquido tende a entrar em equilíbrio térmico com o ambiente, mudará de estado físico, transformando-se em um gás. A tendência desse gás é se expandir, podendo provocar uma explosão.

Admita que:

- o nitrogênio rapidamente se transforma em gás, cuja pressão (p) num ambiente de volume invariável é diretamente proporcional à temperatura absoluta (T);
 - a pressão interna e a temperatura iniciais desse gás são, respectivamente, 2,00 atmosferas e 78,0 K;
 - a garrafa utilizada pode suportar uma pressão máxima de 4,00 atmosferas e o volume dessa garrafa não varia até que a explosão ocorra.
- Diante dessas considerações, é correto dizer que a temperatura limite (do gás nitrogênio) que a garrafa suporta sem explodir é:
- 273 K
 - 156 K
 - 234 K
 - 128 K

- L.4 (UFPB) Uma determinada cerâmica não apresenta nenhuma propriedade notável à temperatura ambiente (20°C). Entretanto, quando sua temperatura sofre uma redução de 200 K, ela exibe o extraordinário fenômeno da supercondutividade. Em graus Celsius, essa redução é de:
- 23
 - 73
 - 200
 - 53
 - 453



Atividade experimental

Realize a experiência com supervisão de seu professor.

A sensação térmica

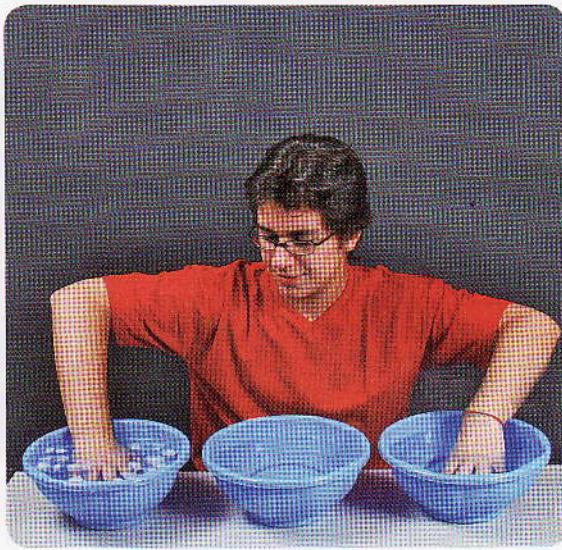
Encha três bacias com água em temperaturas diferentes: a primeira com água gelada, a segunda com água à temperatura ambiente e a terceira com água quente (cuidado, pois você deverá colocar a mão dentro dela).

Inicialmente, ponha ambas as mãos dentro da bacia do meio.

- Houve diferença na sensação térmica que você teve em cada uma das mãos, em contato com essa água?

Em seguida, coloque a mão direita na água gelada e a mão esquerda na água quente, mantendo-as mergulhadas por cerca de meio minuto. Fimdo esse intervalo de tempo, retire-as e volte a colocá-las ao mesmo tempo dentro da bacia do meio.

- A sensação que você teve foi a mesma nas duas mãos?
- Descreva a sensação em cada uma de suas mãos ao mergulhá-las na água à temperatura ambiente.
- Explique por que a sensação térmica não é um bom critério para avaliar a temperatura de um sistema.



THE NEXT



HISTÓRIA DA FÍSICA

A HISTÓRIA DO TERMÔMETRO E DAS ESCALAS TERMOMÉTRICAS

Parece ter sido o famoso médico grego GALENO, em 170 d.C., o primeiro a ter a idéia de utilizar uma escala de temperaturas, tomando como base a ebulição da água e a fusão do gelo. Em suas notas médicas, ele sugeriu, em torno dessas temperaturas, quatro "graus de calor" acima e quatro "graus de frio" abaixo. Entretanto, suas observações não são suficientemente claras e precisas para dizermos que ele tenha criado uma escala de temperaturas.



▲ Cláudio Galeno

Os primeiros equipamentos para avaliar temperaturas eram aparelhos simples chamados termoscópios. Admite-se que GALILEU (1564-1642), em 1610, tenha concebido um dos primeiros termoscópios, utilizando vinho na sua construção. Na verdade, esses aparelhos usam o ar como substância termométrica, pois é sua expansão ou contração que faz movimentar a coluna líquida, como vimos ao analisar o termoscópio de Galileu. Os termoscópios são aparelhos sem grande precisão, servindo mais para verificar se a temperatura subiu ou desceu, ou para comparar corpos mais frios ou mais quentes.

A constatação de que a água e o álcool dilatam-se em faixas de temperatura comuns na vida cotidiana possibilitou a construção de aparelhos mais aperfeiçoados. Em 1641, o grão-duque da Toscana, FERDINANDO II, construiu o primeiro termômetro selado, que usava líquido em vez de ar como substância termométrica. Nesse termômetro usou-se álcool dentro de um recipiente de vidro e foram marcados, em um tubo, 50 graus. Entretanto, como não foi especificado um ponto fixo como o "zero" da escala, as indicações careciam de precisão.



CHRISTOPHER COOPER CORBIS/LATINSTOCK

Réplica de um ▶
termômetro a álcool
rudimentar.

A primeira escala termométrica confiável é atribuída ao cientista inglês ROBERT HOOKE (1635-1703), que, em 1664, idealizou-a usando em seu termômetro água com tinta vermelha em vez de álcool. Nessa escala, o “zero” era o ponto de congelamento da água e cada grau correspondia a um aumento de 2 milésimos no volume do líquido do termômetro. A escala de Hooke foi usada pela Real Sociedade inglesa até 1709, e com ela se fez o primeiro registro meteorológico de que se tem notícia.

O astrônomo dinamarquês OLAF ROEMER (1644-1710) criou, em 1702, a primeira escala com dois pontos fixos: adotou o “zero” para uma mistura de gelo e água (ou de gelo e cloreto de amônia, segundo alguns) e o valor 60 para água fervente. Com essa escala, Roemer registrou a temperatura diária de Copenhague durante os anos de 1708 e 1709.

Após uma visita a Roemer, em 1708, o físico alemão DANIEL GABRIEL FAHRENHEIT (1686-1736) começou a construir seus próprios termômetros e, em 1714, passou a usar o mercúrio como substância termométrica. A escala que leva seu nome foi criada em 1724, adotando como “zero” uma mistura de sal de amônia, gelo e água e o valor 96 para a temperatura do corpo humano. Após algum tempo, fez ajustes em sua escala, atribuindo os valores 32 e 212, respectivamente, para os pontos de congelamento e ebulição da água.

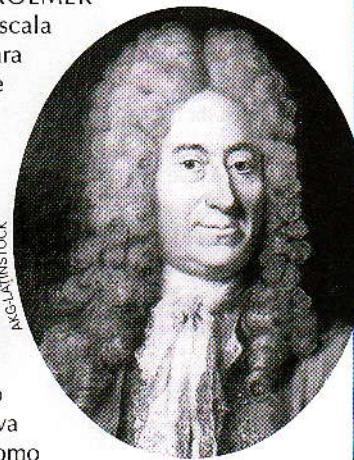
Contemporâneo de Fahrenheit, o físico e biólogo francês RENÉ ANTOINE DE RÉAUMUR (1683-1757) criou uma escala para os termômetros de álcool que construía. Com o valor zero para o ponto do gelo e 80 para o ponto de ebulição da água, essa escala hoje só tem valor histórico.

Em 1742, o astrônomo e físico sueco ANDERS CELSIUS (1701-1744) apresentou à Real Sociedade sueca sua escala, que adotava “zero” para o ponto de ebulição da água e 100 para seu ponto de congelamento. Foi o biólogo sueco CARLOS LINEU (1707-1778) quem, em 1745, propôs a inversão dos valores, estabelecendo a escala definitiva usada até hoje — zero para o ponto de gelo e 100 para o ponto de ebulição da água. A substituição do nome da unidade (de grau centígrado para grau Celsius) e a adoção do nome da escala (escala Celsius) ocorreu apenas em 1948.

A escala científica adotada hoje é a escala absoluta, criada em 1848 pelo físico inglês conhecido como LORDE KELVIN (1824-1907). A unidade de medida dessa escala, o kelvin (K), é a unidade de temperatura termodinâmica no SI.



▲ Anders Celsius (gravura de 1735, colorizada digitalmente).



▲ Olaf Roemer

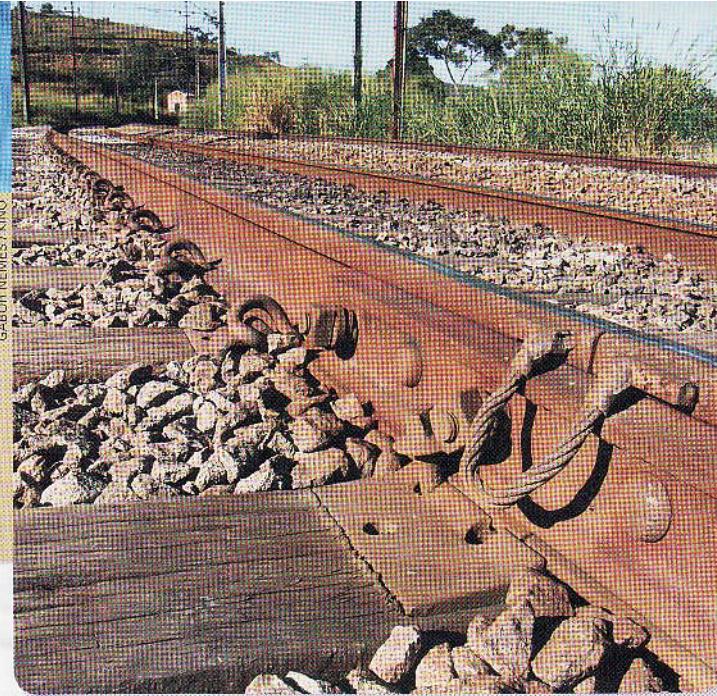
Enquanto isso...

Consulte a **Linha do tempo**, nas primeiras páginas deste volume, onde são assinalados os principais acontecimentos históricos que ocorreram na época em que viveram Celsius, Fahrenheit e Roemer (de 1664 a 1744), além de personagens importantes, em vários ramos de atividade, que viveram nesse mesmo período. Dentre eles, salientamos:

- George Washington (1732-1799) Primeiro presidente dos Estados Unidos, é considerado o Pai da Pátria pelos norte-americanos. Participou ativamente da Guerra da Independência dos EUA, que culminou com o reconhecimento do novo país em 1783.
- Johanes Vermeer (1632-1675) Pintor holandês, é considerado o segundo nome da Idade de Ouro da pintura holandesa, atrás apenas de Rembrandt. Sua obra mais conhecida, *Moça com brinco de pérola*, considerada a Mona Lisa holandesa, deu origem ao filme inglês homônimo de 2003, dirigido por Peter Webber e estrelado por Scarlett Johansson.
- Giambattista Tiepolo (1696-1770) Pintor veneziano, é considerado um dos grandes mestres da pintura italiana. Com estilo grandioso, criou cenários que evocam uma dimensão terrena voltada para o infinito e a ficção. Convidado pelo rei da Espanha Carlos III, elaborou várias pinturas para o Palácio Real de Aranjuez, vindo a falecer em Madri, onde foi enterrado.
- George Friedrich Haendel (1696-1759) Composer barroco alemão. Suas obras incluem 32 oratórios, 40 óperas, 110 cantatas, 20 concertos, 39 sonatas, fugas, suítes, obras sacras para missas e obras orquestrais. Entre as mais conhecidas, estão *O Messias* e *Judas Macabeu*.
- Emanuel Kant (1724-1804) Filósofo prussiano, é considerado o último grande filósofo da era moderna, um dos mais influentes pensadores do Iluminismo. Teve grande impacto no Romantismo alemão.
- Thomas Hobbes (1588-1679) Teórico político e filósofo inglês. Em sua obra mais importante, *Leviatã*, expõe seus pontos de vista sobre a natureza humana e sobre a necessidade de governos e sociedades. Segundo ele, cada homem tem direito a tudo e por isso há um constante conflito de todos contra todos. Para evitar que essa “guerra” se concretize, as sociedades estabelecem um contrato social.



Dilatação térmica de sólidos e líquidos



1. INTRODUÇÃO
2. DILATAÇÃO LINEAR DOS SÓLIDOS
3. GRÁFICOS DA DILATAÇÃO LINEAR
4. DILATAÇÃO SUPERFICIAL DOS SÓLIDOS
5. DILATAÇÃO VOLUMÉTRICA DOS SÓLIDOS
6. DILATAÇÃO TÉRMICA DOS LÍQUIDOS

■ O aumento de temperatura geralmente acarreta, nos sólidos e nos líquidos, aumento em suas dimensões. Por isso, quando os trilhos de uma ferrovia são assentados, são deixados espaços que permitem sua variação de comprimento, como se mostra na foto. As leis pelas quais se relacionam as variações das dimensões com as variações de temperatura são estudadas neste capítulo.



1. Introdução

Após o estudo da temperatura e de sua medida, feito no capítulo anterior, passaremos agora a considerar um dos efeitos da temperatura: a **dilatação**.

Geralmente, quando a temperatura de um corpo aumenta, suas dimensões também aumentam. A esse fenômeno dá-se o nome de **dilatação térmica**. Quando diminuem as dimensões do corpo, em virtude da diminuição da temperatura, temos a **contração térmica**.

A dilatação de um corpo pelo aumento de temperatura é consequência do aumento da agitação das partículas constituintes do corpo — sejam elas átomos, moléculas ou íons, de acordo com o material. As colisões entre essas partículas tornam-se mais violentas após o aquecimento, o que causa uma separação maior entre elas.

