

# Estou com febre?



**T**riiiiiimm!! Toca o despertador, é hora de acordar. Alberta rapidamente levanta e se prepara para sair de casa.

- Vamos, Gaspar, que já está na hora! Você vai se atrasar!
- Gaspar se move na cama, afundando mais entre os lençóis:
- Acho que estou com febre... Hoje vou ficar na cama...
- Alberta se aproxima. Põe a mão na testa de Gaspar e, depois, na sua. Repete a operação e arrisca um diagnóstico:
- Você está quentinho, mas não acho que tenha febre... Vamos deixar de onda!

O objetivo desta aula não é discutir o que é febre, tampouco as suas causas. Queremos discutir o que fazer para descobrir se estamos com febre, isto é, qual o aparelho usado para esse fim e que conhecimentos da física estão por trás do seu funcionamento.

É bem conhecido o fato de que o corpo humano mantém a sua temperatura em torno de  $36^{\circ}\text{C}$ , salvo quando estamos com febre.

Quando alguém menciona a palavra **temperatura**, nós a compreendemos, mesmo sem jamais tê-la estudado. Por exemplo: quando a previsão do tempo afirma que “a temperatura estará em torno de  $32^{\circ}\text{C}$ ”, sabemos que o dia será bem quente e que é bom vestir roupas leves! Em outras palavras, sabemos que a temperatura está relacionada a quente e frio.

Vamos voltar ao assunto da febre!

Quando uma pessoa acha que está com febre, a primeira coisa que nos ocorre é colocar a mão na testa dela, ou em seu pescoço, e arriscar um diagnóstico. Às vezes também colocamos a mão na nossa própria testa, para fazer uma **comparação**.

Quando fazemos isso, podemos afirmar, no máximo, que a pessoa está mais ou menos quente que nós. Mas isso não basta para dizer se ela está com febre!

Gaspar acha que está com febre. Alberta acha que não. E aí, como resolver a questão?

Será o nosso tato um bom instrumento para **medir temperaturas**?

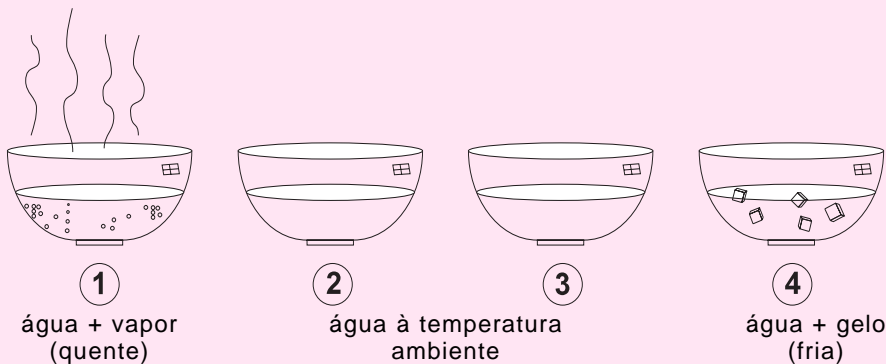
Vamos fazer uma experiência.



## Testando o nosso tato...

Para esta atividade você vai precisar de quatro recipientes. Eles devem ser suficientemente grandes para conter água, gelo e a sua mão.

- Coloque os recipientes 1, 2, 3 e 4 enfileirados sobre uma mesa, como indica a figura.
- Aqueça um pouco de água e coloque no recipiente 1. Cuidado para não aquecer demais e se queimar!
- Nos outros recipientes, coloque água da torneira. Acrescente gelo ao recipiente 4.



Agora estamos prontos para iniciar as observações.

- Coloque a mão esquerda no recipiente 2 e a direita, no recipiente 3. Aguarde alguns instantes.
- Mude a mão esquerda para o recipiente 1 (com água aquecida) e a direita para o recipiente 4 (com gelo). Aguarde alguns instantes.
- Coloque as mãos onde elas estavam anteriormente (item d).

Agora responda: o que você sentiu?

Você deve ter tido a sensação de que a água do recipiente 2 está mais fria do que a água do recipiente 3. Mas elas estão à mesma temperatura, pois ambas foram recolhidas da torneira!

