

Termometria

Alisson Ferreira Martins

IFSP

2024

Sumário

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Introdução | 2 |
| 2 | Temperatura | 3 |
| 2.1 | Equilíbrio térmico | 4 |
| 2.2 | Medição de temperatura | 5 |
| 2.3 | Equação termométrica | 6 |
| 3 | Escala termométrica | 7 |
| 3.1 | Pontos fixos fundamentais | 7 |
| 4 | Escala Celsius e Fahrenheit | 8 |
| 4.1 | Conversão entre as escalas Celsius e Fahrenheit | 9 |
| 4.2 | Variação de temperatura | 10 |
| 4.3 | Escala Réaumur | 10 |
| 5 | O zero absoluto | 11 |
| 5.1 | A escala absoluta | 12 |

1 Introdução

Termologia é a parte da Física que estuda os fenômenos relacionados ao aquecimento, resfriamento ou mudanças nas propriedades da matéria que recebem ou cedem um determinado tipo de energia.



Figura 1: A preparação de um bolo envolve energia em forma de calor. O bolo precisa receber energia térmica para seu cozimento.

2 Temperatura

Temperatura é a grandeza que determina o estado físico, ou seja, a propriedade da matéria de um sistema térmico.

Podemos associar a temperatura ao aumento da energia cinética das partículas ou moléculas que compõem aquele sistema. Em um gás, temos as moléculas colidindo de maneira aleatória; em um sólido, temos uma região delimitada, onde microscopicamente há uma agitação em uma área restrita, que aumenta ou diminui com a variação da temperatura. A conclusão é que a temperatura é o grau de agitação das moléculas ou de movimentação.

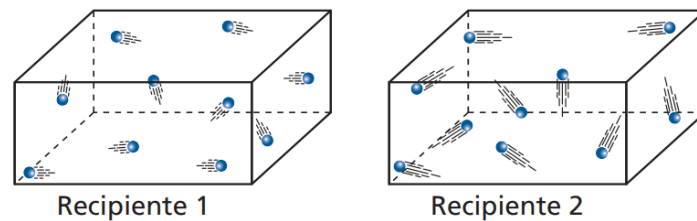


Figura 2: Considerando que os dois recipientes contêm o mesmo tipo de gás, no recipiente 2 o estado de agitação das partículas que compõem o gás é maior, pois estas se movimentam com maior rapidez. Assim, podemos concluir que o gás do recipiente 2 encontra-se em uma temperatura mais elevada que o gás do recipiente 1.

2.1 Equilíbrio térmico

Quando retiramos um frango do forno e um refrigerante da geladeira, após algum tempo, é notável que o frango esfriou e o refrigerante esquentou. O que acontece é que, ao serem colocados no mesmo ambiente, os corpos tendem espontaneamente ao equilíbrio térmico. Corpos com um grau de agitação maior transferem energia para corpos com um grau de agitação menor. Assim, o corpo quente esfria e o corpo frio esquenta até atingirem o mesmo estado de equilíbrio, onde suas temperaturas se igualam.

Dois ou mais sistemas físicos estão em equilíbrio térmico entre si quando suas temperaturas são iguais.



Figura 3: As partículas da água "quente" fornecem parte de sua energia de agitação para as partículas da água "fria" e esfriam. Ao receber essa energia, as partículas da água "fria" esquentam. A troca de energia só é interrompida quando o equilíbrio térmico é atingido.

2.2 Medição de temperatura

Não é possível medir diretamente o grau de agitação de um corpo; entretanto, podemos fazer isso de forma indireta utilizando um segundo corpo que apresenta alterações mensuráveis em suas propriedades físicas durante o processo de busca do equilíbrio térmico. Esse segundo corpo, que sofre essas alterações, é chamado de termômetro.