Imaginemos uma experiência simples para evidenciar esse fato. Um termômetro de mercúrio é colocado no interior de um líquido. Se submergirmos o líquido à chama de um bico de gás (figura 1), o termômetro indicará um aumento da temperatura. Essa indicação se faz da seguinte maneira: as moléculas do líquido recebem calor da chama, aumentando sua energia cinética; essas moléculas golpeiam o vidro do bulbo do termômetro com maior freqüência e mais violentamente; as partículas do vidro passam a vibrar mais intensamente e transmitem essa energia de vibração às partículas do mercúrio, também por meio de colisões; a energia cinética das partículas do mercúrio aumenta e, com isso, a distância média entre elas aumenta; desse modo, a coluna de mercúrio se dilata.

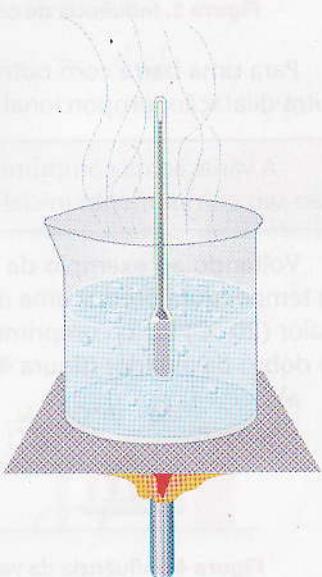


Figura 1. Em diversos instrumentos de medição, o fenômeno da dilatação térmica é utilizado como meio para obtenção de medidas de temperatura, como ocorre no termômetro de mercúrio.

A dilatação térmica é sempre **volumétrica** (figura 2c), pois as moléculas afastam-seumas das outras em qualquer direção que se considere. Se analisarmos a dilatação em uma só direção (variação do comprimento de uma barra, variação do diâmetro de uma esfera, variação de uma aresta de um cubo), estaremos estudando a **dilatação linear** (figura 2a). Ao analisar a dilatação de duas das dimensões (variação da área de uma placa, variação da área da face de um cubo, variação da área de secção transversal de uma barra), estaremos estudando a **dilatação superficial** (figura 2b).

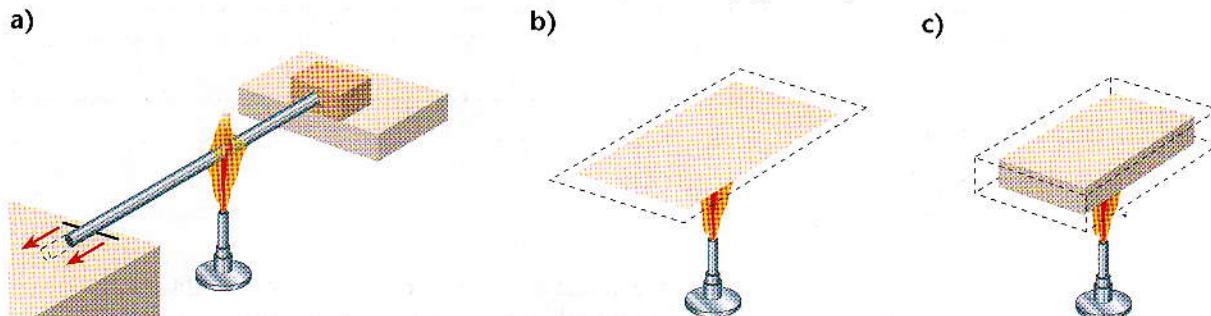


Figura 2. a) Dilatação linear. b) Dilatação superficial. c) Dilatação volumétrica.

Então, por conveniência didática, faremos o estudo da dilatação dos sólidos da seguinte maneira:

- dilatação linear — aumento de uma das dimensões do corpo, como no caso do comprimento de uma barra (figura 2a);
- dilatação superficial — aumento da área de uma superfície, como a de uma placa (figura 2b);
- dilatação volumétrica — aumento do volume do corpo (figura 2c).

No caso dos líquidos, por não terem forma própria e estarem contidos em recipientes sólidos, costumamos estudar apenas sua dilatação volumétrica.

2. Dilatação linear dos sólidos

Quando aumentamos de 10 °C a temperatura de uma barra de ferro com 100 cm de comprimento, essa dimensão aumenta de 0,012 cm (figura 3a). Submetida ao mesmo aquecimento, uma barra de ferro com o dobro do comprimento (200 cm) tem sua dimensão aumentada de 0,024 cm, ou seja, sofre uma dilatação igual ao dobro da anterior (figura 3b).

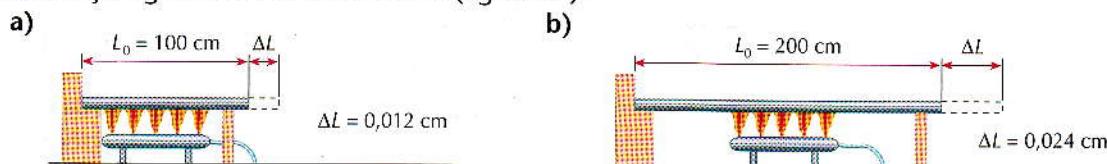


Figura 3. Influência do comprimento inicial na dilatação.

Para uma barra com outro comprimento inicial, a mesma elevação de temperatura acarretará uma outra dilatação, proporcional ao comprimento inicial dessa barra.

A variação de comprimento ΔL de uma barra que sofre aquecimento é diretamente proporcional ao seu comprimento inicial L_0 .

Voltando ao exemplo da barra de ferro, de comprimento inicial $L_0 = 100$ cm, a elevação de 10 °C na temperatura produz uma dilatação de 0,012 cm (figura 4a). Uma elevação de temperatura duas vezes maior (20 °C) faz o comprimento da barra aumentar de 0,024 cm, isto é, acarreta uma dilatação igual ao dobro da anterior (figura 4b).

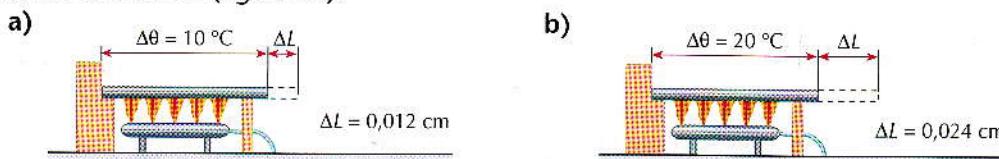


Figura 4. Influência da variação de temperatura na dilatação.

A variação de comprimento ΔL de uma barra que sofre aquecimento é diretamente proporcional à variação de temperatura $\Delta\theta$.

Repetindo as experiências com barras de materiais diferentes, observamos o mesmo comportamento, mas a dilatação é específica para cada caso.

A variação de comprimento ΔL de uma barra que sofre aquecimento depende do material que a constitui.

Tendo em vista que a dilatação ΔL de uma barra é diretamente proporcional ao comprimento inicial L_0 e à variação de temperatura $\Delta\theta$, temos:

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta\theta$$

Nessa fórmula, α é uma constante de proporcionalidade denominada **coeficiente de dilatação linear**, característico de cada material. Essa fórmula expressa, algebraicamente, a **lei da dilatação linear**.

Tomemos novamente o primeiro exemplo apresentado. O comprimento inicial é $L_0 = 100$ cm, a variação de temperatura é $\Delta\theta = 10^\circ\text{C}$ e a dilatação (variação de comprimento) é $\Delta L = 0,012$ cm. O coeficiente de dilatação linear será dado por:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta\theta} \Rightarrow \alpha = \frac{0,012 \text{ cm}}{100 \text{ cm} \cdot 10^\circ\text{C}} \Rightarrow \alpha = 0,000012 \frac{\text{cm}}{\text{cm} \cdot {}^\circ\text{C}}$$

O valor encontrado é o coeficiente de dilatação linear do ferro e tem o seguinte significado:

Ocorre uma dilatação de $0,000012$ cm para cada cm de comprimento da barra e para cada ${}^\circ\text{C}$ de variação de temperatura.

Assim, para o ferro, podemos escrever: $\alpha = 0,000012 \text{ } {}^\circ\text{C}^{-1}$ ou $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } {}^\circ\text{C}^{-1}$.

A unidade do coeficiente de dilatação é o inverso do grau Celsius, chamado **grau Celsius recíproco**, de símbolo ${}^\circ\text{C}^{-1}$.

Na fórmula $\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta\theta$, observe que, para o mesmo L_0 e o mesmo $\Delta\theta$, sofre maior dilatação ΔL o material de maior coeficiente de dilatação α . Os metais estão entre as substâncias que mais se dilatam, isto é, que apresentam maior coeficiente de dilatação. Outros materiais, como o vidro pirex, apresentam pequeno coeficiente de dilatação e, portanto, dilatação reduzida.

Para comparação, apresentamos alguns coeficientes de dilatação linear:

↑ Maior dilatação	Chumbo: $27 \cdot 10^{-6} \text{ } {}^\circ\text{C}^{-1}$	Concreto: $12 \cdot 10^{-6} \text{ } {}^\circ\text{C}^{-1}$	↓ Menor dilatação
	Zinco: $26 \cdot 10^{-6} \text{ } {}^\circ\text{C}^{-1}$	Vidro comum: $9 \cdot 10^{-6} \text{ } {}^\circ\text{C}^{-1}$	
	Alumínio: $22 \cdot 10^{-6} \text{ } {}^\circ\text{C}^{-1}$	Granito: $8 \cdot 10^{-6} \text{ } {}^\circ\text{C}^{-1}$	
	Prata: $19 \cdot 10^{-6} \text{ } {}^\circ\text{C}^{-1}$	Vidro pirex: $3,2 \cdot 10^{-6} \text{ } {}^\circ\text{C}^{-1}$	
	Ouro: $15 \cdot 10^{-6} \text{ } {}^\circ\text{C}^{-1}$	Porcelana: $3 \cdot 10^{-6} \text{ } {}^\circ\text{C}^{-1}$	

O coeficiente de dilatação linear, como foi definido, corresponde a um valor médio entre a temperatura inicial e a temperatura final. É possível definir um coeficiente $\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta\theta}$ para dada temperatura pelo limite da expressão $\frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta\theta}$ quando o intervalo de temperatura $\Delta\theta$ tende a zero. Contudo, não sendo muito grande a variação de temperatura, o valor médio do coeficiente de dilatação praticamente coincide com o coeficiente em dada temperatura.

Outra fórmula para a dilatação linear é obtida substituindo-se ΔL por $(L - L_0)$, sendo L o comprimento final.

$$L - L_0 = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow L = L_0 + \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow L = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$



2.1. Dilatação relativa

Chama-se **dilatação relativa** de um corpo a relação entre o valor da dilatação que esse corpo sofre e o valor inicial de suas dimensões. Essa relação pode ser dada porcentualmente, o que é bastante comum.

Assim, quando dizemos que o comprimento de uma barra aumentou de 0,5%, isso significa que a relação entre sua dilatação ΔL e seu volume inicial L_0 vale:

$$\frac{\Delta L}{L_0} = 0,5\% = \frac{0,5}{100} = 0,005$$

Com base na fórmula que expressa a lei da dilatação, poderíamos também escrever, nesse caso:

$$\alpha \cdot \Delta\theta = \frac{0,5}{100} = 0,005$$

Observe que, conhecida a dilatação relativa e a variação de temperatura, podemos obter o coeficiente de dilatação do material que constitui a barra.



3. Gráficos da dilatação linear

Vamos imaginar uma experiência na qual uma barra de comprimento inicial L_0 é submetida, a partir de 0°C , a temperaturas sucessivamente maiores, como, por exemplo, 5°C , 10°C , 15°C , 20°C , ... 50°C . Se anotarmos o comprimento L da barra para cada temperatura e lançarmos no gráfico $L \times \theta$, obtaremos uma curva que, para um intervalo pequeno de temperatura, pode ser considerada uma reta (figura 5), valendo a fórmula $L = L_0 (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$.

Como $\Delta\theta = (\theta - \theta_0)$, temos:

$$L = L_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (\theta - \theta_0)]$$

Se $\theta_0 = 0^\circ\text{C}$, vem:

$$L = L_0 + \alpha \cdot L_0 \cdot \theta \quad (\text{função do primeiro grau})$$

No gráfico:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{L - L_0}{\theta} = \alpha \cdot L_0 \quad (\text{coeficiente angular da reta})$$

De $\Delta L = \alpha \cdot L_0 (\theta - \theta_0)$, se $\theta_0 = 0^\circ\text{C}$, vem:

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \theta \quad (\text{função linear})$$

Seu gráfico é o da figura 6, no qual:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\Delta L}{\theta} = \alpha \cdot L_0 \quad (\text{coeficiente angular da reta})$$

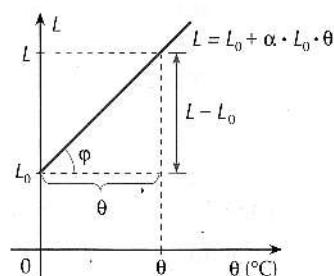


Figura 5. Gráfico da função $L = L_0 + \alpha \cdot L_0 \cdot \theta$.

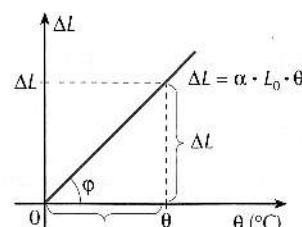


Figura 6. Gráfico da função $\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \theta$.

A lâmina bimetálica

A lâmina bimetálica é um dispositivo constituído por duas tiras justapostas e bemaderadas, feitas de metais com diferentes coeficientes de dilatação (figura a). Ao serem aquecidas, as tiras se dilatam provocando o encurvamento da lâmina para o lado da tira de menor coeficiente de dilatação (figura b).

