

# Física

## Termologia

Brincando de memorizar conceitos

Rafael Silva

# Prefácio

## A importância da Física como ciência didática

A Física é uma das ciências fundamentais para a compreensão do mundo natural, desempenhando um papel essencial no ensino das ciências exatas. Como disciplina didática, ela permite a construção de modelos teóricos que explicam as tendências cotidianas e promovem o desenvolvimento do pensamento lógico.

Os estudos demonstram que a aplicação de conceitos físicos em sala de aula favorece a assimilação de conhecimentos interdisciplinares, especialmente quando associados a experimentos práticos. A utilização de metodologias ativas, como a experimentação e a simulação computacional, tem sido amplamente científica e aplicada no ensino moderno, evidenciando resultados positivos no aprendizado.

Além disso, a Física contribui para a formação de cidadãos críticos e aptos a compreender o avanço tecnológico. A partir do ensino dessa ciência, os estudantes desenvolvem habilidades analíticas que podem ser aplicadas em diversas áreas do conhecimento.

Diante dessa perspectiva, este livro propõe um método inovador para o ensino de Física Termologia, aliando rigor acadêmico a estratégias didáticas que estimulam a memorização e a compreensão conceitual. Para isso, foi incluído neste livro, um jogo de cartas interativo como ferramenta complementar ao estudo. O jogo apresenta perguntas e respostas organizadas de forma estruturada, permitindo ao estudante explorar os conteúdos de diferentes maneiras: seja por meio de um jogo da memória, associando conceitos e fórmulas, seja em um formato de carteador, no qual os jogadores formam pares de questões e soluções de maneira dinâmica.

O diferencial dessa abordagem é a integração com tecnologias virtuais e inteligência artificial. As cartas contêm códigos QR que, ao serem escaneados por sensores, enviam informações a um sistema computacional capaz de processar respostas, oferecer propostas e gerar interfaces gráficas interativas. Dessa forma, o estudante não apenas reforça seu aprendizado de maneira lúdica, mas também tem acesso a recursos digitais que aprofundam a exploração dos temas envolvidos.

Ao unir metodologias pedagógicas inovadoras com os princípios fundamentais da Física, este livro busca tornar o aprendizado mais acessível, engajador e eficaz. A ludicidade, quando aliada à precisão científica, permite que temas complexos sejam assimilados de maneira mais natural, reduzindo a resistência ao estudo e incentivando a curiosidade científica. Assim, este livro não apenas valoriza o ensino da Física, mas também apresenta um modelo de aprendizado adaptável às novas demandas tecnológicas e educacionais.



## SUMÁRIO

1. **Introdução** – pág. 5
2. **Relação entre escalas Celsius e Fahrenheit** – pág. 7
3. **Relação entre escalas Celsius e Kelvin** – pág. 8
4. **Dilatação linear** – pág. 10
5. **Dilatação superficial** – pág. 12
6. **Dilatação volumétrica** – pág. 14
7. **Dilatação dos líquidos** – pág. 16
8. **Unidades de quantidade de calor** – pág. 18
9. **Calor específico** – pág. 20
10. **Capacidade térmica de um corpo** – pág. 22
11. **Equação fundamental da calorimetria** – pág. 24
12. **Princípio da igualdade das trocas de calor** – pág. 26
13. **Mudanças de fase** – pág. 28
14. **Tipos de vaporização** – pág. 30
15. **Calor latente** – pág. 32
16. **Curvas de aquecimento e de resfriamento** – pág. 34
17. **Diagramas de fase** – pág. 36
18. **Transmissão de calor** – pág. 38
19. **Lei de Boyle-Mariotte** – pág. 40
20. **Lei de Gay-Lussac** – pág. 42
21. **Lei de Charles** – pág. 44
22. **Número de Avogadro e a Equação de Clapeyron** – pág. 45
23. **Equação geral dos gases perfeitos** – pág. 46
24. **Trabalho em um sistema** – pág. 48
25. **Primeiro princípio da termodinâmica** – pág. 50
26. **Segundo princípio da termodinâmica** – pág. 52
27. **Ciclo de Carnot** – pág. 54

# Introdução

A Termologia é o ramo da Física responsável pelo estudo do calor, da temperatura e de seus efeitos sobre os corpos e substâncias. O entendimento desses conceitos é essencial para compreender fenômenos naturais, aplicações tecnológicas e até processos industriais que envolvem a transferência de energia térmica.

O estudo inicia-se com a **relação entre as escalas de temperatura**, abordando as conversões entre **Celsius, Fahrenheit e Kelvin**, fundamentais para a padronização das medições térmicas. A compreensão dessas escalas permite o uso correto das grandezas térmicas em diferentes contextos científicos e tecnológicos.

Em seguida, exploramos os conceitos de **dilatação térmica**, começando com a **dilatação linear**, seguida pela **dilatação superficial** e **dilatação volumétrica**. Essas variações dimensionais de sólidos ocorrem devido ao aumento da temperatura e são fundamentais para a construção civil, engenharia mecânica e diversas áreas da indústria. Além disso, estudamos a **dilatação dos líquidos**, que ocorre de maneira diferente da dos sólidos devido às propriedades das substâncias líquidas.

Outro ponto essencial é a **quantidade de calor**, expressa por diferentes grandezas como **calor específico** e **capacidade térmica de um corpo**. Esses conceitos permitem calcular a quantidade de energia necessária para variar a temperatura de uma substância, sendo essenciais para entender processos térmicos naturais e artificiais.