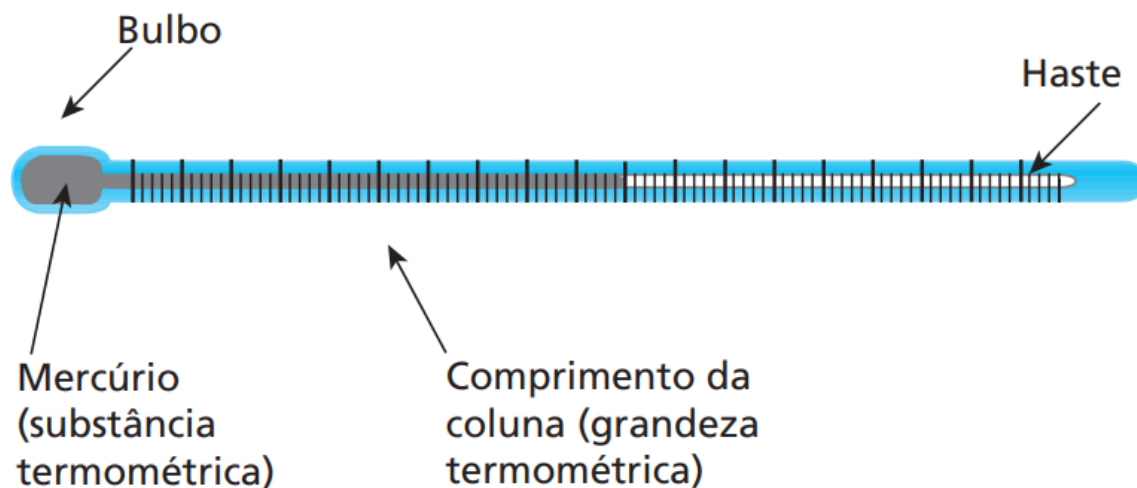


Figura 4: Termômetro de mercúrio.

Na extremidade esquerda há um reservatório (bulbo) onde está armazenada a substância termométrica, que, no caso, é o mercúrio. No interior da haste, há um tubo estreito (capilar) através do qual a substância termométrica se desloca para a direita ou para a esquerda conforme a temperatura que está sendo medida. O valor da temperatura é fornecido pela medida do comprimento da coluna, que é a grandeza termométrica adotada.

Substância termométrica: é aquela em que pelo menos uma de suas propriedades físicas (comprimento, volume, pressão, dentre outras) varia de forma mensurável com a temperatura.

Grandeza termométrica: é a propriedade física da substância termométrica que varia de forma mensurável com a temperatura e é usada para medi-lá.

2.3 Equação termométrica

Em um termômetro, a grandeza termométrica varia praticamente de maneira uniforme com a temperatura, permitindo a adoção de uma relação matemática precisa entre a grandeza termométrica e a temperatura. Essa relação é chamada de equação termométrica e possui o seguinte formato:

$$G = a\theta + b$$

onde G é a grandeza termométrica, a e b são os coeficientes angular e linear, respectivamente, e θ é a temperatura, com $a \neq 0$.



Figura 5: Termômetro de álcool. A substância termométrica (álcool) é tingida de vermelho para melhor visualização.

3 Escalas termométricas

Escala termométrica é um conjunto de valores numéricos em que cada valor está associado a uma determinada temperatura. Como uma escala termométrica é constituída por um conjunto de valores arbitrários, um mesmo estado térmico pode ser representado em escalas termométricas diferentes por valores numéricos diversos. Os valores numéricos de uma escala termométrica são obtidos a partir de dois valores atribuídos previamente a dois estados térmicos de referência bem definidos, denominados pontos fixos.

3.1 Pontos fixos fundamentais

São adotados usualmente como pontos fixos os estados térmicos correspondentes ao gelo fundente e à água em ebulição, ambos sob pressão normal. Esses estados térmicos costumam ser denominados ponto do gelo e ponto do vapor, respectivamente, e constituem os pontos fixos fundamentais.

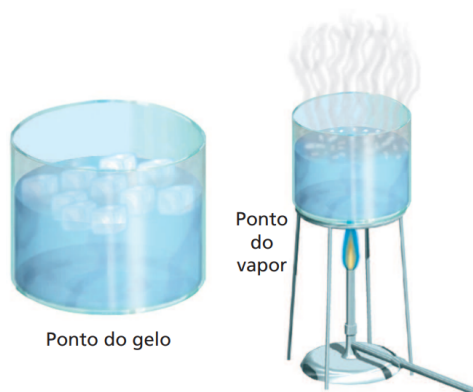


Figura 6: 1º ponto fixo: ponto do gelo – temperatura na qual o gelo e a água permanecem em equilíbrio térmico quando sob pressão normal.

2º ponto fixo: ponto do vapor – temperatura na qual a água entra em ebulição sob pressão normal.

Em 1939, o químico canadense William Francis Giaque (1895 - 1982) passou a defender a proposta de Lord Kelvin, que pretendia que as escalas termométricas usassem apenas um ponto fixo, o ponto tríplice da água (temperatura em que ela se apresenta em equilíbrio térmico nos três estados físicos: sólido, líquido e vapor). Essa tese foi aprovada em 1954 pelos representantes da comunidade científica e passou a ser chamada de solução Giaque. Por ser mais prático, no entanto, continuamos usando o ponto do gelo e o ponto do vapor como referências nas escalas termométricas.