Uma aplicação prática comum da lâmina bimetálica é o seu uso no chamado pisca-pisca. As fotos seguintes ilustram uma montagem simples em que uma lâmina bimetálica funciona como interruptor de um circuito, ligando-o e desligando-o continuamente. Partindo da situação em que a lâmpada está acesa (foto 1), a corrente elétrica, ao passar pela lâmina, determina o aquecimento desta. Com isso, a lâmina se encrava, abrindo o circuito (foto 2). Interrompida a corrente, a lâmina esfria, volta à posição inicial, fecha o circuito e novamente a lâmpada se acende (foto 3). A lâmina volta a se aquecer pela passagem da corrente, encrava-se e abre o circuito, repetindo-se o ciclo.

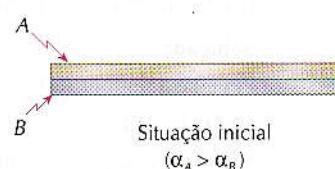


Figura a

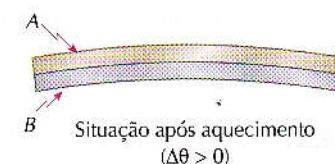
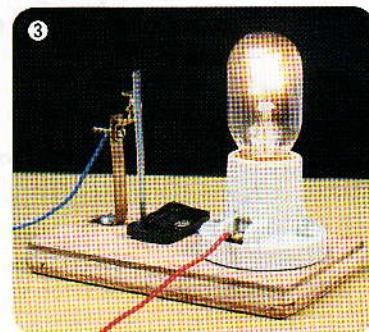
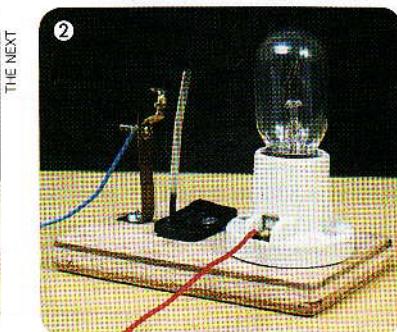
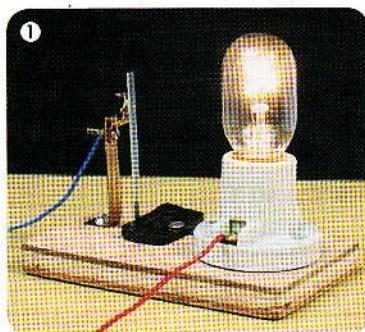


Figura b



Exercícios resolvidos

R.9

Uma barra apresenta a 10°C comprimento de 90 m, sendo feita de um material cujo coeficiente de dilatação linear médio vale $19 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. A barra é aquecida até 20°C . Determine:

- a dilatação ocorrida;
- a dilatação relativa, expressa em porcentagem;
- o comprimento final da barra.

Solução:

a) Pela lei da dilatação linear ($\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta\theta$), sendo dados $\alpha = 19 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $L_0 = 90 \text{ m} = 9.000 \text{ cm}$ e

$$\Delta\theta = 20^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C} = 10^\circ\text{C}, \text{ resulta:}$$

$$\Delta L = 19 \cdot 10^{-6} \cdot 9.000 \cdot 10 \Rightarrow \Delta L = 171 \cdot 10^{-2} \Rightarrow \boxed{\Delta L = 1,71 \text{ cm}}$$

b) A dilatação relativa é dada por:

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{1,71}{90} = 0,019 \Rightarrow \frac{\Delta L}{L_0} = 0,019 \cdot 100\% \Rightarrow \boxed{\frac{\Delta L}{L_0} = 1,9\%}$$

c) O comprimento final L vale:

$$L = L_0 + \Delta L \Rightarrow L = 9.000 + 1,71 \Rightarrow \boxed{L = 9.001,71 \text{ cm}}$$

Respostas: a) 1,71 cm; b) 1,9%; c) 9.001,71 cm

- R.10** Duas barras *A* e *B* de materiais diferentes apresentam, a 0 °C, comprimentos respectivamente iguais a 75,0 cm e 75,3 cm. A que temperatura devem ser aquecidas para que seus comprimentos se tornem iguais? Os coeficientes de dilatação linear dos materiais de *A* e *B* valem, respectivamente, $5,4 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e $2,4 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Solução:

Pede-se a temperatura em que $L_A = L_B$. Mas: $L_A = L_{0A} \cdot (1 + \alpha_A \cdot \Delta\theta)$ e $L_B = L_{0B} \cdot (1 + \alpha_B \cdot \Delta\theta)$

$$\text{Logo: } L_{0A} \cdot (1 + \alpha_A \cdot \Delta\theta) = L_{0B} \cdot (1 + \alpha_B \cdot \Delta\theta)$$

São dados: $L_{0A} = 75,0 \text{ cm}$; $L_{0B} = 75,3 \text{ cm}$; $\Delta\theta = \theta - 0 = \theta$; $\alpha_A = 5,4 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$; $\alpha_B = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

Substituindo esses valores: $75,0 \cdot (1 + 5,4 \cdot 10^{-5} \theta) = 75,3 \cdot (1 + 2,4 \cdot 10^{-5} \theta)$

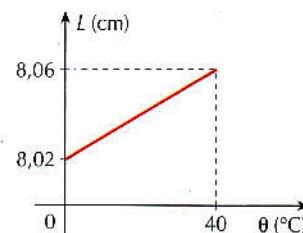
$$75,0 + 405 \cdot 10^{-5} \theta = 75,3 + 180,72 \cdot 10^{-5} \theta \Rightarrow 224,28 \cdot 10^{-5} \theta = 0,3 \Rightarrow \theta = \frac{0,3}{224,28 \cdot 10^{-5}} \Rightarrow \theta \approx 133,76 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Resposta: $\approx 133,76 \text{ }^{\circ}\text{C}$

- R.11** O gráfico mostra como varia o comprimento de uma barra metálica em função da temperatura.

a) Determine o coeficiente de dilatação linear médio do metal, no intervalo de temperatura considerado.

b) Considerando que o gráfico continue com as mesmas características para $\theta > 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$, determine o comprimento da barra a 70 °C.



Solução:

a) Do gráfico, obtemos os valores:

$$L_0 = 8,02 \text{ cm}; \Delta L = L - L_0 = 8,06 \text{ m} - 8,02 \text{ m} = 0,04 \text{ m}; \Delta\theta = 40 \text{ }^{\circ}\text{C} - 0 \text{ }^{\circ}\text{C} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

O coeficiente de dilatação linear médio no intervalo de temperatura considerado é dado por: $\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta\theta}$

Substituindo os valores:

$$\alpha = \frac{0,04}{8,02 \cdot 40} \Rightarrow \alpha \approx 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

b) Para a temperatura $\theta = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

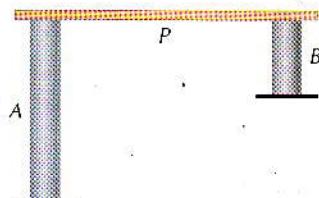
$$\Delta\theta = \theta - \theta_0 = 70 \text{ }^{\circ}\text{C} - 0 \text{ }^{\circ}\text{C} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

O comprimento final da barra será dado por:

$$L = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) \Rightarrow L = 8,02 \cdot (1 + 1,25 \cdot 10^{-4} \cdot 70) \Rightarrow L = 8,09 \text{ cm}$$

Respostas: a) $\approx 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$; b) 8,09 cm

- R.12** Na figura, a plataforma *P* é horizontal por estar apoiada nas barras *A* e *B* de coeficientes de dilatação iguais, respectivamente, a α_A e α_B . Determine a relação entre os comprimentos iniciais L_A e L_B das barras, a fim de que a plataforma *P* permaneça horizontal em qualquer temperatura.



Solução:

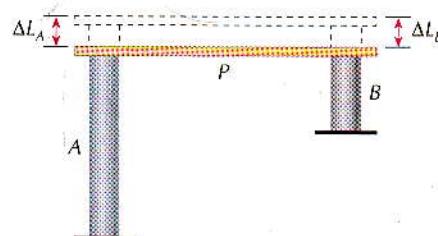
Para a plataforma *P* permanecer horizontal, qualquer que seja a variação de temperatura $\Delta\theta$, as duas barras devem sofrer a mesma dilatação ΔL , conforme mostra a figura:

$$\Delta L_A = \Delta L_B$$

$$\text{Mas: } \Delta L_A = \alpha_A \cdot L_A \cdot \Delta\theta \quad \text{e} \quad \Delta L_B = \alpha_B \cdot L_B \cdot \Delta\theta$$

$$\text{Portanto: } \alpha_A \cdot L_A \cdot \Delta\theta = \alpha_B \cdot L_B \cdot \Delta\theta \Rightarrow \frac{L_A}{L_B} = \frac{\alpha_B}{\alpha_A}$$

Resposta: $\frac{L_A}{L_B} = \frac{\alpha_B}{\alpha_A}$, isto é, os comprimentos iniciais das barras devem estar na razão inversa dos coeficientes de dilatação linear.





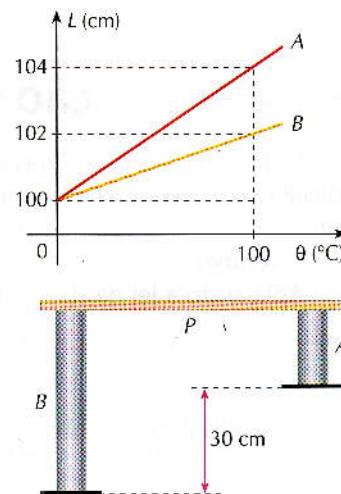
P.22 Uma barra de ouro tem a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ o comprimento de 100 cm. Determine o comprimento da barra quando sua temperatura passa a ser $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. O coeficiente de dilatação linear médio do ouro para o intervalo de temperatura considerado vale $15 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

P.23 Com o auxílio de uma barra de ferro quer-se determinar a temperatura de um forno. Para tal, a barra, inicialmente a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, é introduzida no forno. Verifica-se que, após o equilíbrio térmico, o alongamento da barra é um centésimo do comprimento inicial. Sendo $12 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ o coeficiente de dilatação linear médio do ferro, determine a temperatura do forno.

P.24 Duas barras, uma de cobre e outra de latão, têm o mesmo comprimento a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ e, a $110\text{ }^{\circ}\text{C}$, os seus comprimentos diferem em 1 mm. Os coeficientes de dilatação linear são: para o cobre = $16 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ para o latão = $20 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Determine o comprimento, a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, de cada barra.

P.25 (UFBA) Duas lâminas, uma de aço e outra de bronze, têm comprimentos de 20 cm a uma temperatura de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sabendo que os coeficientes de dilatação linear valem, respectivamente, $12 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e $18 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, calcule a diferença de comprimento quando as lâminas atingem uma temperatura de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

P.26 Na figura está representado o gráfico do comprimento L de duas barras, A e B , em função da temperatura. Sejam respectivamente α_A e α_B os coeficientes de dilatação linear do material das barras A e B . Determine:
 a) os valores dos coeficientes α_A e α_B ;
 b) a temperatura em que a diferença entre os comprimentos das duas barras é igual a 4 cm.



P.27 Na figura dada, a plataforma P é horizontal por estar apoiada nas colunas A (de alumínio) e B (de ferro). O desnível entre os apoios é de 30 cm. Calcule quais devem ser os comprimentos das barras a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ para que a plataforma P permaneça horizontal em qualquer temperatura. São dados os coeficientes de dilatação linear do alumínio ($2,4 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) e do ferro ($1,2 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$).

P.28 (UFRJ) Duas barras metálicas são tais que a diferença entre seus comprimentos, em qualquer temperatura, é igual a 3 cm. Sendo os coeficientes de dilatação linear médios $15 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e $20 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, determine os comprimentos das barras a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A dilatação térmica no dia-a-dia

Quando ocorre um impedimento à livre dilatação ou contração de um corpo, surgem forças internas de tensão que podem levá-lo a se romper ou a se deformar. Por isso, há muitas situações do cotidiano em que a dilatação (ou a contração) térmica é "facilitada" para evitar problemas desse tipo.

Nas ferrovias, as barras de trilho devem ser assentadas com um espaço entre elas, para permitir a livre dilatação quando a temperatura varia. Se isso não fosse feito, os trilhos poderiam se entortar, devido à tensão a que ficariam submetidos.

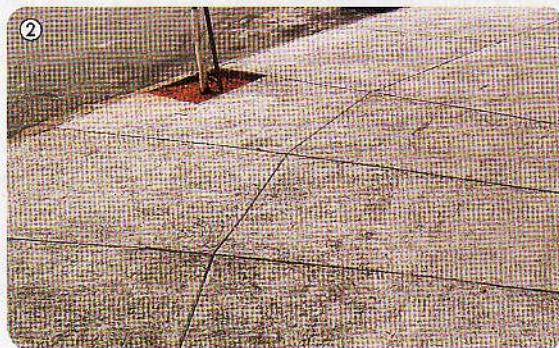
Em pontes, viadutos e grandes construções, empregam-se as chamadas **juntas de dilatação** (foto 1). Elas evitam que variações das dimensões devidas a mudanças de temperatura venham a danificar a estrutura do concreto. Às vezes, a junta de dilatação consiste em roletes sobre os quais a estrutura pode deslizar, compensando os efeitos da dilatação.



Nos calçamentos, separam-se as placas de cimento por ripas de madeira ou varas de plástico (foto 2), que "absorvem" eventuais dilatações das placas, impedindo que elas se rachem.