Como você pôde ver, o nosso tato nos engana e por isso nós podemos concluir que **o tato não é um bom instrumento para medir temperaturas!**

## Equilíbrio: uma tendência natural

O que acontecerá se deixarmos os quatro recipientes da experiência acima sobre a mesa, por um longo período de tempo?

Quantas vezes ouvimos dizer: “Venha se sentar, a sopa já está na mesa, vai esfriar!” Quantas vezes conversamos distraidamente e, quando percebemos, a cerveja que está sobre a mesa ficou quente?

Isso ocorre pois, quando dois ou mais objetos estão em contato, suas temperaturas tendem a se igualar e, ao final de um certo tempo, os dois objetos terão a mesma temperatura.

Nessa situação, isto é, quando dois objetos estão à mesma temperatura, dizemos que eles estão em **equilíbrio térmico**.

A sopa ou a cerveja sobre a mesa estão em contato com o ar, que tem uma certa temperatura – chamada **temperatura ambiente**. Depois de certo tempo,



todos estarão em **equilíbrio térmico**, à temperatura ambiente! A sopa, que estava mais quente que o ar, vai esfriar, e a cerveja, que estava mais fria, vai esquentar.

## Medindo temperaturas

Já que não é possível descobrir se há febre usando apenas o tato, precisamos recorrer a um instrumento de medida mais preciso: o **termômetro**. O termômetro utilizado para medir a temperatura do corpo humano é conhecido como **termômetro clínico** (Figura 1). Seu princípio de funcionamento é semelhante ao de outros tipos de termômetro.

Esse termômetro é formado por um tubo de vidro oco no qual é desenhada uma escala: a **escala termométrica**. No interior desse tubo existe um outro tubo, muito fino, chamado de **tubo capilar**. O tubo capilar contém um líquido, em geral mercúrio (nos termômetros clínicos) ou álcool colorido (nos termômetros de parede usados para medir a temperatura ambiente).

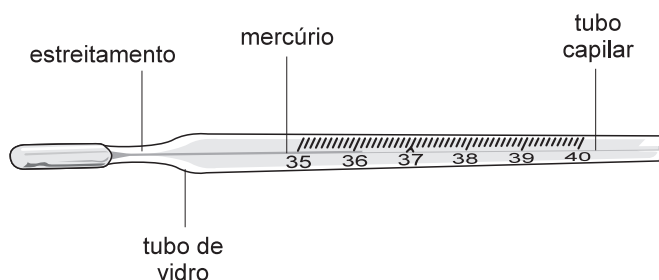


Figura 1

Quando colocamos a extremidade do termômetro clínico em contato com o corpo, o líquido no interior do tubo capilar se desloca de acordo com a temperatura do corpo.

É importante notar que, após colocar o termômetro sob o braço, precisamos esperar alguns minutos. Esse tempo é necessário para que se estabeleça o **equilíbrio térmico** entre o corpo e o termômetro. Assim, o termômetro vai indicar exatamente a temperatura do corpo. Para “ler” a temperatura, basta verificar a altura da coluna de mercúrio, utilizando a escala termométrica.

Podemos refletir agora sobre algumas questões importantes:

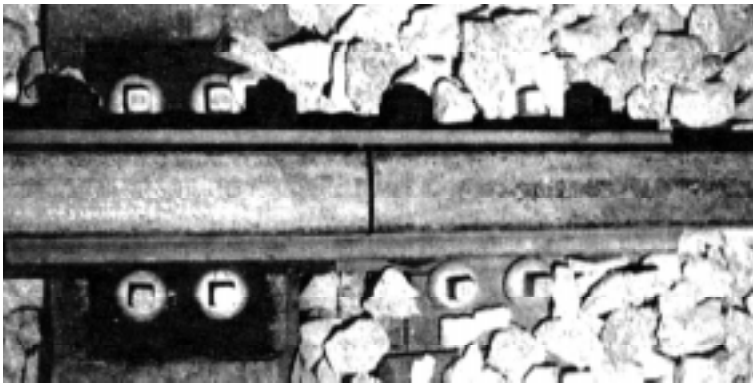
- Como funciona o termômetro, isto é, por que o líquido se desloca?
- Como se constróem as **escalas termométricas**?

O objetivo das seções seguintes é responder a essas duas questões.