Com a **equação fundamental da calorimetria** e o **princípio da igualdade das trocas de calor**, estudamos como a energia térmica é transferida entre corpos em sistemas isolados, aplicando esses princípios na análise de fenômenos como o equilíbrio térmico.

As **mudanças de fase** e os **tipos de vaporização** descrevem as transições entre estados físicos da matéria (sólido, líquido e gasoso), além dos processos de evaporação e ebulição. Para compreender a energia envolvida nessas transições, exploramos o conceito de **calor latente** e analisamos **curvas de aquecimento e resfriamento** para visualizar a variação da temperatura ao longo do tempo.

A seguir, estudamos os **diagramas de fase**, que representam graficamente as condições de temperatura e pressão nas quais ocorrem as mudanças de estado físico.

Esses diagramas são essenciais para entender processos industriais que envolvem a manipulação de substâncias em diferentes condições térmicas.

No estudo da **transmissão de calor**, abordamos os mecanismos de condução, convecção e radiação, explicando como o calor se propaga em diferentes meios e aplicações. Esse conhecimento é essencial em sistemas de aquecimento, refrigeração e isolamento térmico.

A Termodinâmica, ramo da Física que analisa as transformações de energia térmica em outras formas de energia, é introduzida a partir das **leis dos gases**, incluindo a **lei de Boyle-Mariotte**, a **lei de Gay-Lussac** e a **lei de Charles**, culminando na **equação geral dos gases perfeitos**, que permite prever o comportamento dos gases em diferentes condições de temperatura, pressão e volume.

O estudo do **trabalho em um sistema** introduz a relação entre o calor e a realização de trabalho mecânico, preparando o caminho para os **princípios da termodinâmica**. O **primeiro princípio da termodinâmica** estabelece a conservação da energia em sistemas térmicos, enquanto o **segundo princípio da termodinâmica** descreve a direção natural dos processos térmicos e a irreversibilidade do calor.

Por fim, apresentamos o **Ciclo de Carnot**, um modelo teórico de máquina térmica ideal que define os limites máximos de rendimento na conversão de calor em trabalho, sendo essencial para a engenharia térmica e a concepção de motores e sistemas de refrigeração eficientes.

Dessa forma, este livro conduz o leitor por um estudo aprofundado e sistemático da Termologia, proporcionando uma compreensão sólida dos fenômenos térmicos e sua aplicabilidade prática em diversas áreas da ciência e tecnologia.

## Conversão entre as escalas Celsius e Fahrenheit

A temperatura é uma grandeza fundamental na termologia e pode ser medida em diferentes escalas. Duas das mais utilizadas são a escala Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) e a escala Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ). Cada uma dessas escalas possui um ponto de referência distinto, e sua conversão pode ser realizada por meio de uma fórmula matemática simples.

A escala Celsius foi criada com base nos pontos de fusão e ebulição da água sob pressão atmosférica normal, sendo  $0^{\circ}\text{C}$ , o ponto de fusão, e  $100^{\circ}\text{C}$ , o ponto de ebulição. A escala Fahrenheit, por sua vez, define o ponto de fusão da água em  $32^{\circ}\text{F}$  e o de ebulição em  $212^{\circ}\text{F}$ .

A relação entre essas escalas pode ser expressa pela seguinte fórmula:

$$F = \frac{9}{5}C + 32$$

onde:

- ( $F$ ) é a temperatura em graus Fahrenheit,
- ( $C$ ) é a temperatura em graus Celsius.

Para converter de Fahrenheit para Celsius, utilizamos a fórmula inversa:

$$C = \frac{5}{9}(F - 32)$$

Essas fórmulas permitem que possamos converter valores de temperatura entre as duas escalas de forma rápida e eficiente.



### Exercício Resolvido:

Uma cidade registrou uma temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  ao meio-dia. Qual é esse valor em Fahrenheit?

**Resolução:** Usando a fórmula de conversão:

$$F = \frac{9}{5}C + 32$$

Substituindo ( $C = 25$ ):

$$F = \frac{9}{5} \times 25 + 32$$

$\therefore$

$$F = 77^{\circ}\text{F}$$

Portanto,  $25^{\circ}\text{C}$  correspondem a  $77^{\circ}\text{F}$ .



## Conversão entre as escalas Celsius e Kelvin

A temperatura é uma grandeza física fundamental para o estudo da termodinâmica e da termologia. Para medi-la, utilizamos diferentes escalas, sendo a escala Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) e a escala Kelvin ( $\text{K}$ ) duas das mais empregadas na Física. A escala



Kelvin é amplamente utilizada no meio científico por estar diretamente relacionada ao conceito de temperatura absoluta.

### Conversão entre Celsius e Kelvin

A relação entre as escalas Celsius e Kelvin é expressa pela seguinte equação matemática:

$$K = ^\circ C + 273,15$$

Essa fórmula indica que, para converter uma temperatura de graus Celsius para Kelvin, basta somar 273,15. Inversamente, para converter de Kelvin para Celsius, subtrai-se 273,15:

$$^\circ C = K - 273,15$$

### Exercício Resolvido

Um físico deseja determinar a temperatura de fusão do gelo na escala Kelvin. Sabendo que na escala Celsius essa temperatura é de  $0^\circ\text{C}$ , qual será o valor correspondente em Kelvin?