Os fios instalados entre os postes nas ruas, ou entre as torres das linhas de alta tensão não são esticados. Esse procedimento visa a evitar que, no inverno, com a queda de temperatura, a contração possa esticar esses fios a ponto de eles se romperem. É possível observar ainda que, nos dias quentes de verão, os fios entre os postes costumam se apresentar mais curvos, em virtude da dilatação.

Em canalizações longas (foto 3), colocam-se, de trechos em trechos, tubos formando curvas ("cotovelo"), para possibilitar que ocorra dilatação ou contração térmica sem que haja danos.



4. Dilatação superficial dos sólidos

Considere a placa retangular da figura 7, que apresenta na temperatura inicial θ_0 área $A_0 = x_0 \cdot y_0$, sendo x_0 e y_0 suas dimensões lineares. Na temperatura final θ , a área é $A = x \cdot y$, em que x e y são suas dimensões lineares nessa temperatura.

Aplicando a lei da dilatação linear a cada uma das dimensões, vem:

$$x = x_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

$$y = y_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

Multiplicando membro a membro essas fórmulas, obtemos:

$$xy = x_0 y_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)^2$$

$$A = A_0 \cdot (1 + 2\alpha \cdot \Delta\theta + \alpha^2 \cdot \Delta\theta^2)$$

Desprezando o termo $\alpha^2 \cdot \Delta\theta^2$ por ser muito pequeno e fazendo $2\alpha = \beta$, vem:

$$A = A_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta\theta)$$

Nessa fórmula, $\beta = 2\alpha$ constitui o **coeficiente de dilatação superficial** do material de que é feita a placa, tendo também como unidade o grau Celsius recíproco ($^{\circ}\text{C}^{-1}$). Por exemplo:

Porcelana: $\beta = 6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ Ouro: $\beta = 30 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$

Ferro: $\beta = 24 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ Alumínio: $\beta = 44 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$

A partir da fórmula anterior:

$$A = A_0 + \beta \cdot A_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow A - A_0 = \beta \cdot A_0 \cdot \Delta\theta$$

Mas: $A - A_0 = \Delta A$ é a variação de área sofrida pela placa. Assim:

$$\Delta A = \beta \cdot A_0 \cdot \Delta\theta$$

Portanto:

A dilatação superficial ΔA é diretamente proporcional à área inicial A_0 e à variação de temperatura $\Delta\theta$.

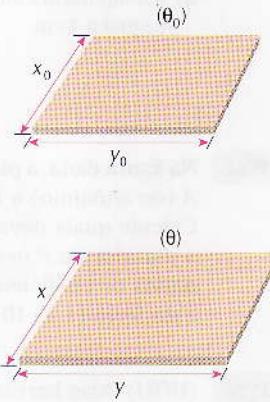


Figura 7. O aumento da temperatura acarreta aumento das dimensões lineares da placa e, portanto, de sua área.

Exercícios resolvidos

- R.13** Uma placa apresenta inicialmente área de 1 m^2 a 0°C . Ao ser aquecida até 50°C , sua área aumenta de $0,8 \text{ cm}^2$. Determine o coeficiente de dilatação superficial e linear médio do material que constitui a placa.

Solução:

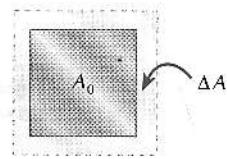
São dados: $A_0 = 1 \text{ m}^2 = 10^4 \text{ cm}^2$; $\Delta A = 0,8 \text{ cm}^2$; $\Delta\theta = 50^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C} = 50^\circ\text{C}$

Aplicando a fórmula da dilatação superficial ($\Delta A = \beta \cdot A_0 \cdot \Delta\theta$), resulta:

$$\Delta A = \beta \cdot A_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \beta = \frac{\Delta A}{A_0 \cdot \Delta\theta} \Rightarrow \beta = \frac{0,8}{10^4 \cdot 50} \Rightarrow \boxed{\beta = 16 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}}$$

$$\text{Mas: } \beta = 2\alpha \Rightarrow \alpha = \frac{\beta}{2} \Rightarrow \boxed{\alpha = 8 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}}$$

Respostas: $\beta = 16 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $\alpha = 8 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$



- R.14** Um disco de ebonite tem orifício central de diâmetro igual a 1 cm. Determine o aumento da área do orifício quando a temperatura do disco varia de 10°C para 100°C . O coeficiente de dilatação superficial médio da ebonite é, no intervalo considerado, igual a $1,6 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Solução:

Quando o disco é aquecido, o orifício central aumenta de diâmetro, como se fosse constituído pelo material do disco. A área inicial do orifício vale:

$$A_0 = \pi R_0^2 = \frac{\pi d_0^2}{4}$$

Sendo $d_0 = 1 \text{ cm}$, vem: $A_0 = \pi \cdot 0,25 \text{ cm}^2$

A variação de temperatura é $\Delta\theta = 100^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C} = 90^\circ\text{C}$ e o coeficiente de dilatação superficial é $\beta = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

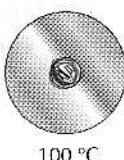
Aplicando a fórmula da dilatação superficial ($\Delta A = \beta \cdot A_0 \cdot \Delta\theta$), vem:

$$\Delta A = 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot 90 \Rightarrow \boxed{\Delta A \doteq 36\pi \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2}$$

Resposta: $36\pi \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2$

Observação:

Podemos explicar o aumento do orifício tendo em vista que, na dilatação, há aumento da distância entre as moléculas. De fato, aumentando a distância entre as moléculas da borda do orifício, o perímetro deste aumenta, aumentando assim o seu diâmetro.



Exercícios propostos

- P.29** Uma chapa de chumbo tem área de 900 cm^2 a 10°C . Determine a área de sua superfície a 60°C . O coeficiente de dilatação linear médio do chumbo entre 10°C e 60°C vale $27 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

- P.30** Um anel de ouro apresenta área interna de 5 cm^2 a 20°C . Determine a dilatação superficial dessa área interna quando o anel é aquecido a 120°C . Entre 20°C e 120°C , o coeficiente de dilatação superficial médio do ouro é $30 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

- P.31** (Faap-SP) Um pino cilíndrico de alumínio ($\beta = \text{coeficiente de dilatação superficial} = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) tem raio 20,000 mm a 20°C . A que temperatura ele deve ser resfriado para se ajustar exatamente num orifício de raio 19,988 mm?

- P.32** (Fuvest-SP) Considere uma chapa de ferro circular, com um orifício circular concêntrico. À temperatura inicial de 30°C , o orifício tem um diâmetro de 1,0 cm. A chapa é então aquecida a 330°C .

a) Qual é a variação do diâmetro do furo, se o coeficiente de dilatação linear do ferro é $12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$?

b) A variação do diâmetro do furo depende do diâmetro da chapa?



5. Dilatação volumétrica dos sólidos

Na figura 8 está representado um sólido homogêneo com forma de paralelepípedo em duas temperaturas, θ_0 e $\theta > \theta_0$. As dimensões lineares desse sólido são x_0 , y_0 e z_0 na temperatura inicial θ_0 , passando para x , y e z quando na temperatura final θ . Os volumes inicial e final valem, respectivamente, $V_0 = x_0y_0z_0$ e $V = xyz$.



Figura 8. Quando a temperatura aumenta, aumentam as dimensões lineares do sólido e, portanto, seu volume.

Aplicando a lei da dilatação linear a cada uma das dimensões, vem:

$$x = x_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

$$y = y_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

$$z = z_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

Multiplicando membro a membro as fórmulas anteriores, obtemos:

$$xyz = x_0y_0z_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)^3$$

$$V = V_0 \cdot (1 + 3\alpha \cdot \Delta\theta + 3\alpha^2 \cdot \Delta\theta^2 + \alpha^3 \cdot \Delta\theta^3)$$

Os termos que apresentam α^2 e α^3 são muito pequenos e podem ser desprezados. Assim, fazendo $3\alpha = \gamma$, vem:

$$V = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta\theta)$$

Nessa fórmula, $\gamma = 3\alpha$ constitui o **coeficiente de dilatação volumétrica** do material de que é feito o sólido, sendo medido, como os coeficientes anteriores, em grau Celsius recíproco ($^{\circ}\text{C}^{-1}$). Alguns exemplos:

Porcelana: $\gamma = 9 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$

Ouro: $\gamma = 45 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$

Ferro: $\gamma = 36 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$

Alumínio: $\gamma = 66 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$

A partir da fórmula anterior:

$$V = V_0 + \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow V - V_0 = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta$$

Como $V - V_0 = \Delta V$ é a variação de volume sofrida pelo sólido, temos:

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta$$

Portanto:

A dilatação volumétrica ΔV é diretamente proporcional ao volume inicial V_0 e à variação de temperatura $\Delta\theta$.



Exercícios resolvidos

R.15 O coeficiente de dilatação linear médio de um sólido homogêneo é $12,2 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$. Um cubo desse material tem volume de 20 cm^3 a $10 \text{ } ^{\circ}\text{C}$. Determine:

- o aumento de volume sofrido pelo cubo quando sua temperatura se eleva para $40 \text{ } ^{\circ}\text{C}$;
- a dilatação relativa correspondente, expressa em porcentagem.

Solução:

a) O coeficiente de dilatação volumétrica é o triplo do coeficiente de dilatação linear: $\gamma = 3\alpha$.

Como $\alpha = 12,2 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, vem:

$$\gamma = 3 \cdot 12,2 \cdot 10^{-6} \Rightarrow \gamma = 36,6 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

O volume inicial é $V_0 = 20 \text{ cm}^3$; a variação de temperatura vale:

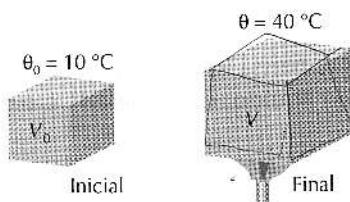
$$\Delta\theta = \theta - \theta_0 = 40 - 10 \Rightarrow \Delta\theta = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Aplicando a fórmula da dilatação volumétrica, obtemos:

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta V = 36,6 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 30 \Rightarrow \boxed{\Delta V = 0,022 \text{ cm}^3}$$

b) A dilatação relativa vale:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{0,022}{20} = 0,0011 \Rightarrow \boxed{\frac{\Delta V}{V_0} = 0,11\%}$$



Respostas: a) O volume do cubo aumenta aproximadamente $0,022 \text{ cm}^3$; b) $0,11\%$

Observação:

Note que o volume inicial do cubo era de 20 cm^3 e o aumento de volume foi de apenas $0,022 \text{ cm}^3$, aproximadamente. Portanto, a dilatação relativa é de apenas $0,11\%$, uma alteração volumétrica que somente poderá ser percebida com o auxílio de aparelhos extremamente sensíveis.

- R.16** Um tubo de ensaio apresenta, a $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, um volume interno (limitado pelas paredes) de 20 cm^3 . Determine o volume interno desse tubo a $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$. O coeficiente de dilatação volumétrica médio do vidro é $25 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ para o intervalo de temperatura considerado.

Solução:

O volume interno de um recipiente varia com a temperatura como se ele fosse maciço, constituído pelo material de suas paredes.

São dados o volume inicial ($V_0 = 20 \text{ cm}^3$) e o coeficiente de dilatação volumétrica ($\gamma = 25 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Variação de temperatura:

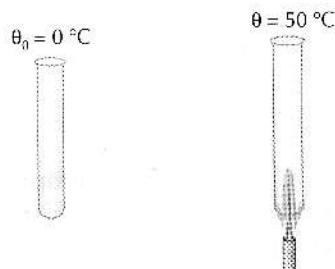
$$\Delta\theta = \theta - \theta_0 = 50 \text{ }^{\circ}\text{C} - 0 \text{ }^{\circ}\text{C} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Aplicando a fórmula da dilatação volumétrica, obtemos:

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta V = 25 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 50 \Rightarrow \boxed{\Delta V = 0,025 \text{ cm}^3}$$

O volume final do tubo é dado pela soma do volume inicial com o aumento de volume:

$$V = V_0 + \Delta V \Rightarrow V = 20 + 0,025 \Rightarrow \boxed{V = 20,025 \text{ cm}^3}$$



Resposta: $20,025 \text{ cm}^3$

Exercícios propostos

- P.33** Um paralelepípedo de chumbo tem a $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ o volume de 100 litros. A que temperatura ele deve ser aquecido para que seu volume aumente de 0,405 litro? O coeficiente de dilatação linear médio do chumbo é $27 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ para o intervalo de temperatura considerado.
- P.34** Um balão de vidro apresenta a $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ volume interno de 500 mL. Determine a variação do volume interno desse balão quando ele é aquecido até $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$. O vidro que constitui o balão tem coeficiente de dilatação volumétrica médio igual a $3 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ entre $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$.
- P.35** (PUC-RS) Um paralelepípedo a $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ possui dimensões iguais a $10 \times 20 \times 30 \text{ cm}$, sendo constituído de um material cujo coeficiente de dilatação térmica linear é $8,0 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Qual é o acréscimo de volume que ele sofre quando sua temperatura é elevada para $110 \text{ }^{\circ}\text{C}$?



6. Dilatação térmica dos líquidos

A dilatação volumétrica de um líquido (figura 9) segue uma lei idêntica à da dilatação dos sólidos, válida quando o intervalo de temperatura considerado não é muito grande. Assim, a variação ΔV do volume líquido é diretamente proporcional ao volume inicial V_0 e à variação de temperatura $\Delta\theta$ ocorrida:

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta$$

Nessa fórmula, γ é uma constante de proporcionalidade denominada **coeficiente de dilatação real** do líquido, cuja unidade é o grau Celsius recíproco: $^{\circ}\text{C}^{-1}$.



Figura 9. A dilatação térmica de um líquido é estudada estando ele num recipiente sólido.