## Aquecendo objetos

O funcionamento do termômetro se baseia num fenômeno observado nas experiências: em geral, os objetos aumentam de tamanho quando são aquecidos. Este aumento de tamanho é chamado de **dilatação**. Por exemplo: nas construções que utilizam concreto armado, como pontes, estradas, calçadas ou mesmo edifícios, é comum deixar um pequeno espaço (as chamadas juntas de dilatação) entre as placas de concreto armado. A razão é simples: as placas estão expostas ao Sol e, quando aquecidas, dilatam-se. As juntas servem para impedir que ocorram rachaduras.

Outro exemplo é encontrado nos trilhos dos trens: entre as barras de ferro que formam os trilhos existem espaços. Eles permitem que as barras se dilatam sem se sobrepor uma à outra, como mostra a figura abaixo.



Mais um exemplo do nosso dia-a-dia: quando está difícil remover a tampa metálica de um frasco de vidro, basta aquecê-la levemente. Assim, ela se dilata e sai com facilidade. Mas resta agora uma dúvida:

### Por que os objetos aumentam de tamanho quando aquecidos?

Para responder a essa questão, precisamos saber um pouco sobre a estrutura dos objetos. Não vamos aqui entrar em detalhes, pois este será o tema de uma outra aula. Por enquanto, basta saber que todos os objetos, independentemente do tipo de material de que são feitos, são formados por pequenas estruturas chamadas de **átomos**.

Sabemos que esses átomos estão em constante movimento.

Você já aprendeu que existe uma energia associada ao movimento de um objeto: a **energia cinética**. Aprendeu também que ela é maior quanto maior é a velocidade do objeto em movimento.

Ao ser aquecido, um objeto recebe energia, que é transferida aos seus átomos. Ganhando energia, os átomos que formam o objeto passam a se mover mais rapidamente. Nós já sabemos que, quando aquecemos um objeto, sua temperatura aumenta.

Isso nos faz pensar que a temperatura de um objeto está relacionada ao movimento de seus átomos. Assim chegamos a uma conclusão importante:

**A temperatura de um objeto é uma grandeza que está associada ao movimento de seus átomos.**

Tendo mais energia, os átomos tendem a se afastar mais uns dos outros. Conseqüentemente, a **distância média** entre eles é maior. Isso explica porque os objetos, quando aquecidos, aumentam de tamanho, isto é, dilatam-se.

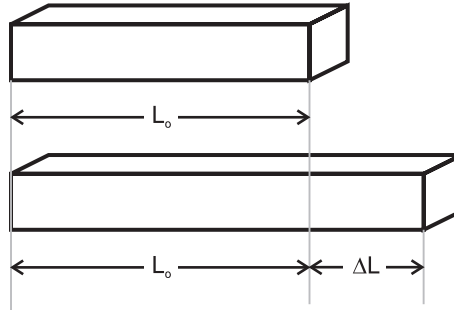
Então, aprendemos outro fato importante:

**Dilatação é o aumento de tamanho de um objeto, quando ele é aquecido, em consequência do aumento da distância média entre os átomos que o formam.**

## Como calcular a dilatação de um objeto?

Vamos imaginar uma barra de ferro de trilho de trem. Suponha que ela tem, inicialmente, um comprimento  $L_0$ .

Ao ser aquecida, a barra aumenta de tamanho: aumentam seu comprimento, sua largura e sua altura. Mas, inicialmente, vamos analisar apenas a variação do **comprimento** da barra, que é bem maior do que a variação das outras dimensões, isto é, a largura e a altura. Veja a ilustração abaixo.



As experiências mostram que a **variação do comprimento** ( $\Delta L$ ) é **diretamente proporcional à variação da sua temperatura** ( $\Delta t$ ) e **ao seu comprimento inicial** ( $L_0$ ), isto é:

$$\begin{aligned}\Delta L &\propto \Delta t \\ \Delta L &\propto L_0\end{aligned}$$

Matematicamente, podemos escrever da seguinte maneira:

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

onde  $\alpha$  é a constante de proporcionalidade.

Portanto, a variação do comprimento de um objeto é **diretamente proporcional** à sua variação da temperatura.

As experiências mostram também que a **constante de proporcionalidade** ( $\alpha$ ) depende do tipo de material de que é feito o objeto. No caso da nossa barra, esse material é o ferro.