4 Escalas Celsius e Fahrenheit

A escala termométrica mais utilizada no mundo, inclusive no Brasil, foi criada pelo astrônomo e físico Anders Celsius (1701-1744) e oficializada em 1742 por um colaborador da Real Academia Sueca de Ciências. O interessante é que, originalmente, Celsius utilizou o valor 0 para o ponto de ebulição da água e o valor 100 para seu ponto de congelamento, tornando-a tal como a conhecemos hoje. Em 1708, o físico alemão Daniel Gabriel Fahrenheit (1686-1736), utilizando a mistura de gelo e cloreto de amônia para o ponto 0, e a temperatura do corpo humano para o ponto 100, a temperatura do corpo humano. Somente mais tarde, quando passaram a utilizar a água como referência, observou-se que a sua escala assinalava 32 para o ponto do gelo e 212 para o ponto do vapor. A escala Fahrenheit de temperaturas é utilizada principalmente nos países de língua inglesa.

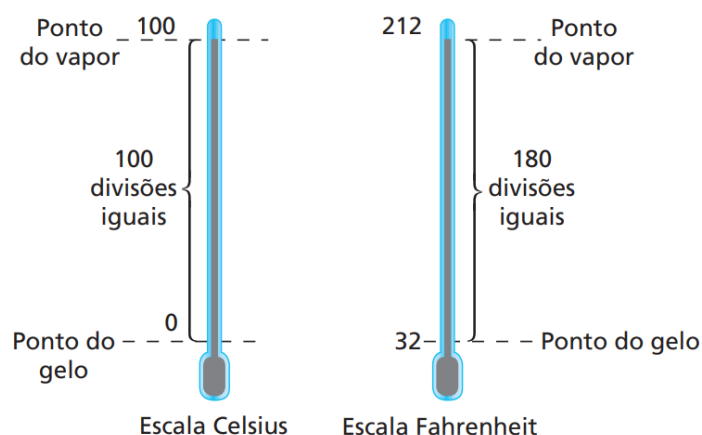


Figura 7: Na escala Celsius, temos 100 divisões iguais entre os pontos fixos, cada divisão correspondendo à unidade da escala, que recebe o nome de grau Celsius, simbolizado por $^{\circ}\text{C}$. Na escala Fahrenheit, temos 180 divisões iguais entre os pontos fixos, sendo a unidade da escala denominada grau Fahrenheit, simbolizado por $^{\circ}\text{F}$.

4.1 Conversão entre as escalas Celsius e Fahrenheit

Sempre podemos estabelecer uma relação entre duas escalas termométricas quaisquer que sejam, podemos obter uma equação de conversão, que relacione os valores dados pelas escalas Celsius e Fahrenheit. Sabendo a temperatura em uma, podemos saber a temperatura da outra.

Para fazermos isso, utilizamos dois termômetros idênticos, sendo um em Celsius e outro em Fahrenheit. Ao colocá-los em contato com um mesmo corpo, é observado que as alturas são iguais; porém, por se tratarem de escalas distintas, os valores numéricos são (θ_C e θ_F).

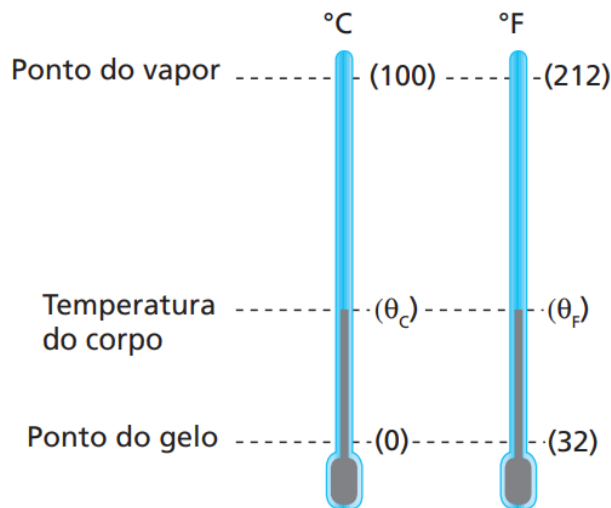


Figura 8: Termômetros idênticos em escalas Celsius e Fahrenheit.

Assim, temos a relação

$$\frac{\theta_C - 0}{\theta_F - 32} = \frac{100 - 0}{212 - 32}$$
$$\frac{\theta_C}{\theta_F - 32} = \frac{100}{180} = \frac{5}{9}$$

Podemos reescrever a equação de conversão como

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

4.2 Variação de temperatura

Conversão de uma variação de temperatura em graus Celsius para graus Fahrenheit.

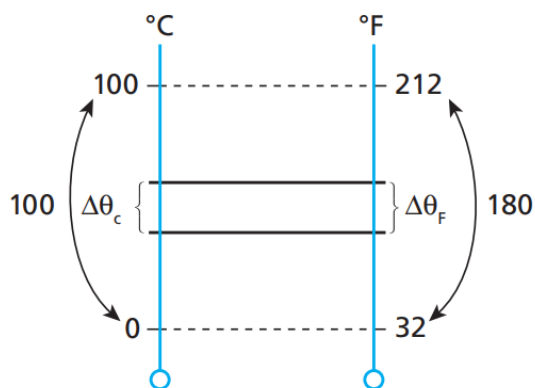


Figura 9: A variação em uma das escalas é proporcional à variação correspondente na outra.