Alguns exemplos de coeficientes de dilatação real:

Maior dilatação	Mercúrio: $\gamma = 180 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$
	Glicerina: $\gamma = 490 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$
	Benzeno: $\gamma = 1.060 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$

Como o líquido sempre está contido num recipiente sólido, que também se dilata, a medida da dilatação do líquido é feita indiretamente. Vamos discutir um dos processos de medida indireta da dilatação do líquido.

De modo geral, os líquidos se dilatam mais que os sólidos. Por isso, um recipiente completamente cheio com líquido transborda quando aquecido. Por exemplo: completando-se o tanque de combustível de um carro numa manhã fria, provavelmente ocorrerá vazamento em virtude do aumento de temperatura, ao longo do dia, caso não haja consumo de combustível.

Considere o mesmo frasco da figura 9, agora provido de um "ladrão" (figura 10). Nesse frasco é colocado um líquido até o nível do ladrão (figura 10a). Quando se aquece o conjunto, parte do líquido sai pelo ladrão (figura 10b).

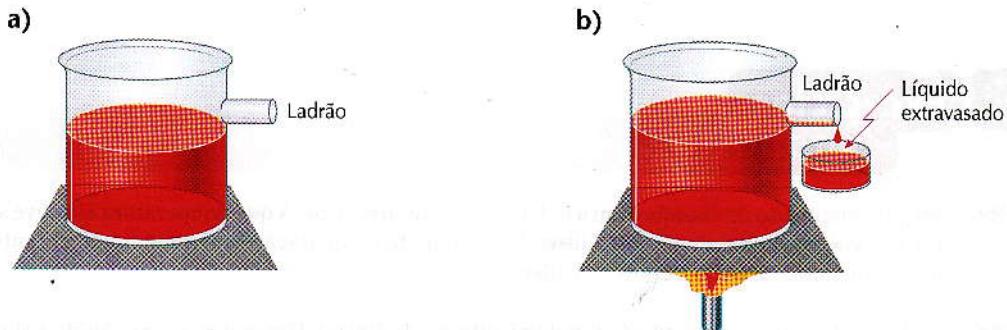


Figura 10. O volume de líquido que extravasa corresponde à medida da dilatação aparente.

O volume de líquido extravasado equivale à **dilatação aparente do líquido** ($\Delta V_{ap.}$) e não à dilatação real (ΔV), pois o frasco também se dilata. Por exemplo, considerando que transbordam 5 cm^3 , temos:

$$\Delta V_{ap.} = 5 \text{ cm}^3$$



Sendo conhecida a dilatação do frasco (aumento de seu volume interno), podemos determinar a dilatação real sofrida pelo líquido. Por exemplo, se o volume do recipiente até a altura do ladrão aumenta de 2 cm^3 ($\Delta V_F = 2 \text{ cm}^3$), a dilatação real do líquido será:

$$\Delta V = \Delta V_{ap.} + \Delta V_F$$

Sendo $\Delta V_{ap.} = 5 \text{ cm}^3$ e $\Delta V_F = 2 \text{ cm}^3$, temos:

$$\Delta V = 5 + 2 \Rightarrow \Delta V = 7 \text{ cm}^3$$

A dilatação aparente $\Delta V_{ap.}$ e a dilatação do frasco ΔV_F são proporcionais ao volume inicial V_0 e à variação de temperatura $\Delta\theta$:

$$\Delta V_{ap.} = \gamma_{ap.} V_0 \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta V_F = \gamma_F \cdot V_0 \cdot \Delta\theta$$

Nessas fórmulas, $\gamma_{ap.}$ é o **coeficiente de dilatação aparente** do líquido e γ_F é o **coeficiente de dilatação volumétrica** do frasco.

6.1. Relação entre os coeficientes

Comparando as fórmulas anteriores com a lei da dilatação do líquido ($\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta$), obtemos:

$$\Delta V = \Delta V_{ap.} + \Delta V_F \Rightarrow \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta = \gamma_{ap.} V_0 \cdot \Delta\theta + \gamma_F \cdot V_0 \cdot \Delta\theta$$

Portanto: $\gamma = \gamma_{ap.} + \gamma_F$ ou

$$\gamma_{ap.} = \gamma - \gamma_F$$

O coeficiente de dilatação aparente de um líquido é dado pela diferença entre o coeficiente de dilatação real e o coeficiente de dilatação volumétrica do frasco.

Sendo assim, o coeficiente de dilatação aparente depende da natureza do líquido e do material que constitui o recipiente que o contém.



Exercícios resolvidos

R.17 Um recipiente de vidro de coeficiente de dilatação linear médio $9 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ tem volume de 100 cm^3 a $0 \text{ }^\circ\text{C}$, estando completamente cheio com um líquido. Ao ser aquecido até $200 \text{ }^\circ\text{C}$, extravasam 5 cm^3 de líquido. Determine:

- o coeficiente de dilatação aparente do líquido;
- o coeficiente de dilatação real do líquido.

Solução:

- a) O extravasamento mede a dilatação aparente do líquido: $\Delta V_{ap.} = 5 \text{ cm}^3$

Temos ainda: $V_0 = 100 \text{ cm}^3$; $\Delta\theta = 200 \text{ }^\circ\text{C} - 0 \text{ }^\circ\text{C} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$

Da fórmula $\Delta V_{ap.} = \gamma_{ap.} \cdot V_0 \cdot \Delta\theta$, obtemos:

$$\gamma_{ap.} = \frac{\Delta V_{ap.}}{V_0 \cdot \Delta\theta} = \frac{5}{100 \cdot 200} = \frac{2,5}{10.000} = 2,5 \cdot 10^{-4} \Rightarrow \gamma_{ap.} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

- b) O coeficiente de dilatação real γ é dado pela soma: $\gamma = \gamma_{ap.} + \gamma_F$

O coeficiente de dilatação volumétrica do frasco é o triplo do coeficiente de dilatação linear:

$$\gamma_F = 3\alpha_F = 3 \cdot 9 \cdot 10^{-6} = 27 \cdot 10^{-6} \Rightarrow \gamma_F = 0,27 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

Somando: $\gamma = (2,5 \cdot 10^{-4}) + (0,27 \cdot 10^{-4}) \Rightarrow \gamma = 2,77 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Respostas: a) $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$; b) $2,77 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

- R.18** Um recipiente de vidro tem a 0 °C volume interno de 30 cm³. Calcule o volume de mercúrio a ser colocado no recipiente de modo que o volume da parte vazia não se altere ao variar a temperatura. Dados: coeficiente de dilatação volumétrica do vidro = $24 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$; coeficiente de dilatação do mercúrio = $180 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Solução:

O volume da parte vazia é dado pela diferença entre os volumes do frasco (V_F) e do líquido (V). Para que ele permaneça constante com a variação de temperatura, é necessário que o líquido e o frasco sofram dilatações iguais ($\Delta V = \Delta V_F$).

Pelas leis da dilatação: $\begin{cases} \Delta V = \gamma \cdot V \cdot \Delta \theta \\ \Delta V_F = \gamma_F \cdot V_F \cdot \Delta \theta \end{cases}$

Portanto:

$$\Delta V = \Delta V_F \Rightarrow \gamma \cdot V \cdot \Delta \theta = \gamma_F \cdot V_F \cdot \Delta \theta \Rightarrow \frac{V}{V_F} = \frac{\gamma_F}{\gamma}$$



Observe que os volumes iniciais do líquido e do frasco devem estar na razão inversa dos respectivos coeficientes de dilatação, conclusão análoga à que foi estabelecida no exercício R.12.

Substituindo os valores numéricos:

$$\left. \begin{array}{l} V_F = 30 \text{ cm}^3 \\ \gamma_F = 24 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \\ \gamma = 180 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \end{array} \right\} V = V_F \cdot \frac{\gamma_F}{\gamma} = 30 \cdot \frac{24 \cdot 10^{-6}}{180 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow V = 4 \text{ cm}^3$$

Resposta: 4 cm³

- R.19** Um líquido cujo coeficiente de dilatação térmica é γ tem densidade d_0 na temperatura inicial θ_0 . Ao ser aquecido até uma temperatura θ , sua densidade se altera para d . Relacione a densidade final d com a variação de temperatura ocorrida $\Delta\theta$, com a densidade inicial d_0 e com o coeficiente de dilatação térmica γ .

Solução:

Seja m a massa de certa porção de líquido que ocupa o volume V_0 na temperatura θ_0 e o volume V na temperatura θ . Sendo γ o coeficiente de dilatação térmica do líquido, temos:

$$V = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta\theta)$$

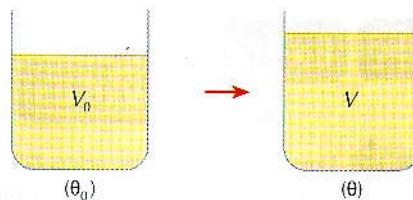
As densidades do líquido nas temperaturas referidas são dadas por:

$$d_0 = \frac{m}{V_0} \quad \textcircled{1} \qquad d = \frac{m}{V} \quad \textcircled{2}$$

Substituindo V em $\textcircled{2}$: $d = \frac{m}{V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta\theta)} \quad \textcircled{3}$

Substituindo $\textcircled{1}$ em $\textcircled{3}$:
$$d = \frac{d_0}{1 + \gamma \cdot \Delta\theta}$$

Resposta: $d = \frac{d_0}{1 + \gamma \cdot \Delta\theta}$



P Exercícios propostos

- P.36** Um certo frasco de vidro está completamente cheio, com 50 cm³ de mercúrio. O conjunto se encontra inicialmente a 28 °C. No caso, o coeficiente de dilatação médio do mercúrio tem um valor igual a $180 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e o coeficiente de dilatação linear médio do vidro vale $9 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Determine o volume de mercúrio extravasado quando a temperatura do conjunto se eleva para 48 °C.

- P.37** Um recipiente tem, a 0 °C, capacidade (volume interno) de 1.000 cm³. Seu coeficiente de dilatação volumétrica é $25 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e ele está completamente cheio de glicerina. Aquecendo-se o recipiente a 100 °C, há um extravasamento de 50,5 cm³ de glicerina. Determine:

- a) o coeficiente de dilatação aparente da glicerina; b) o coeficiente de dilatação real da glicerina.

- P.38** A 0 °C, um recipiente de vidro tem capacidade de 700 cm³. Qual volume de mercúrio deve ser colocado a 0 °C no recipiente para que, aumentando-se a temperatura, não se altere o volume da parte vazia? O coeficiente de dilatação volumétrica médio do vidro é $\frac{1}{38.850} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, e o do mercúrio, $\frac{1}{5.550} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Exercícios propostos de recapitulação

P.39 (FEI-SP) Um recipiente cujo volume é de 1.000 cm^3 a 0°C contém 980 cm^3 de um líquido à mesma temperatura. O conjunto é aquecido e, a partir de uma certa temperatura, o líquido começa a transbordar. Sabendo-se que o coeficiente de dilatação volumétrica do recipiente vale $2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e o do líquido vale $1 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, qual é a temperatura em que ocorre o início de transbordamento do líquido?

P.40 (PUC-SP) A tampa de zinco de um frasco de vidro agarrou no gargalo de rosca externa e não foi possível soltá-la. Sendo os coeficientes de dilatação linear do zinco e do vidro respectivamente iguais a $30 \cdot 10^{-6}$ e $8,5 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, como proceder? Justifique sua resposta. Temos à disposição um caldeirão com água quente e outro com água gelada.

P.41 (ITA-SP) O coeficiente médio de dilatação térmica linear do aço é $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Usando trilhos de aço de $8,0 \text{ m}$ de comprimento, um engenheiro construiu uma ferrovia deixando um espaço de $0,50 \text{ cm}$ entre os trilhos, quando a temperatura era de 28°C . Num dia de sol forte os trilhos soltaram-se dos dormentes. Que temperatura, no mínimo, deve ter sido atingida pelos trilhos?

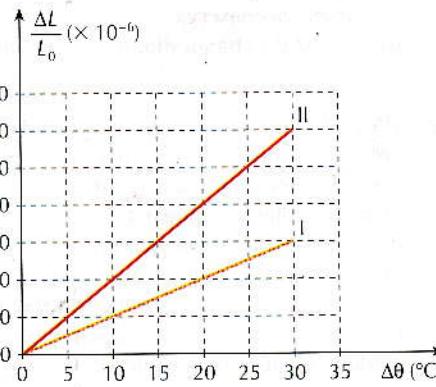
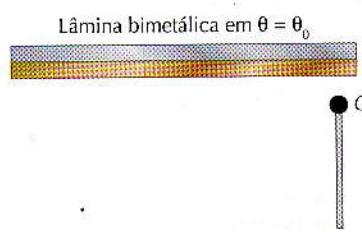
P.42 (Fuvest-SP) Duas barras metálicas finas, uma de zinco e outra de ferro, cujos comprimentos, a uma temperatura de 300 K , valem $5,0 \text{ m}$ e $12,0 \text{ m}$, respectivamente, são sobrepostas e aparafusadas uma à outra em uma de suas extremidades, conforme ilustra a figura. As outras extremidades B e A das barras de zinco e ferro, respectivamente, permanecem livres. Os coeficientes de dilatação linear do zinco e do ferro valem $3,0 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ e $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, respectivamente. Desprezando as espessuras das barras, determine:

a) a variação da distância entre as extremidades A e B quando as barras são aquecidas até 400 K ;
 b) a distância até o ponto A de um ponto C da barra de zinco cuja distância ao ponto A não varia com a temperatura.