A constante de proporcionalidade ( $\alpha$ ) recebe o nome de **coeficiente de dilatação linear**, e seu valor pode ser calculado experimentalmente para cada tipo de material. Para isso, basta medir  $L_0$ ,  $\Delta L$  e  $\Delta t$ .

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta t}$$

### Unidade

Observe que  $\Delta L$  e  $L_0$  têm unidade de comprimento, que se cancela. Assim, resta a unidade do  $\Delta t$ , isto é, da temperatura.

Portanto, a unidade do coeficiente de dilatação linear é o inverso da unidade da temperatura, que veremos na próxima seção.

O que vimos não se aplica apenas ao comprimento de um objeto: serve também para as outras dimensões do objeto, isto é, a largura e a altura.

Em vez de falar na variação de cada uma das dimensões do objeto separadamente, podemos falar diretamente da variação de seu volume, isto é, da **dilatação volumétrica**, que matematicamente pode ser escrita como:

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

onde  $\gamma$  é chamado de **coeficiente de dilatação volumétrica**, e seu valor é **três vezes** o coeficiente de dilatação linear, isto é,  $\gamma = 3\alpha$ .

Essas “leis” que descrevem a dilatação de sólidos servem também para os líquidos. A diferença é que os líquidos não têm forma definida: eles adquirem a forma do recipiente que os contém, que também podem se dilatar.

Agora é possível entender como funciona o termômetro: o líquido que está no interior do tubo capilar se dilata à medida que é aquecido; assim, a altura da coluna de líquido aumenta.

A variação da altura da coluna é diretamente proporcional à variação da temperatura, e esse fato é muito importante. Isto quer dizer que as dimensões dos objetos variam linearmente com a temperatura. Graças a esse fato, é possível construir os termômetros e suas escalas, como descreveremos a seguir.

## O termômetro e sua escala

Quando medimos uma temperatura, o que fazemos, na realidade, é comparar a altura da coluna de líquido com uma escala. Por isso, a escala é muito importante.

Para construir uma escala é necessário estabelecer um padrão. Lembre-se de que na Aula 2 falamos sobre alguns exemplos de padrões: o **metro padrão** e o **quilograma padrão**. As escalas são construídas com base nos padrões.

A escala de temperatura adotada em quase todos os países do mundo, inclusive no Brasil, é chamada de **escala Celsius**, em homenagem ao sueco Anders Celsius, que a inventou.

Já sabemos que a altura da coluna de líquido varia de acordo com a temperatura: quanto maior a temperatura, maior a altura da coluna. Sabemos também que a altura varia linearmente com a temperatura.

A escala termométrica é formada por um conjunto de pontos, cada um associado a um número que corresponde ao valor da temperatura.

Então, para construir uma escala, é preciso determinar esses pontos e estabelecer a sua correspondência com o valor da temperatura.

A escala Celsius utiliza a temperatura da água para definir seus pontos. Ela é construída da seguinte maneira: inicialmente, são definidos dois pontos, o inferior e o superior.

Para determinar o ponto inferior da escala, coloca-se o termômetro numa mistura de água com gelo e aguarda-se o equilíbrio térmico (Figura 2). Neste momento, a coluna atinge uma determinada altura, onde se marca o primeiro ponto, definido como **zero grau Celsius**, que corresponde à temperatura de fusão do gelo (passagem do estado sólido para o líquido).