#### Resolução:

Utilizando a equação de conversão:

$$K = 0 + 273,15$$

$$K = 273,15$$

Portanto, a temperatura de fusão do gelo na escala Kelvin é **273,15 K**.



## Dilatação Linear

A dilatação térmica ocorre quando um material sofre expansão devido ao aumento da temperatura. Entre os tipos de dilatação térmica, a **dilatação linear** se refere à variação no comprimento de um corpo quando submetido a uma alteração de temperatura.

A dilatação linear é descrita pela seguinte equação:

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

Onde:

- $\Delta L$  = variação no comprimento (**m**)
- $L_0$  = comprimento inicial (**m**)
- $\alpha$  = coeficiente de dilatação linear ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$  ou  $\text{K}^{-1}$ )
- $\Delta T$  = variação da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$  ou  $\text{K}$ )

Dessa forma, quanto maior o coeficiente de dilatação linear do material, maior será sua expansão ao sofrer um aumento de temperatura.

### Exemplo Resolvido

Um trilho de ferro tem um comprimento inicial de **10,0 m** a uma temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$ . Sabendo que o coeficiente de dilatação linear do ferro é  $1,2 \times 10^{-5}^{\circ}\text{C}^{-1}$ , determine o aumento no comprimento do trilho quando sua temperatura atinge  $80^{\circ}\text{C}$ .

### Resolução:

Dados:

$$L_0 = 10,0\text{m}, \quad \alpha = 1,2 \times 10^{-5}^{\circ}\text{C}^{-1}, \quad \Delta T = 80 - 20 = 60^{\circ}\text{C}$$

Aplicamos a equação da dilatação linear:

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

$$\Delta L = 10,0 \times (1,2 \times 10^{-5}) \times 60$$

$\therefore$

$$\Delta L = 0,0072\text{ m ou } 7,2\text{ mm}$$

Portanto, o trilho sofrerá uma expansão de **7,2 mm**.



## Dilatação Superficial

A dilatação superficial é um fenômeno físico que ocorre quando um material sólido tem sua área alterada devido a uma variação de temperatura. Esse tipo de dilatação acontece em materiais bidimensionais, como chapas metálicas, superfícies de vidro ou qualquer objeto em que a espessura seja desprezível em relação às outras dimensões.

### Fórmula da Dilatação Superficial

A variação da área de um corpo devido à temperatura é dada pela expressão:

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

Onde:

- $\Delta A$  , é a variação da área ( $m^2$ );
- $A_0$  , é a área inicial ( $m^2$ );
- $\beta$  , é o coeficiente de dilatação superficial do material ( $\beta = 2\alpha$  , sendo  $\alpha$  o coeficiente de dilatação linear);
- $\Delta T$  , é a variação de temperatura (em  $^{\circ}C$  ou  $K$ ).

### Exercício Resolvido

Uma chapa de alumínio tem área inicial de **2,0 m<sup>2</sup>** a **20°C**. Sabendo que o coeficiente de dilatação linear do alumínio é  $24 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , determine a variação da área da chapa quando sua temperatura for elevada para **70°C**.

#### Resolução:

Determinar o coeficiente de dilatação superficial:

$$\beta = 2 \cdot \alpha$$

$$\beta = 2 \times (24 \times 10^{-6})$$

$$\beta = 48 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Calcular a variação da temperatura:

$$\Delta T = 70 - 20$$

$$\Delta T = 50^\circ\text{C}$$

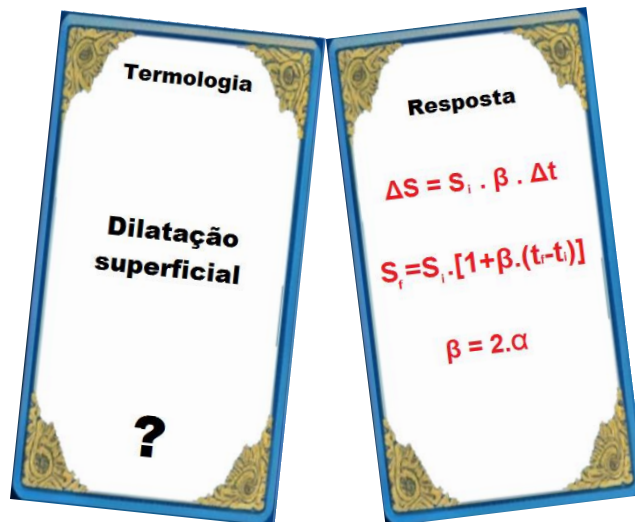
Aplicar na fórmula:

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

$$\Delta A = 2,0 \times (48 \times 10^{-6}) \times 50$$

$$\Delta A = 4,8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

**Resposta:** A variação da área será de  $4,8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ .



## Dilatação Volumétrica

A dilatação volumétrica ocorre quando um corpo sólido tridimensional sofre uma variação em todas as suas dimensões devido ao aumento da temperatura. Esse fenômeno é observado em materiais sólidos, líquidos e gasosos, sendo de grande relevância para aplicações industriais e engenharia térmica.

A dilatação volumétrica é regida pela seguinte equação:

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

Onde:

- $\Delta V$  é a variação do volume do corpo ( $m^3$ );
- $V_0$ , é o volume inicial do corpo ( $m^3$ );
- $\gamma$ , é o coeficiente de dilatação volumétrica do material ( $\gamma = 3\alpha$ , onde  $\alpha$ , é o coeficiente de dilatação linear);
- $\Delta T$  é a variação de temperatura ( $^{\circ}C$  ou  $K$ ).