P.43 (Faap-SP) Um disco circular de ferro, cuja área vale 100 cm^2 , ajusta-se exatamente numa cavidade praticada num bloco de cobre, estando ambos a 0°C . Determine a área da coroa circular vazia quando o conjunto estiver a 100°C . Os coeficientes de dilatação linear do ferro e do cobre valem respectivamente $10 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $16 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

P.44 (Mackenzie-SP) O coeficiente de dilatação linear médio do ferro é igual a $0,0000117 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. De quanto deve aumentar a temperatura de um bloco de ferro para que seu volume aumente de 1% ?

P.45 (Vunesp) A figura mostra uma lâmina bimetálica, de comprimento L_0 na temperatura θ_0 , que deve tocar o contato C quando aquecida. A lâmina é feita dos metais I e II, cujas variações relativas do comprimento $\frac{\Delta L}{L_0}$ em função da variação de temperatura $\Delta\theta = \theta - \theta_0$ encontram-se no gráfico.



Determine:

- o coeficiente de dilatação linear dos metais I e II;
- qual dos metais deve ser utilizado na parte superior da lâmina para que o dispositivo funcione como desejado (justifique sua resposta).

P.46 (Fuvest-SP) A 10 °C, 100 gotas idênticas de um líquido ocupam um volume de 1,0 cm³. A 60 °C, o volume ocupado pelo líquido é de 1,01 cm³. Calcule:

- a) a massa de 1 gota de líquido a 10 °C, sabendo-se que sua densidade, a essa temperatura, é de 0,90 g/cm³;
- b) o coeficiente de dilatação volumétrica do líquido.

P.47 (UFPR) Uma taça de alumínio de 120 cm³ contém 119 cm³ de glicerina a 21 °C. Considere o coeficiente de dilatação linear do alumínio como sendo de $2,3 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ e o coeficiente de dilatação volumétrica da glicerina de $5,1 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$. Se a temperatura do sistema taça-glicerina for aumentada para 39 °C, a glicerina transbordará ou não? Em caso afirmativo, determine o volume transbordado; em caso negativo, determine o volume de glicerina que ainda caberia no interior da taça.

P.48 (UFPE) Uma caixa cúbica metálica de 10 l está completamente cheia de óleo, quando a temperatura do conjunto é de 20 °C. Elevando-se a temperatura até 30 °C, um volume igual a 80 cm³ de óleo transborda. Sabendo-se que o coeficiente de dilatação volumétrica do óleo é igual a $0,9 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, determine:

- a) a dilatação do recipiente, em cm³;
- b) o coeficiente de dilatação linear do metal.

P.49 (FEI-SP) Um recipiente de vidro tem capacidade $C_0 = 91,000 \text{ cm}^3$ a 0 °C e contém, a essa temperatura, 90,000 cm³ de mercúrio. A que temperatura o recipiente estará completamente cheio de mercúrio?
(Dados: coeficiente de dilatação linear do vidro = $32 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$; coeficiente de dilatação cúbica do mercúrio = $182 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)

Testes propostos

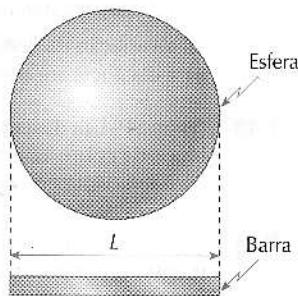
T.41 (UFRN) João precisa abrir um recipiente de conserva cuja tampa está emperrada. O recipiente é de vidro comum, e a tampa é de alumínio. Para facilitar a abertura, sugeriu-se que ele colocasse a tampa próximo da chama do fogão por alguns segundos e, imediatamente após afastar o recipiente da chama, tentasse abri-lo. O procedimento sugerido vai favorecer a separação entre a tampa e o recipiente, facilitando a tarefa de destampá-lo, porque:

- a) o coeficiente de dilatação térmica do vidro é maior que o do alumínio.
- b) o coeficiente de dilatação térmica do alumínio é maior que o do vidro.
- c) o calor da chama diminui a pressão interna do líquido da conserva.
- d) o calor da chama diminui o volume do recipiente.

T.42 (PUC-SP) Um mecânico de automóveis precisa soltar um anel que está fortemente preso a um eixo. Sabe-se que o anel é feito de aço, de coeficiente de dilatação linear $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, e o eixo, de alumínio, cujo coeficiente é $2,3 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Lembrando que tanto o aço quanto o alumínio são bons condutores térmicos e sabendo-se que o anel não pode ser danificado e que não está soldado ao eixo, o mecânico deve:

- a) aquecer somente o eixo.
- b) aquecer o conjunto (anel + eixo).
- c) resfriar o conjunto (anel + eixo).
- d) resfriar somente o anel.
- e) aquecer o eixo e, logo após, resfriar o anel.

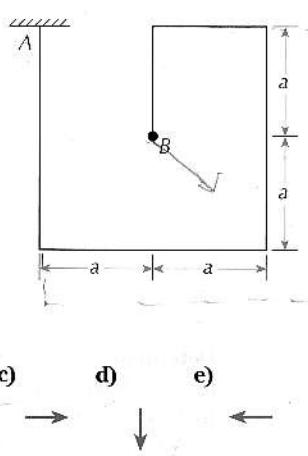
T.43 (UFV-MG) A figura ao lado ilustra uma esfera macia de diâmetro L e uma barra de mesmo material com comprimento também igual a L , ambos a uma mesma temperatura inicial.



Quando a temperatura dos dois corpos for elevada para um mesmo valor final, a razão entre o aumento do diâmetro da esfera e o aumento do comprimento da barra será:

- a) $\frac{1}{3}$
- b) 1
- c) $\frac{1}{9}$
- d) $\frac{9}{1}$
- e) $\frac{3}{1}$

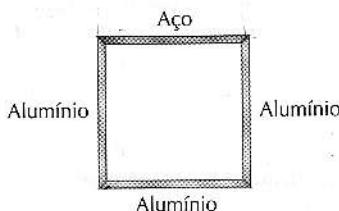
T.44 (Uema) Um arame de aço, dobrado conforme a figura, está engastado no teto, no ponto A. Aumentando a sua temperatura de maneira homogênea, a extremidade B terá um deslocamento que será mais bem representado por qual dos vetores?



- a)
- b)
- c)
- d)
- e)



- T.45** (Unirio-RJ) Um quadrado foi montado com três hastes de alumínio ($\alpha_A = 24 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) e uma haste de aço ($\alpha_{\text{Aço}} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$), todas inicialmente à mesma temperatura. O sistema é, então, submetido a um processo de aquecimento, de forma que a variação de temperatura é a mesma em todas as hastes.



Podemos afirmar que, ao final do processo de aquecimento, a figura formada pelas hastes estará mais próxima de um:

- a) quadrado. d) trapézio retângulo.
- b) retângulo. e) trapézio isósceles.
- c) losango.

- T.46** (Uespi) O coeficiente de dilatação térmica linear de um material sendo de $2,0 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, significa dizer que:

- a) o material sofre uma variação de 2,0 m para cada $10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ de variação de temperatura.
- b) 2,0 m desse material sofrem uma variação de 10^{-6} m para cada $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ na temperatura.
- c) o comprimento de uma barra do material não sofre variação para variação de temperatura de $2,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$.
- d) para cada $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ na variação da temperatura, cada metro do material varia de 2,0 cm.
- e) se uma haste de 2,0 m variar em $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ sua temperatura, sofrerá uma variação de 0,04 mm no seu comprimento.

- T.47** (Uniube-MG) No continente europeu uma linha férrea da ordem de 600 km de extensão tem sua temperatura variando de $-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ no inverno até $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ no verão. O coeficiente de dilatação linear do material de que é feito o trilho é $10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. A variação de comprimento que os trilhos sofrem na sua extensão é, em m, igual a:

- a) 40 d) 200
- b) 100 e) 240
- c) 140

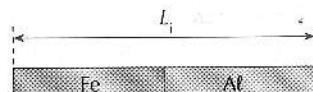
- T.48** (Uepa) Os trilhos de trem, normalmente de 20 m de comprimento, são colocados de modo a manterem entre duas pontas consecutivas uma pequena folga chamada junta de dilatação. Isso evita que eles se espremam, sofrendo deformações devido à ação do calor nos dias quentes. Considere que uma variação de temperatura da noite para o (meio) dia possa chegar a (aproximadamente) $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, fazendo-os dilatar cerca de 5 mm. Nesse caso, o coeficiente de dilatação linear do material de que é feito o trilho é, em ${}^{\circ}\text{C}^{-1}$, de:

- a) 10^4 d) $2 \cdot 10^{-5}$
- b) 1 e) 10^{-5}
- c) 10^{-3}

- T.49** (UCPel-RS) Duas barras *A* e *B* com coeficientes de dilatação linear α_A e α_B , respectivamente, apresentam comprimentos iniciais diferentes, a $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$. O da *A* é o dobro do da *B*. As barras, ao sofrerem igual aumento de temperatura, apresentam igual dilatação linear. Pode-se afirmar que:

- a) $\alpha_A = 2\alpha_B$ c) $\alpha_A = \frac{\alpha_B}{2}$ e) $\alpha_A = \frac{\alpha_B}{3}$
- b) $\alpha_A = \alpha_B$ d) $\alpha_A = 3\alpha_B$

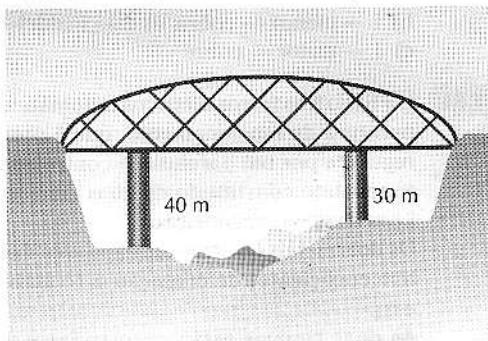
- T.50** (FEI-SP) Duas barras, sendo uma de ferro e outra de alumínio, de mesmo comprimento $L = 1 \text{ m}$ a $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, são unidas e aquecidas até $320 \text{ }^{\circ}\text{C}$.



Sabe-se que o coeficiente de dilatação linear do ferro é de $12 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e o do alumínio, de $22 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Qual é o comprimento final após o aquecimento?

- a) $L_f = 2,0108 \text{ m}$ d) $L_f = 2,0120 \text{ m}$
- b) $L_f = 2,0202 \text{ m}$ e) $L_f = 2,0102 \text{ m}$
- c) $L_f = 2,0360 \text{ m}$

- T.51** (Funrei-MG) A figura mostra uma ponte apoiada sobre dois pilares feitos de materiais diferentes.



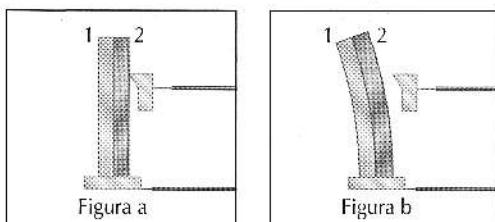
O pilar mais longo, de comprimento $L_1 = 40 \text{ m}$, possui coeficiente de dilatação linear $\alpha_1 = 18 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. O pilar mais curto tem comprimento $L_2 = 30 \text{ m}$. Para que a ponte permaneça sempre na horizontal, o material do segundo pilar deve ter um coeficiente de dilatação linear α_2 igual a:

- a) $42 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ d) $21 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- b) $24 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e) $36 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- c) $13,5 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

- T.52** (Ufes) Quer-se encaixar um rolamento cilíndrico, feito de aço, em um mancal cilíndrico, feito de liga de alumínio. O coeficiente de dilatação linear da liga de alumínio vale $25,0 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. À temperatura de $22 \text{ }^{\circ}\text{C}$, o rolamento tem o diâmetro externo 0,1% maior que o diâmetro interno do mancal. A temperatura mínima à qual o mancal deve ser aquecido, para que o rolamento se encaixe, é:

- a) $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ d) $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- b) $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e) $62 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- c) $42 \text{ }^{\circ}\text{C}$

- T.53** (PUC-RS) Um termostato é um dispositivo utilizado para controlar a temperatura em diversos equipamentos elétricos. Um dos tipos de termostato é construído com duas lâminas metálicas 1 e 2, firmemente ligadas, conforme a figura a.



Quando a temperatura aumenta, o conjunto se curva em forma de arco (figura b), fazendo com que, a partir de certa temperatura, o circuito seja aberto, interrompendo a passagem de corrente elétrica. Supondo que a lâmina seja constituída de ferro e cobre, cujos coeficientes de dilatação linear médios são, respectivamente, $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, para produzir-se o efeito descrito, a lâmina _____ deve ter coeficiente de dilatação _____ do que a outra, correspondendo, portanto, ao _____.

As informações que preenchem correta e respectivamente as lacunas estão reunidas em:

- a) 1 — menor — ferro d) 2 — menor — ferro
- b) 1 — menor — cobre e) 2 — maior — ferro
- c) 1 — maior — cobre

- T.54** (UFF-RJ) Nos ferros elétricos automáticos, a temperatura de funcionamento, que é previamente regulada por um parafuso, é controlada por um termostato constituído de duas lâminas bimetálicas de igual composição.

Os dois metais que formam cada uma das lâminas têm coeficientes de dilatação α_i (o mais interno) e α_{ii} .

As duas lâminas estão encurvadas e dispostas em contato elétrico, uma no interior da outra, como indicam as figuras abaixo.