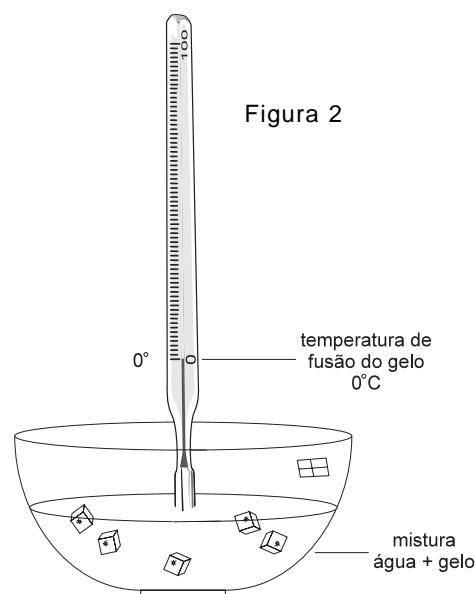
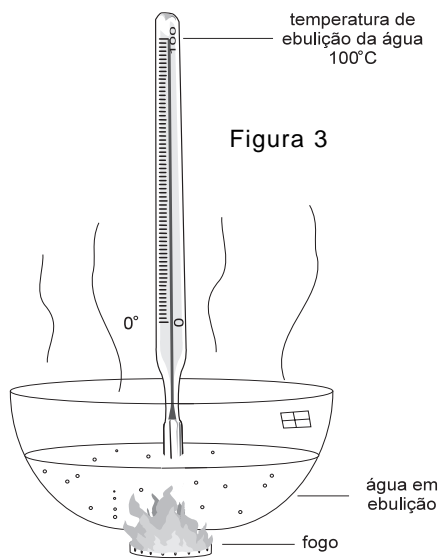
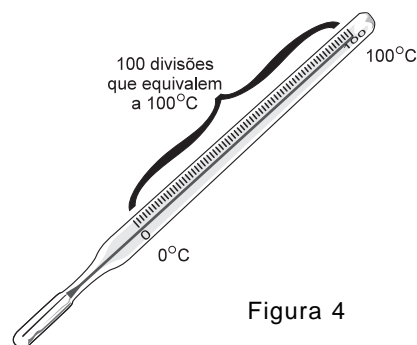


Figura 2



O ponto superior da escala é definido colocando-se o termômetro num recipiente com água em ebulição (fervendo). Quando o equilíbrio térmico é atingido, a coluna de líquido atinge uma altura que determina o ponto superior da escala. Esse ponto é definido como **100 graus Celsius**, que corresponde à temperatura de ebulição da água (Figura 3).

Em seguida, a escala é dividida em 100 partes iguais, de modo que cada uma corresponda a um grau Celsius. Por isso a escala Celsius é também chamada de escala centígrada (cem graus), e dizemos **graus Celsius** ou **graus centígrados** (Figura 4). Nessa escala, a temperatura normal do corpo é de aproximadamente 36°C.



Gaspar pediu um termômetro emprestado a Maristela. Era um termômetro um pouco estranho. Nele estava escrito "graus F"; o menor valor indicado era 32°F e o maior, 212°F.

Gaspar colocou o termômetro embaixo do braço e esperou alguns minutos. Após esse período, verificou a altura da coluna de mercúrio: ela indicava 100 dos tais graus F.

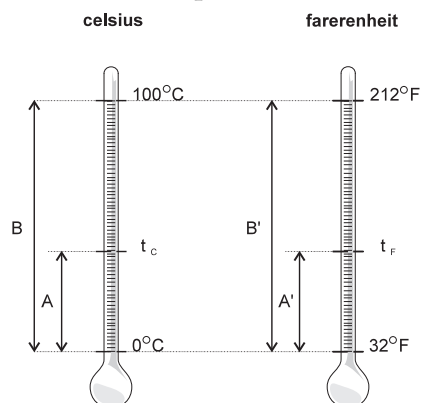
E agora? Gaspar, afinal, tinha febre ou não? Qual seria a relação entre os "graus F" e os já conhecidos graus Celsius? Tudo o que Gaspar sabia era que na escala Celsius, em condições normais, sua temperatura deveria estar em torno dos 36°C.

Gaspar telefonou para Maristela, pedindo explicações. E a moça explicou:

- A tal escala F é pouco utilizada e se chama **escala Fahrenheit**, em homenagem ao seu inventor. Essa escala também utiliza a água para determinar seus pontos. Mas atribui à temperatura de fusão do gelo o valor 32°F (que corresponde a 0°C), e à temperatura de ebulição da água atribui o valor 212°F (que corresponde a 100°C).

É simples relacionar uma mesma temperatura medida nessas duas escalas, isto é, estabelecer a correspondência entre a temperatura Fahrenheit e a temperatura Celsius.

Observe este esquema:



Seja  $t_F$  a temperatura de Gaspar medida na escala Fahrenheit. Qual será a temperatura Celsius ( $t_C$ ) correspondente?