### Exemplo Resolvido

Um recipiente de aço possui volume inicial de  $2,0 \text{ m}^3$  a  $20^\circ\text{C}$ . Sabendo que o coeficiente de dilatação linear do aço é  $\alpha = 1,2 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , determine a variação de volume do recipiente quando a temperatura aumenta para  $120^\circ\text{C}$ .

#### Resolução:

Determinar o coeficiente de dilatação volumétrica:

$$\gamma = 3\alpha$$

$$\gamma = 3 \times 1,2 \times 10^{-5}$$

$$\gamma = 3,6 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

Calcular a variação de temperatura:

$$\Delta T = 120 - 20$$

$$\Delta T = 100^\circ\text{C}$$

Aplicar na fórmula da dilatação volumétrica:

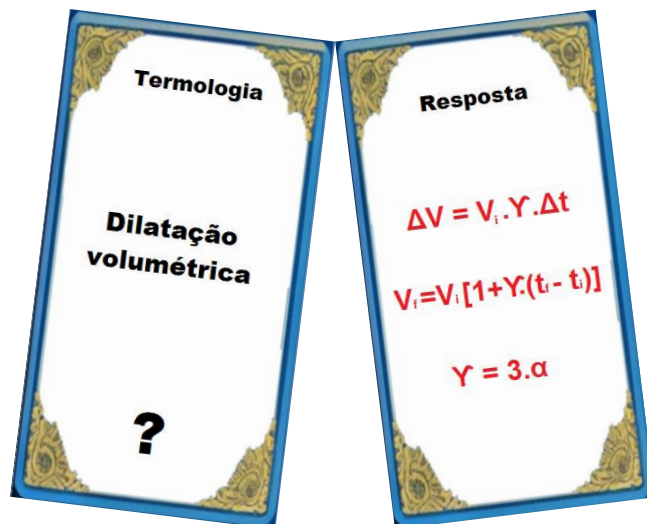
$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

$$\Delta V = 2,0 \times 3,6 \times 10^{-5} \times 100$$

$$\Delta V = 0,0072 \text{ m}^3$$

Assim, a variação de volume do recipiente será de  $0,0072 \text{ m}^3$ .





## Dilatação dos Líquidos

A dilatação térmica dos líquidos ocorre quando sua temperatura aumenta, provocando uma expansão em seu volume. Diferente dos sólidos, os líquidos não possuem uma forma fixa, então sua dilatação ocorre apenas em termos volumétricos, sendo descrita pela **dilatação volumétrica dos líquidos**.

Como os líquidos são armazenados em recipientes, ao aquecê-los, tanto o líquido quanto o recipiente se dilatam. Assim, a variação real do volume do líquido é calculada considerando a dilatação do recipiente que o contém.

### *Fórmula da Dilatação dos Líquidos*

A dilatação volumétrica dos líquidos é dada pela equação:

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

Onde:

- $\Delta V$  = variação do volume do líquido (**m<sup>3</sup> ou cm<sup>3</sup>**)

- $V_0$  = volume inicial do líquido (**m<sup>3</sup> ou cm<sup>3</sup>**)
- $\gamma$  = coeficiente de dilatação volumétrica do líquido ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )
- $\Delta T$  = variação da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$  )

No entanto, como o líquido está em um recipiente, devemos considerar a dilatação do próprio recipiente. Assim, o **volume aparente do líquido** (aquele que parece aumentar sem levar em conta a dilatação do recipiente) é expresso como:

$$\Delta V_a = V_0 \times (\gamma_L - \gamma_S) \times \Delta T$$

Onde:

- $\Delta V_a$  = variação aparente do volume
- $\gamma_L$  = coeficiente de dilatação volumétrica do líquido
- $\gamma_S$  = coeficiente de dilatação volumétrica do material do recipiente

Se  $\gamma_L > \gamma_S$  , o líquido transborda do recipiente ao ser aquecido.

### Variação do Volume Real dos Líquidos

Quando um líquido é aquecido dentro de um recipiente, tanto o líquido quanto o recipiente sofrem dilatação térmica. No entanto, a expansão aparente do líquido (a que observamos diretamente) não representa a dilatação total do líquido, pois parte do seu aumento de volume é acompanhada pelo recipiente.

Para calcular a **variação real do volume do líquido**, utilizamos a seguinte relação:

$$\Delta V_{real} = \Delta V_a + \Delta V_s$$

Onde:

- $\Delta V_{real}$  = variação real do volume do líquido
- $\Delta V_a$  = variação aparente do volume do líquido
- $\Delta V_s$  = variação do volume do recipiente

Sabemos que:

$$\Delta V_a = V_0 \times (\gamma_L - \gamma_S) \times \Delta T$$

$$\Delta V_a = V_0 \cdot \gamma_L \cdot \Delta T$$

Substituindo na equação da variação real:

$$\Delta V_{real} = (V_0 \cdot (\gamma_L - \gamma_S) \cdot \Delta T) + (V_0 \cdot \gamma_S \cdot \Delta T)$$

$\therefore$

$$\Delta V_{real} = V_0 \cdot \gamma_L \cdot \Delta T$$

Ou seja, a **variação real do volume do líquido depende apenas do coeficiente de dilatação volumétrica do líquido e não do material do recipiente.**

### Exercício resolvido

Um recipiente de vidro com capacidade de  $800 \text{ cm}^3$  está completamente preenchido com um líquido cujo coeficiente de dilatação volumétrica é  $\gamma_L = 1,1 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . O vidro possui coeficiente  $\gamma_S = 2,5 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Se a temperatura aumentar de  $15^\circ\text{C}$  para  $65^\circ\text{C}$ , determine:

1. A variação real do volume do líquido.
2. A variação do volume do recipiente.
3. A variação aparente do volume do líquido.