Figura I

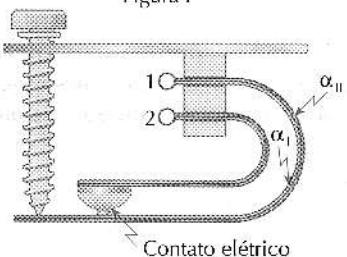
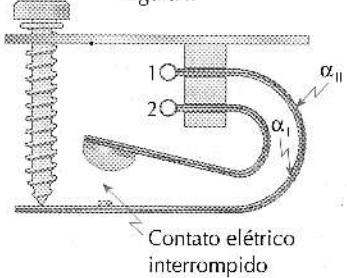


Figura II

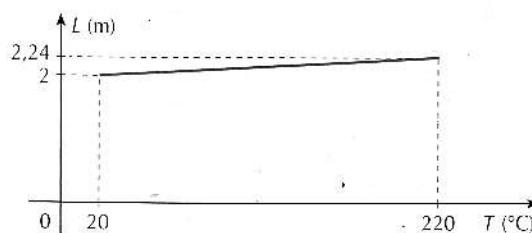


A corrente, suposta contínua, entra pelo ponto 1 e sai pelo ponto 2, conforme a figura I, aquecendo a resistência. À medida que a temperatura aumenta, as lâminas vão se encurvando, devido à dilatação dos metais, sem interromper o contato. Quando a temperatura desejada é alcançada, uma das lâminas é detida pelo parafuso, enquanto a outra continua encurvando-se, interrompendo o contato entre elas, conforme a figura II.

Com relação à temperatura do ferro regulada pelo parafuso e aos coeficientes de dilatação dos metais das lâminas, é correto afirmar que, quanto mais apertado o parafuso:

- a) menor será a temperatura de funcionamento e $\alpha_1 > \alpha_{ii}$
- b) maior será a temperatura de funcionamento e $\alpha_1 < \alpha_{ii}$
- c) maior será a temperatura de funcionamento e $\alpha_1 > \alpha_{ii}$
- d) menor será a temperatura de funcionamento e $\alpha_1 < \alpha_{ii}$
- e) menor será a temperatura de funcionamento e $\alpha_1 = \alpha_{ii}$

- T.55** (UFPR) Um cientista está à procura de um material que tenha um coeficiente de dilatação alto. O objetivo dele é produzir vigas desse material para utilizá-las como suportes para os telhados das casas. Assim, nos dias muito quentes, as vigas dilatam-se bastante, elevando o telhado e permitindo uma certa circulação de ar pela casa, refrescando o ambiente. Nos dias frios, as vigas encolhem e o telhado abaixaria, não permitindo a circulação de ar. Após algumas experiências, ele obteve um composto com o qual fez uma barra. Em seguida, o cientista mediou o comprimento L da barra em função da temperatura T e obteve o gráfico da figura.



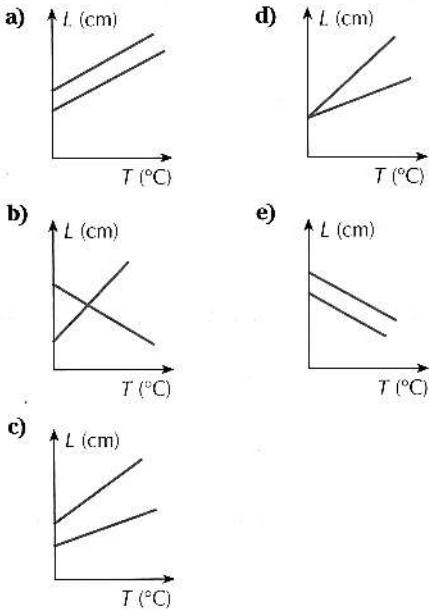
Analisando o gráfico, é correto afirmar que o coeficiente de dilatação linear do material produzido pelo cientista vale:

- a) $\alpha = 6 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- b) $\alpha = 5 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- c) $\alpha = 2 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- d) $\alpha = 3 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- e) $\alpha = 4 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

- T.56** (UFRGS-RS) Uma barra de aço e uma barra de vidro têm o mesmo comprimento à temperatura de $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, mas, a $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$, seus comprimentos diferem de $0,1 \text{ cm}$. (Considere os coeficientes de dilatação linear do aço e do vidro iguais a $12 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e $8 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, respectivamente). Qual é o comprimento das duas barras à temperatura de $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$?

- a) 50 cm
- b) 83 cm
- c) 125 cm
- d) 250 cm
- e) 400 cm

- T.57** (Olimpíada Brasileira de Física) Duas barras metálicas, de comprimentos diferentes e coeficientes de dilatação iguais, são aquecidas e, a partir dos valores medidos para o comprimento e a temperatura, foi elaborado um gráfico. A figura que melhor representa o gráfico obtido é:



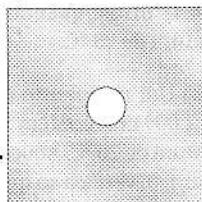
- T.58** (UFPB) Se o diâmetro de uma moeda aumenta 0,2% quando sua temperatura é elevada em 100 °C, os aumentos percentuais na espessura, na área e no volume serão respectivamente:

- a) 0,1%, 0,2%, 0,2% d) 0,2%, 0,4%, 0,6%
 b) 0,2%, 0,2%, 0,2% e) 0,3%, 0,4%, 0,8%
 c) 0,2%, 0,4%, 0,5%

- T.59** (PUC-RJ) Uma chapa quadrada, feita de um material encontrado no planeta Marte, tem área $A = 100,0 \text{ cm}^2$ a uma temperatura de 100 °C. A uma temperatura de 0,0 °C, qual será a área da chapa em cm^2 ? Considere que o coeficiente de expansão linear do material é $\alpha = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

- a) 74,0 d) 44,0
 b) 64,0 e) 34,0
 c) 54,0

- T.60** (Unic-MT) Uma chapa de alumínio tem um furo central de 100 cm de raio, estando numa temperatura de 12 °C.



Sabendo-se que $\alpha_{Al} = 22 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, a nova área do furo quando a chapa for aquecida até 122 °C será:

- a) $2,425 \text{ m}^2$ d) $3,155 \text{ m}^2$
 b) $3,140 \text{ m}^2$ e) $5,425 \text{ m}^2$
 c) $4,155 \text{ m}^2$

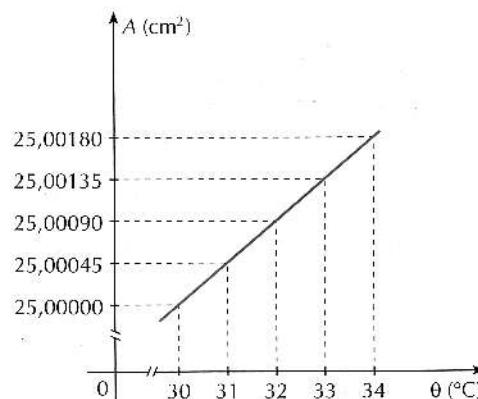
- T.61** (Mackenzie-SP) Uma haste homogênea é constituída de um certo material e possui comprimento L_0 a uma temperatura inicial θ_0 . Após ser aquecida até a temperatura θ , o comprimento da haste aumenta de 0,20%. Uma placa de $2,50 \cdot 10^3 \text{ cm}^2$, à temperatura θ_0 e constituída do mesmo material da haste, é também aquecida. Ao sofrer a mesma variação de temperatura da haste, a área da placa passará a ser:

- a) $2,51 \cdot 10^3 \text{ cm}^2$
 b) $2,55 \cdot 10^3 \text{ cm}^2$
 c) $2,60 \cdot 10^3 \text{ cm}^2$
 d) $3,50 \cdot 10^3 \text{ cm}^2$
 e) $3,60 \cdot 10^3 \text{ cm}^2$

- T.62** (Mackenzie-SP) Uma esfera de certa liga metálica, ao ser aquecida de 100 °C, tem seu volume aumentado de 4,5%. Uma haste dessa mesma liga metálica, ao ser aquecida de 100 °C, terá seu comprimento aumentado de:

- a) 1,0% d) 3,0%
 b) 1,5% e) 4,5%
 c) 2,0%

- T.63** (UFC-CE) Numa experiência de laboratório, sobre dilatação superficial, foram feitas várias medidas da área A da superfície de uma lâmina circular de vidro em função da temperatura θ . Os resultados das medidas estão representados no gráfico abaixo.



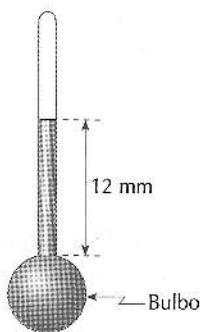
Com base nos dados experimentais fornecidos no gráfico, pode-se afirmar, corretamente, que o valor numérico do coeficiente de dilatação linear do vidro é:

- a) $24 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
 b) $18 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
 c) $12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
 d) $9 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
 e) $6 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

- T.64** Um paralelepípedo a 20 °C tem volume de 6 ℓ , sendo constituído de um material cujo coeficiente de dilatação linear é $8 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Quando sua temperatura aumenta para 120 °C, o acréscimo de volume, em cm^3 , é:

- a) 144 d) 9,60
 b) 72,0 e) 4,80
 c) 14,4

- T.65** (Fuvest-SP) Um termômetro especial, de líquido dentro de um recipiente de vidro, é constituído de um bulbo de 1 cm^3 e um tubo com secção transversal de 1 mm^2 . À temperatura de 20°C , o líquido preenche completamente o bulbo até a base do tubo. À temperatura de 50°C , o líquido preenche o tubo até uma altura de 12 mm.



Considere desprezíveis os efeitos da dilatação do vidro e da pressão do gás acima da coluna do líquido. Podemos afirmar que o coeficiente de dilatação volumétrica médio do líquido vale:

- a) $3 \times 10^{-4}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ d) $20 \times 10^{-4}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
 b) $4 \times 10^{-4}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e) $36 \times 10^{-4}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
 c) $12 \times 10^{-4}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

- T.66** (Ufal) Um recipiente cúbico de zinco, de coeficiente de dilatação térmica linear $25 \times 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, tem lado 20 cm à temperatura de 20°C . Nessa temperatura ele é preenchido completamente com mercúrio, de coeficiente de dilatação $180 \times 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. O sistema é levado, então, à temperatura final de 120°C . Analise as afirmações.

- 01) O coeficiente de dilatação da superfície lateral do cubo é $50 \times 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.
 02) A dilatação apresentada pelo lado do cubo é 20 cm.
 04) A dilatação apresentada pelo recipiente é 20 cm 3 .
 08) A dilatação do mercúrio é 144 cm 3 .
 16) Certamente ocorreu transbordamento maior que 100 cm 3 de mercúrio.

Dê como resposta a soma dos números que precedem as afirmativas corretas.

- T.67** (UCSal-BA) Um recipiente de volume V está repleto de um líquido a 20°C . Aquecendo-se o conjunto a 50°C , transbordam $2,0\text{ cm}^3$ do líquido. Esses $2,0\text{ cm}^3$ correspondem:

- a) à dilatação real do líquido.
 b) à dilatação aparente do líquido.
 c) à soma da dilatação real com a dilatação aparente do líquido.
 d) à diferença entre a dilatação real e a dilatação aparente do líquido.
 e) a três vezes a dilatação real do líquido.

- T.68** (Mackenzie-SP) Em uma experiência para determinarmos o coeficiente de dilatação linear do vidro, tomamos um frasco de vidro de volume 1.000 cm^3 e o preenchemos totalmente com mercúrio (coeficiente de dilatação vol-

métrica = $1,8 \times 10^{-4}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$). Após elevarmos a temperatura do conjunto de 100°C , observamos que $3,0\text{ cm}^3$ de mercúrio transbordam. Dessa forma, podemos afirmar que o coeficiente de dilatação linear do vidro que constitui esse frasco vale:

- a) $5,0 \times 10^{-5}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
 b) $4,0 \times 10^{-5}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
 c) $3,0 \times 10^{-5}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
 d) $2,0 \times 10^{-5}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
 e) $1,0 \times 10^{-5}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

- T.69** (UFRN) Suponha um recipiente com capacidade de 1,0 litro cheio com um líquido que tem o coeficiente de dilatação volumétrica duas vezes maior que o coeficiente do material do recipiente (dado: coeficiente de dilatação volumétrica do líquido = $2 \times 10^{-5}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$).

Qual a quantidade de líquido que transbordará quando o conjunto sofrer uma variação de temperatura de 30°C ?

- a) $0,01\text{ cm}^3$
 b) $0,09\text{ cm}^3$
 c) $0,30\text{ cm}^3$
 d) $0,60\text{ cm}^3$
 e) $1,00\text{ cm}^3$

- T.70** (UEG-GO) A dilatação dos líquidos obedece — quando o intervalo da temperatura não é muito grande — às mesmas leis de dilatação dos sólidos. Qualquer líquido assume a forma do recipiente que o contém e ambos dilatam conforme as mesmas leis. Sendo assim, a dilatação do líquido é medida indiretamente. Em um automóvel, o coeficiente de dilatação do tanque é $63 \times 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e o coeficiente de dilatação real da gasolina é $9,6 \times 10^{-4}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Com base nessas informações, assinale a alternativa correta.

- a) Se uma pessoa enche o tanque de combustível do seu carro em um dia quente, à noite haverá derramamento de combustível devido à redução no volume do tanque.
 b) Enchendo o tanque em um dia extremamente quente, essa pessoa terá um lucro considerável porque o combustível estará dilatado.
 c) O coeficiente de dilatação aparente da gasolina é $7,26 \times 10^{-5}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.
 d) Para uma variação de 10°C na temperatura de 100 litros de gasolina, há um aumento de volume igual a 0,063 litro.
 e) O volume extravasado de um tanque de gasolina totalmente cheio com 200 litros é aproximadamente 4,48 litros, quando há um aumento de temperatura de 25°C .