Os segmentos A e A' são proporcionais, assim como B e B', de modo que podemos escrever:

$$\frac{A}{A'} = \frac{B}{B'}$$

$$\frac{(t_C - 0^\circ)}{(t_F - 32^\circ)} = \frac{(100^\circ - 0^\circ)}{(212^\circ - 32^\circ)}$$

$$t_C = \frac{5}{9} (t_F - 32^\circ)$$

Essa expressão relaciona a temperatura medida nas duas escala. Assim, conhecendo a temperatura de Gaspar, medida na escala Fahrenheit, podemos saber qual a sua temperatura em Celsius. Basta substituir o valor medido ( $100^\circ F$ ) na expressão acima. Assim, concluiremos que:

$$t_C \text{ é aproximadamente } 37,8^\circ C$$

Gaspar tinha razão. Estava realmente com febre!

### Absolutamente zero?

Gaspar passou o dia na cama, com a questão da temperatura na cabeça. Pensou no seguinte:

- A temperatura de um objeto está associada ao movimento de seus átomos. Se baixarmos a temperatura do objeto, esse movimento diminui. Qual será a menor temperatura que um objeto pode ter? Será possível parar completamente seus átomos?

Gaspar foi investigar. Descobriu que sua pergunta foi o que deu origem a uma outra escala termométrica, chamada de **escala absoluta** ou **escala Kelvin**, em homenagem ao inglês Lord Kelvin.

Em grandes laboratórios científicos buscou-se a temperatura mínima que um corpo poderia ter. Cientistas concluíram que não é possível obter temperatura inferiores a  $273^\circ C$  negativos, isto é,  $-273^\circ C$ !

Essa temperatura é conhecida como **zero absoluto** ou **zero Kelvin**. Essa escala é adotada em laboratórios, mas não no nosso dia-a-dia, pois as temperaturas com que estamos habituados são bem maiores! Normalmente utilizamos um T maiúsculo para indicar temperaturas absolutas. Sua unidade é o Kelvin (K). A relação entre a temperatura absoluta e a temperatura Celsius é simples:

$$T = t_C + 273$$





Nesta aula você aprendeu que:

- a temperatura de um objeto está relacionada às nossas sensações de quente e frio;
- o nosso tato não é um bom instrumento para medir temperaturas;
- a temperatura de um objeto está associada ao movimento de seus átomos e que, quanto maior for a velocidade dos átomos, isto é, quanto mais agitados eles estiverem, maior será a temperatura do objeto;
- dilatação é o aumento das dimensões de um objeto, em consequência do aumento de sua temperatura, e que as dimensões variam linearmente com a temperatura;
- para medir temperaturas, utilizamos instrumentos chamados **termômetros**.
- o funcionamento dos termômetros se baseia no fenômeno da dilatação e na sua propriedade de linearidade;
- existem várias escalas termométricas, sendo a mais utilizada a escala Celsius;
- há correspondência entre as diferentes escalas (Kelvin, Celsius e Fahrenheit).



### Exercício 1

Explique por que, quando queremos tomar uma bebida gelada, precisamos aguardar algum tempo depois de colocá-la na geladeira.

### Exercício 2

Numa linha de trem, as barras de ferro de 1 metro de comprimento devem ser colocadas a uma distância  $D$  uma da outra para que, com a dilatação devida ao calor, elas não se sobreponham umas às outras. Suponha que durante um ano a temperatura das barras possa variar entre  $10^{\circ}\text{C}$  e  $60^{\circ}\text{C}$ . Considerando que o coeficiente de dilatação linear do ferro é  $1,2 \cdot 10^{-5} \text{C}^{-1}$ , calcule qual deve ser a distância mínima  $D$  entre as barras para que, com a dilatação, os trilhos não sejam danificados.

### Exercício 3

Maristela mediu a temperatura de um líquido com dois termômetros: um utiliza a escala Celsius e o outro, a Fahrenheit. Surpreendentemente, ela obteve o mesmo valor, isto é,  $t_{\text{C}} = t_{\text{F}}$ . Descubra qual era a temperatura do tal líquido.

### Exercício 4

Lembrando o conceito de densidade que discutimos na Aula 19, responda: o que acontece com a densidade de um objeto quando ele é aquecido?

### Exercício 5

Gaspar estava realmente com febre: sua temperatura era de  $t_{\text{F}} = 100^{\circ}\text{F}$ . Descubra qual é o valor normal da temperatura do corpo humano na escala Fahrenheit.

### Exercício 6

Gaspar encheu o tanque de gasolina e deixou o carro estacionado sob o sol forte de um dia de verão. Ao retornar, verificou que o combustível havia vazado. Explique o que ocorreu.