### Solução

#### 1. Cálculo da variação real do volume do líquido:

$$\Delta V_{real} = V_0 \cdot \gamma_L \cdot \Delta T$$

Substituindo os valores:

$$\Delta V_{real} = 800 \cdot (1,1 \times 10^{-3})(65 - 15)$$

$\therefore$

$$\Delta V_{real} = 44 \text{ cm}^3$$

**2. Cálculo da variação do volume do recipiente:**

$$\Delta V_s = V_0 \cdot \gamma_s \cdot \Delta T$$

$$\Delta V_s = 800 \cdot (2,5 \times 10^{-5}) \cdot 50$$

$\therefore$

$$\Delta V_s = 1 \text{ cm}^3$$

**3. Cálculo da variação aparente do volume do líquido:**

$$\Delta V_{real} = \Delta V_a + V_s$$

$$\Delta V_{real} = 44 - 1$$

$$\Delta V_{real} = 43 \text{ cm}^3$$

Portanto:

- O volume real do líquido aumentou em **44 cm<sup>3</sup>**.
- O recipiente expandiu **1 cm<sup>3</sup>**.
- O volume aparente do líquido (que pode transbordar) é de **43 cm<sup>3</sup>**.



## Unidades de Quantidade de Calor

Na Física, a **quantidade de calor** representa a energia térmica transferida entre corpos devido à diferença de temperatura. Para medir essa energia, utilizamos diferentes unidades, sendo as mais comuns **a caloria (cal)** e **o joule (J)**.

### *James Prescott Joule e a Energia Térmica*

O nome "joule" para a unidade de energia é uma homenagem ao físico inglês **James Prescott Joule (1818-1889)**, que realizou experimentos fundamentais para estabelecer a equivalência entre trabalho mecânico e calor. Em seus estudos, Joule mostrou que a energia não é criada nem destruída, mas convertida entre diferentes formas. Essa descoberta foi crucial para a formulação do **Princípio da Conservação da Energia** e para a **Primeira Lei da Termodinâmica**.

### *A Relação entre Caloria e Joule*

A caloria (**cal**) é definida como a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de **1 grama de água de 14,5°C para 15,5°C**, sob pressão atmosférica normal. No entanto, no Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de energia é o **joule (J)**, e foi estabelecida a seguinte equivalência:

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$$

Ou seja, para converter calorias em joules, basta multiplicar por 4,186. Da mesma forma, para converter joules em calorias, basta dividir por 4,186:

$$1 J = \frac{1}{4,186} \approx 0,239 \text{ cal}$$

Essa relação é muito útil para converter medições de calor em experimentos e aplicações práticas.

### Exemplo Resolvido

**Um alimento contém 250 calorias (cal). Qual é a quantidade de energia correspondente em joules?**

**Solução:**

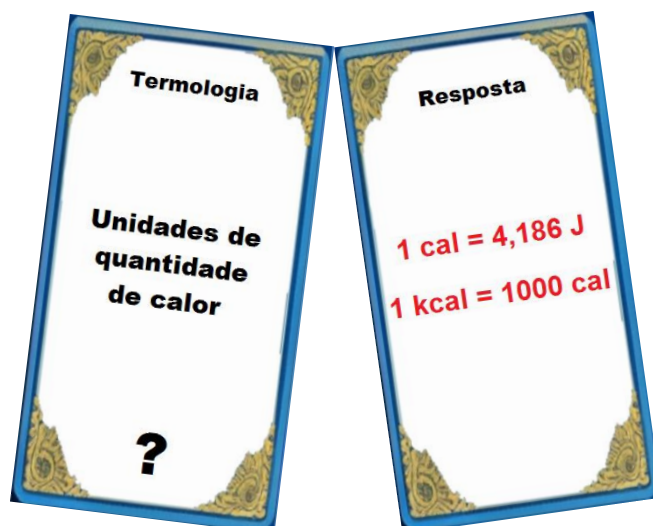
Sabemos que:

$$1 \text{ cal} = 4,186 J$$

Portanto:

$$\begin{aligned} 250 \text{ cal} \times 4,186 J / \text{cal} \\ = 1.046,5 J \end{aligned}$$

**Resposta:** O alimento contém aproximadamente **1046,5 joules de energia**.



## Calor Específico

O **calor específico** de uma substância é a quantidade de calor necessária para **eleva**r a temperatura de **1 grama dessa substância em 1°C**. Esse valor é uma propriedade característica de cada material e depende da sua composição química.

A unidade de calor específico no Sistema Internacional (SI) é **J/(g·°C)** ou **cal/(g·°C)**.