- T.71** (Unifor-CE) Um recipiente de vidro com capacidade de 1.000 cm^3 contém 980 cm^3 de glicerina, na temperatura de 20°C . Aquecendo o conjunto até a temperatura θ , verifica-se que a glicerina começa a transbordar (dados: coeficiente de dilatação volumétrica da glicerina = $48 \times 10^{-5}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$; coeficiente de dilatação linear do vidro = $9,0 \times 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$). Na escala Celsius, o valor de θ é mais próximo de:

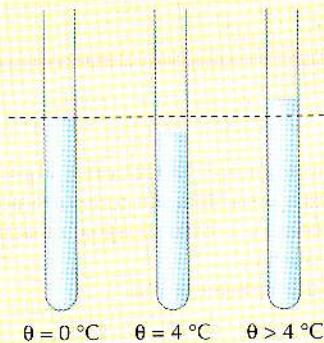
- a) 120
 b) 90
 c) 80
 d) 65
 e) 25



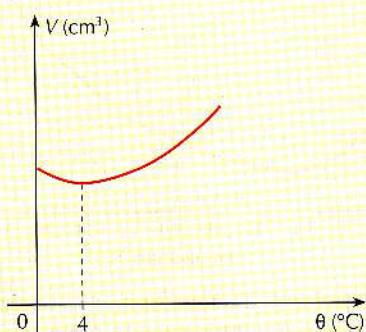
O comportamento anômalo da água

Aquecendo certa massa m de água, inicialmente a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (figura a), verificamos que de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ o volume diminui, pois o nível da água no recipiente baixa, ocorrendo **contração**. A partir de $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, continuando o aquecimento, o nível da água sobe, o que significa aumento de volume, ocorrendo **dilatação**. Portanto, a água apresenta comportamento excepcional, **contraindo-se quando aquecida de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$** . O gráfico abaixo (figura b) mostra aproximadamente como varia o volume da água com o aumento de temperatura.

a)



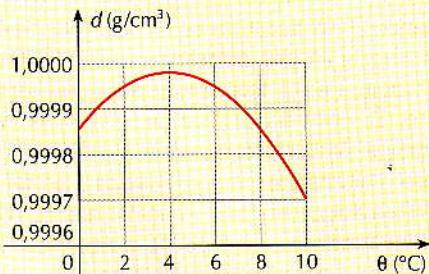
b)



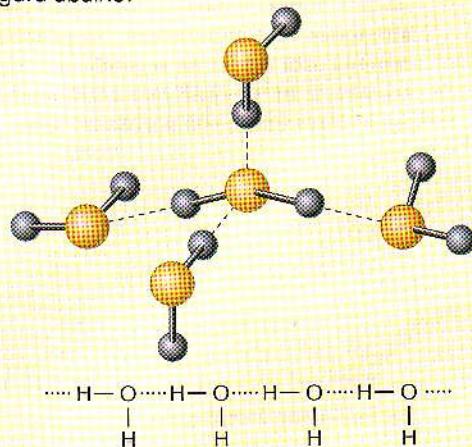
Observe que a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ a massa m de água apresenta volume mínimo.

A densidade ($d = \frac{m}{V}$) varia inversamente com

o volume V . Logo, **de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, a densidade da água aumenta**, pois o volume diminui nesse intervalo. **Acima de $4\text{ }^{\circ}\text{C}$** , o volume da água aumenta e, portanto, **a densidade diminui**. Sendo o volume da água mínimo a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, nessa temperatura ela apresenta sua densidade máxima. O gráfico a seguir mostra como a densidade da água varia com a temperatura: verifica-se que sua densidade máxima ($0,99997\text{ g/cm}^3 \approx 1\text{ g/cm}^3$) ocorre rigorosamente à temperatura de $3,98\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\approx 4\text{ }^{\circ}\text{C}$).



Esse comportamento anômalo da água pode ser explicado pelo modo peculiar com que suas moléculas se interligam quando no estado líquido. Como se estuda em Química, as moléculas de água apresentam um caráter polar, isto é, em cada molécula há uma parte com polaridade positiva e outra com polaridade negativa. Essas diferenças de polaridade fazem com que ocorram ligações de natureza elétrica entre as moléculas: são as **pontes de hidrogênio**, representadas esquematicamente na figura abaixo.

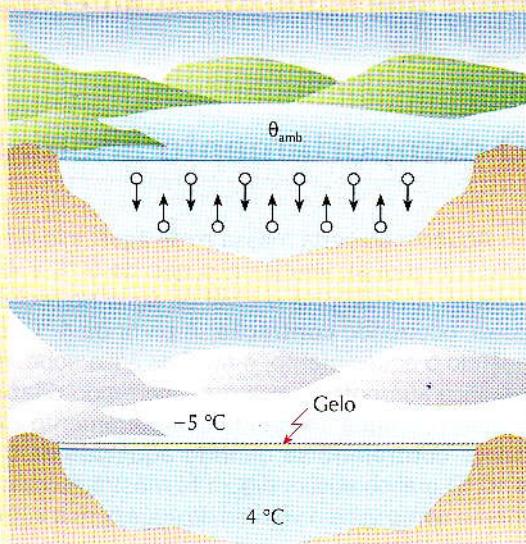


▲ As pontes de hidrogênio.

A elevação da temperatura da água provoca um aumento na agitação molecular que tende a romper as pontes de hidrogênio, aproximando as moléculas. Normalmente a maior agitação aumenta a distância intermolecular. Portanto, com o aquecimento, verificam-se na água dois efeitos opostos: o rompimento das pontes de hidrogênio, tendendo a aproximar as moléculas (diminuindo o volume), e a maior agitação molecular, que tende a afastar as moléculas (aumentando o volume). Da predominância de um ou de outro efeito decorre o comportamento da água: de 0 a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, o primeiro efeito é predominante e o volume da água diminui (contração); de $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ em diante, o segundo efeito passa a predominar e o volume da água aumenta (dilatação).

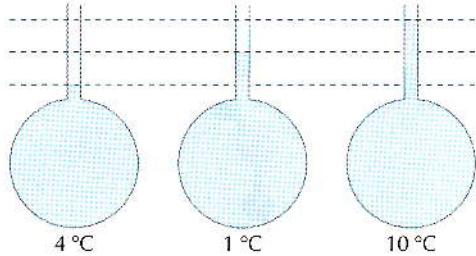
O comportamento particular da água explica por que certos lagos se congelam na superfície, permanecendo líquida a água no fundo. Na figura ao lado, está representado o corte de um lago. Quando cai a temperatura ambiente, a água da superfície se resfria e com isso desce, pois adquire densidade maior que a água do fundo; e esta, sendo mais quente (menos densa), sobe.

Quando a temperatura se torna inferior a 4 °C, porém, a movimentação por diferença de densidade deixa de ocorrer, pois a essa temperatura a água tem densidade máxima. E, com a continuidade do resfriamento do ambiente, a densidade da água superficial diminui, não podendo mais descer. Assim, chega a se formar gelo na superfície e a água no fundo permanece líquida. Contribui para esse fenômeno o fato de a água e o gelo serem isolantes térmicos. No diagrama ao lado, representa-se uma situação em que o ambiente está a -5 °C e a água no fundo está a 4 °C.



L Teste sua leitura

- L.5** (Ufla-MG) Um bulbo de vidro conectado a um tubo fino, com coeficiente de dilatação desprezível, contendo certa massa de água na fase líquida é mostrado a seguir em três situações de temperatura. Na primeira, o sistema está a 4 °C; na segunda, a 1 °C; e na terceira, a 10 °C. Conforme a temperatura, a água ocupa uma certa porção do tubo.



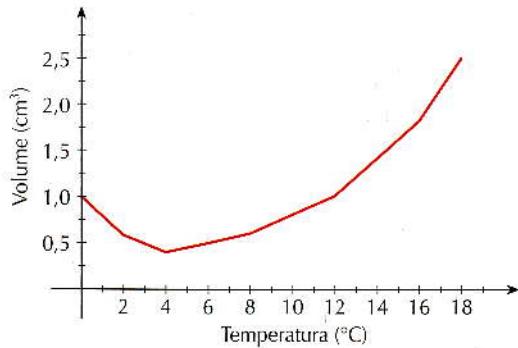
Tal fenômeno é explicado:

- pelo aumento de volume da água de 0 °C a 4 °C, seguido da diminuição do volume a partir de 4 °C.
- pela diminuição da densidade da água de 0 °C a 4 °C, seguido do aumento da densidade a partir de 4 °C.
- pelo aumento do volume da água a partir de 0 °C.
- pelo aumento da densidade da água de 0 °C a 4 °C, seguido da diminuição da densidade a partir de 4 °C.
- pela diminuição do volume da água a partir de 0 °C.

- L.6** (PUC-MG) Quando aumentamos a temperatura dos sólidos e dos líquidos, normalmente seus

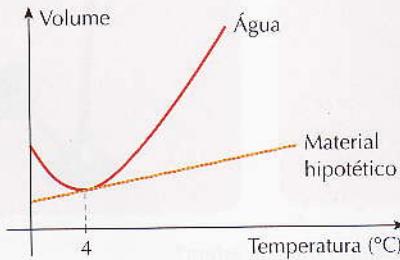
volumes aumentam. Entretanto, algumas substâncias apresentam um comportamento anômalo, como é o caso da água, mostrado no gráfico abaixo.

Assinale a afirmativa correta.



- O volume da água aumenta e sua densidade diminui, quando ela é resfriada abaixo de 4 °C.
- Entre 4 °C e 0 °C, a diminuição de temperatura faz com que a água se torne mais densa.
- Quando a água é aquecida, a partir de 4 °C sua densidade e seu volume aumentam.
- Quando a água está a 4 °C, ela apresenta a sua menor densidade.

- L.7** (UFPel-RS) A água, substância fundamental para a vida no planeta, apresenta uma grande quantidade de comportamentos anômalos. Suponha que um recipiente, feito com um determinado material hipotético, se encontre completamente cheio de água a 4 °C (observe o gráfico a seguir).



De acordo com o gráfico e seus conhecimentos, é correto afirmar que:

- apenas a diminuição de temperatura fará com que a água transborde.
- tanto o aumento da temperatura quanto sua diminuição não provocarão o transbordamento da água.
- qualquer variação de temperatura fará com que a água transborde.
- a água transbordará apenas para temperaturas negativas.
- a água não transbordará com um aumento de temperatura, somente se o calor específico da substância for menor que o da água.

L.8 (Mackenzie-SP) Diz um ditado popular: "A natureza é sábia!". De fato! Ao observarmos os diversos fenômenos da natureza, ficamos encantados com muitos pormenores, sem os quais não poderia haver vida na face da Terra, conforme a conhecemos. Um desses pormenores, de extrema importância, é o comportamento anômalo da água, no estado líquido, durante seu aquecimento ou resfriamento sob pressão normal. Se não existisse tal comportamento, a vida subaquática nos lagos e rios, principalmente nas regiões mais

frias de nosso planeta, não seria possível. Dos gráficos abaixo, o que melhor representa esse comportamento anômalo é:

- Volume (cm^3)
 - Volume (cm^3)
- Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

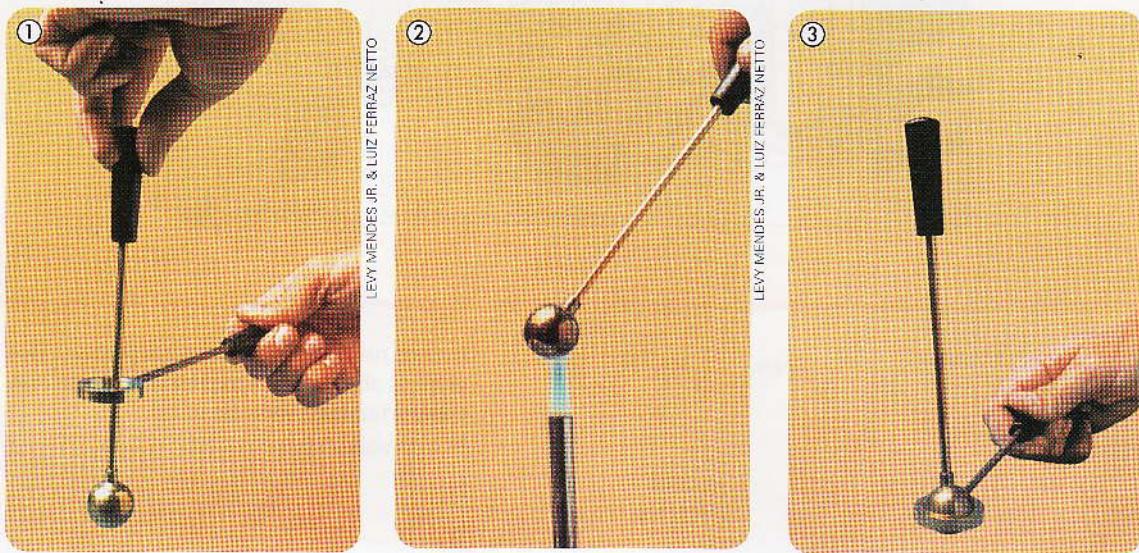


Atividade experimental

Realize a experiência com supervisão de seu professor.

O anel de Gravezande

Um dispositivo simples para comprovar experimentalmente o fenômeno da dilatação térmica é o chamado **anel de Gravezande**, constituído de uma esfera metálica e de um anel feitos do mesmo material. À temperatura ambiente, a esfera passa facilmente pelo anel (foto 1). No entanto, se a esfera for aquecida (foto 2), ela sofre dilatação e não mais atravessa o anel (foto 3).



- O que aconteceria se o anel fosse aquecido até atingir a mesma temperatura da esfera?
- Qual seria o resultado da experiência se, em vez de aquecer a esfera, deixássemos o anel algum tempo no congelador?