Portanto

$$\frac{\Delta_C}{100} = \frac{\Delta_F}{180}$$

4.3 Escala Réaumur

Em 1730, o físico francês René-Antoine Ferchault de Réaumur observou que o álcool, ao ser aquecido do ponto de gelo até o ponto de vapor, apresentava uma expansão de 80 partes por mil. Assim, estabeleceu em sua escala a marca 0 para a fusão do gelo e 80 para a ebulição da água, sob pressão normal.

A conversão entre a escala Réaumur e a escala Celsius é feita pela relação:

$$\theta_C = \frac{5}{4}\theta_R$$

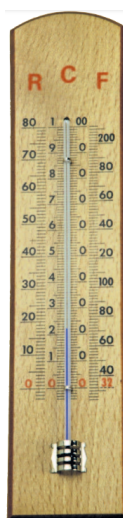


Figura 10: Mesma temperatura nas escalas Celsius, Fahrenheit e Réaumur

5 O zero absoluto

Considere um sistema físico qualquer. Quando aquecemos esse sistema, sua temperatura aumenta, o que intensifica o movimento das partículas que o compõem. Por outro lado, quando resfriamos o sistema, sua temperatura diminui, resultando em uma redução na agitação das partículas. Se continuarmos a resfriar o sistema, a agitação das partículas continuará a diminuir progressivamente, até alcançar um limite inferior conhecido como zero absoluto.

Zero absoluto é o limite inferior de temperatura de um sistema. É a temperatura correspondente ao menor estado de agitação das partículas, isto é, um estado de agitação praticamente nulo.

No zero absoluto, ainda existe nas partículas do sistema uma quantidade finita, não nula, de energia cinética. Essa energia é denominada energia do ponto zero.

5.1 A escala absoluta

O físico britânico William Thomson (1824-1907), mais conhecido como Lorde Kelvin, foi quem verificou experimentalmente a variação da pressão de um gás a volume constante. Por meio de uma extrapolação, ele concluiu que aquele gás poderia atingir condição de anulação da pressão.

Ao chegar a essa conclusão ele realizou experiências com diferentes amostras de gases, a volume constante. As pressões foram plotadas (marcadas) em função da temperatura Celsius. O prolongamento do gráfico levou ao valor $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$, que foi denominado “zero absoluto”.

Para facilitar os cálculos, aproximamos esse valor para $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$.

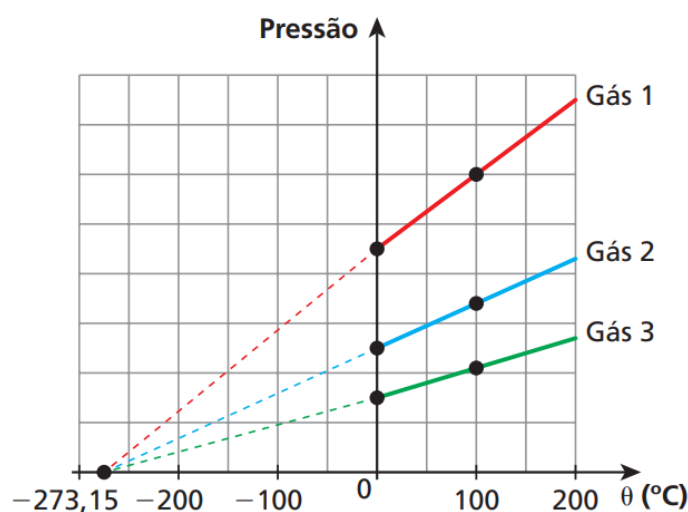


Figura 11: Experiências com diferentes amostras de gases, a volume constante

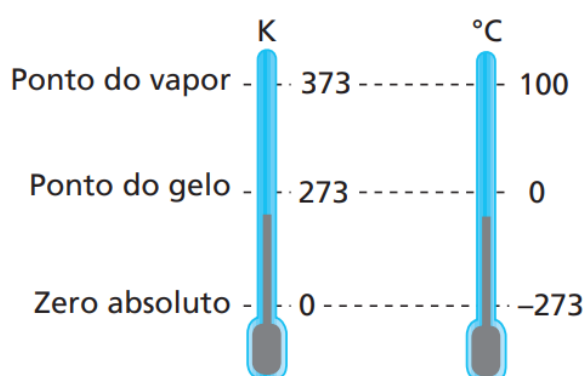


Figura 12: A escala Kelvin, também denominada escala absoluta, tem sua origem no zero absoluto e utiliza o grau Celsius como unidade de variação. O símbolo da unidade da escala Kelvin é K.

Podemos concluir que a equação de conversão entre as escalas Celsius e Kelvin é dada por:

$$T(K) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273$$