A fórmula que relaciona o calor específico (**c**) com a quantidade de calor (**Q**), a massa (**m**) e a variação de temperatura ( $\Delta T$ ) é:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

**Tabela de Calor Específico de Algumas Substâncias**

Substância	Calor Específico (J/g°C)	Calor Específico (cal/g°C)
Mercúrio	0,14	0,033
Alumínio	0,90	0,215
Cobre	0,39	0,093
Chumbo	0,13	0,031
Prata	0,23	0,055



Ferro	0,45	0,107
Latão	0,38	0,091
Gelo	2,10	0,50
Água	4,18	1,00
Ar	1,00	0,24

A **água** possui um dos maiores valores de calor específico, o que significa que ela demora mais para esquentar e esfriar, sendo um excelente regulador térmico.

### Exemplo Resolvido

Uma peça de ferro com 200g recebe 4500J de calor. Sabendo que o calor específico do ferro é 0,45 J/g°C, qual será sua variação de temperatura?

**Solução:**

Usamos a equação:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Substituímos os valores:

$$4500 = 200 \cdot 0,45 \cdot \Delta T$$

$\therefore$

$$\Delta T = \frac{4500}{90} = 50^{\circ}\text{C}$$

**Resposta:**

A peça de ferro terá um aumento de temperatura de **50°C**.



## Capacidade Térmica dos Corpos

A **capacidade térmica** de um corpo mede a quantidade de calor necessária para provocar uma variação de temperatura em um sistema. Diferente do **calor específico**, que é uma propriedade característica de cada material, a **capacidade térmica** leva em conta a **massa total do corpo**.

Quanto maior a capacidade térmica, mais calor será necessário para provocar uma mesma variação de temperatura. Por exemplo, uma panela grande cheia de água precisa de mais calor para esquentar do que uma xícara com a mesma água.

A capacidade térmica ( $C$ ) é calculada pela fórmula:

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

onde:

- $C$  = capacidade térmica (**J/°C ou cal/°C**);
- $Q$  = quantidade de calor trocado (**J ou cal**);
- $\Delta T$  = variação de temperatura ( $T_f - T_i$ ), em °C.

A relação entre a **capacidade térmica** e o **calor específico** também pode ser expressa como:

$$C = m \cdot c$$

onde:

- $m$  = massa do corpo (g ou kg);
- $c$  = calor específico da substância ( $J/g^{\circ}C$  ou  $cal/g^{\circ}C$ ).

Isso significa que corpos maiores (com mais massa) terão maior capacidade térmica, mesmo que sejam feitos do mesmo material.

### Exemplo Resolvido

**Um objeto recebe 2000 J de calor e sofre uma variação de temperatura de 40°C. Qual é a sua capacidade térmica?**

**Solução:**

Usamos a equação da capacidade térmica:

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

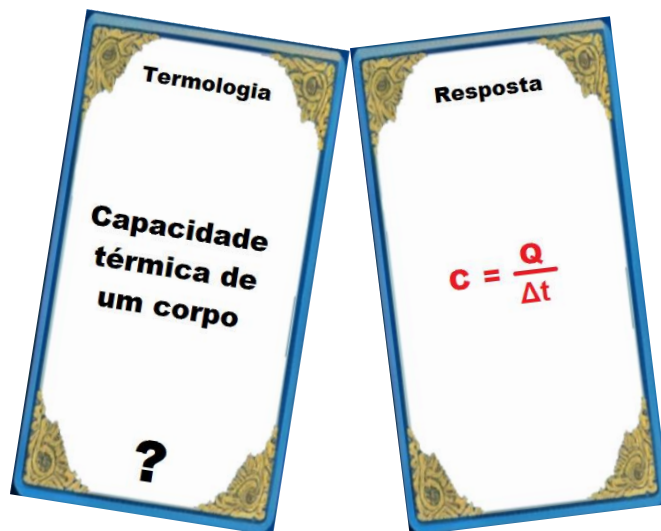
Substituímos os valores:

$$C = \frac{2000}{40}$$

$$C = 50 J/^{\circ}C$$

**Resposta:**

O corpo tem uma capacidade térmica de **50 J/°C**.



## Equação Fundamental da Calorimetria

A **calorimetria** é a parte da Física que estuda as trocas de calor entre corpos ou sistemas. A principal equação usada para calcular a quantidade de calor envolvida nesses processos é chamada de **Equação Fundamental da Calorimetria**.

A quantidade de calor ( $Q$ ) trocada por um corpo ao variar sua temperatura é dada pela fórmula:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

onde:

- $Q$  = quantidade de calor trocado (**J ou cal**);
- $m$  = massa do corpo (**kg ou g**);
- $c$  = calor específico do material (**J/kg°C ou cal/g°C**);
- $\Delta T$  = variação de temperatura ( $T_f - T_i$ ), em °C.

Essa equação mostra que o calor trocado depende diretamente da **massa do corpo**, do **calor específico do material** e da **variação de temperatura**.

### Relação com a Capacidade Térmica

Como a **capacidade térmica** de um corpo é definida como  $C = m \cdot c$  podemos escrever a equação fundamental da calorimetria de outra forma:

$$Q = C \cdot \Delta T$$

Essa forma é útil quando já conhecemos a capacidade térmica do corpo, evitando a necessidade de calcular a massa e o calor específico separadamente.

### Exemplo Resolvido

Um bloco de alumínio de 500 g recebe 4200 J de calor. Sabendo que o calor específico do alumínio é  $0,9 \text{ J/g}^\circ\text{C}$ , determine a variação de temperatura sofrida pelo bloco.

**Solução:**

Usamos a equação fundamental da calorimetria:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Substituímos os valores:

$$4200 = 500 \cdot 0,9 \cdot \Delta T$$

$\therefore$

$$\Delta T = 9,33^\circ\text{C}$$

**Resposta:** O bloco sofreu uma variação de temperatura de  **$9,33^\circ\text{C}$** .



## Princípio da Igualdade das Trocas de Calor

O **princípio da igualdade das trocas de calor** estabelece que, em um sistema isolado, onde não há perda de calor para o meio externo, o calor cedido pelos corpos mais quentes é igual ao calor recebido pelos corpos mais frios até que se atinja o **equilíbrio térmico**.

Matematicamente, podemos representar esse princípio pela seguinte equação:

$$\sum q = 0$$

Ou seja, a soma algébrica das quantidades de calor trocadas pelos corpos em um sistema fechado é igual a zero. Como o calor cedido pelos corpos mais quentes é igual ao calor absorvido pelos corpos mais frios, podemos escrever:

$$Q_{cedido} + Q_{recebido} = 0$$

Substituindo a **Equação Fundamental da Calorimetria**  $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ , temos:

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (T_f - T_1) + m_2 \cdot c_2 \cdot (T_f - T_2) = 0$$

onde:

- $m_1, m_2$  = massas dos corpos em interação (**kg ou g**);
- $c_1, c_2$  = calores específicos dos materiais (**J/kg°C ou cal/g°C**);
- $T_1, T_2$  = temperaturas iniciais dos corpos (**°C**);
- $T_f$  = temperatura final de equilíbrio térmico (**°C**).

Esse princípio é fundamental para entender fenômenos como a **mistura de líquidos com temperaturas diferentes**, o **aquecimento de corpos sólidos em contato térmico** e os **processos de calorimetria em sistemas fechados**.

### Exemplo Resolvido

Uma amostra de 200 g de água a 80°C é misturada com uma amostra de 300 g de água a 20°C. Considerando que o calor específico da água é 1 cal/g°C, determine a temperatura final da mistura.

**Solução:**

Pela equação do equilíbrio térmico:

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (T_f - T_1) + m_2 \cdot c_2 \cdot (T_f - T_2) = 0$$

Substituimos os valores:

$$200 \cdot 1 \cdot (T_f - 80) + 300 \cdot 1 \cdot (T_f - 20) = 0$$

∴



$$T_f = 44^{\circ}\text{C}$$

**Resposta:** A temperatura final da mistura é **44°C**.



## Mudanças de Fase

As **mudanças de fase** ocorrem quando uma substância passa de um estado físico para outro devido à variação de temperatura ou pressão. Os principais estados físicos da matéria são **sólido, líquido e gasoso**, e suas transições são classificadas da seguinte forma:

- **Fusão:** passagem do estado sólido para o líquido.
- **Solidificação:** passagem do estado líquido para o sólido.
- **Vaporização:** passagem do estado líquido para o gasoso. Pode ocorrer de três formas:
  - **Evaporação:** ocorre lentamente à temperatura ambiente.
  - **Ebulição:** ocorre rapidamente em uma temperatura específica.

- **Calefação:** ocorre instantaneamente ao entrar em contato com uma superfície muito quente.
- **Condensação ou liquefação:** passagem do estado gasoso para o líquido.
- **Sublimação:** passagem direta do estado sólido para o gasoso (e vice-versa).

### Exemplo da Água e a Influência da Pureza das Substâncias

A **água pura**, por exemplo, **congela a 0°C e entra em ebulição a 100°C ao nível do mar**. Esse comportamento ocorre porque a água é uma **substância pura**, ou seja, composta apenas por moléculas de  $H_2O$ , apresentando pontos de fusão e ebulição bem definidos.

No entanto, quando temos uma substância **composta por vários elementos**, como o **petróleo** ou uma **liga metálica**, os pontos de fusão e ebulição ocorrem em uma **faixa de temperatura**. Isso acontece porque diferentes componentes têm pontos de fusão distintos, e a transição de fase ocorre gradualmente.

Esse fenômeno pode ser representado graficamente por um **gráfico de aquecimento ou resfriamento**, no qual as mudanças de fase aparecem como trechos de temperatura constante, enquanto o material absorve ou libera calor sem mudar sua temperatura.

### Exemplo Resolvido

Durante uma experiência em laboratório, um estudante observa que um material começa a derreter a 50°C, mas o processo de fusão ocorre de forma gradual ao longo de uma faixa de 50°C a 70°C. O que isso indica sobre a natureza da substância?

#### Resposta:

Como o material não possui um ponto de fusão bem definido, mas sim uma faixa de fusão entre 50°C e 70°C, ele provavelmente é uma **mistura** e não uma substância pura. Isso ocorre porque diferentes componentes da mistura possuem pontos de fusão distintos, fazendo com que a transição de fase ocorra de maneira gradual.



## Tipos de Vaporização: Evaporação e Ebulição

A **vaporização** é o processo pelo qual uma substância passa do estado **líquido** para o **gasoso**. Esse fenômeno pode ocorrer de duas formas principais:

1. **Evaporação** – ocorre de maneira **lenta e espontânea**, sem necessidade de atingir uma temperatura específica.
2. **Ebulição** – ocorre de maneira **rápida e turbulenta**, em uma temperatura determinada chamada de **ponto de ebulição**.

### Evaporação

A **evaporação** acontece **de forma natural** na superfície do líquido e não requer que toda a substância atinja uma temperatura específica para ocorrer. Ela pode acontecer **em qualquer temperatura**, desde que haja partículas com energia suficiente para escapar do líquido.

#### *Características da evaporação:*

- Ocorre na **superfície do líquido**.
- Processo **lento e contínuo**.
- Não precisa atingir um ponto de ebulição.
- A temperatura ambiente influencia a taxa de evaporação.

### **Aplicações industriais:**

- **Secagem de roupas e grãos:** a água evapora gradualmente.
- **Produção de sal:** na extração de sal marinho, a água evapora, deixando o sal.
- **Refrigeração:** em sistemas de refrigeração, a evaporação de um líquido absorve calor e resfria o ambiente.

### **Ebulição**

A **ebulição** é um processo **rápido e turbulento** em que um líquido passa para o estado gasoso **em toda a sua massa** ao atingir a **temperatura de ebulição**. Durante esse processo, formam-se bolhas no interior do líquido, que sobem à superfície e liberam o gás.

### **Características da ebulição:**

- Ocorre em **toda a extensão do líquido**.
- Processo **rápido e intenso**.
- Ocorre em uma temperatura específica chamada de **ponto de ebulição**.

### **Aplicações industriais:**

- **Destilação de líquidos:** separação de componentes de misturas líquidas, como no refino do petróleo.
- **Geração de energia térmica:** em usinas termelétricas, a água é fervida para gerar vapor que movimenta turbinas.
- **Cozimento de alimentos:** a água ferve e cozinha os alimentos rapidamente.

### **Exemplo Resolvido**

Em um dia quente, uma poça d'água no asfalto desaparece após algumas horas, sem sinais de fervura. Qual é o processo responsável por essa mudança de fase?

#### **Resposta:**

O desaparecimento da poça d'água ocorreu por **evaporação**. Esse processo acontece lentamente na superfície do líquido, sem necessidade de atingir o ponto de ebulição. A temperatura do ambiente e a ação do vento aceleram a evaporação, fazendo com que a água passe gradualmente para o estado gasoso.



## Calor Latente

O **calor latente** é a quantidade de calor necessária para que uma substância mude de estado físico **sem alterar sua temperatura**. Durante a mudança de fase, toda a energia recebida ou cedida é usada **para romper ou formar ligações entre as moléculas**, sem influenciar diretamente na temperatura da substância.

### *Tipos de Calor Latente*

O calor latente pode ser classificado de acordo com a mudança de estado:

- **Calor latente de fusão ( $L_f$ ):** Quantidade de calor necessária para transformar **1 kg de uma substância do estado sólido para o líquido** na sua temperatura de fusão.
- **Calor latente de vaporização ( $L_v$ ):** Quantidade de calor necessária para transformar **1 kg de uma substância do estado líquido para o gasoso** na sua temperatura de ebulição.
- **Calor latente de solidificação:** Oposto ao calor latente de fusão, é o calor liberado quando uma substância passa do líquido para o sólido.
- **Calor latente de condensação:** Oposto ao calor latente de vaporização, é o calor liberado quando uma substância passa do gasoso para o líquido.

## Fórmula do Calor Latente

O calor necessário para uma mudança de fase pode ser determinado pela equação:

$$Q = m \cdot L$$

Onde:

- $Q$  = quantidade de calor (**Joules – J**)
- $m$  = massa da substância (**kg**)
- $L$  = calor latente da substância (**J/kg**)

Cada substância tem um valor específico de calor latente, que depende do tipo de mudança de fase.

### Exemplo Resolvido

Qual a quantidade de calor necessária para transformar **500 g de gelo** a 0°C em água líquida na mesma temperatura? Dado: **calor latente de fusão da água = 334 J/g**.

**Resolução:**

Como não existem valores a serem convertidos, usamos a fórmula do calor latente diretamente:

$$Q = m \cdot L$$

$$Q = (500 \text{ g}) \times (334 \text{ J/g})$$

$\therefore$

$$Q = 167000 \text{ J} = 167 \text{ kJ}$$

**Resposta:**

São necessários **167 kJ** para transformar 500 g de gelo em água líquida sem mudar a temperatura.



## Curvas de Aquecimento e Resfriamento das Substâncias

As **curvas de aquecimento e resfriamento** representam graficamente como a temperatura de uma substância varia ao longo do tempo quando recebe ou perde calor. Esses gráficos são essenciais para entender as transições de fase e os pontos em que ocorrem mudanças de estado físico, como fusão e vaporização.

### Curva de Aquecimento

No **aquecimento**, a substância recebe calor e pode estar em um dos seguintes estágios:

1. **Aquecimento no estado sólido:** A temperatura aumenta enquanto a substância está completamente no estado sólido.
2. **Fusão (sólido → líquido):** A temperatura se mantém **constante** enquanto o calor é usado para quebrar as ligações entre as moléculas do sólido.
3. **Aquecimento no estado líquido:** A temperatura volta a subir.
4. **Vaporização (líquido → gás):** A temperatura se mantém **constante** até toda a substância se transformar em gás.



5. **Aquecimento no estado gasoso:** O gás continua absorvendo calor e aumentando sua temperatura.

### Curva de Resfriamento

No **resfriamento**, o processo ocorre de forma inversa:

1. **Resfriamento no estado gasoso:** A temperatura do gás diminui.
2. **Condensação (gás → líquido):** A temperatura **permanece constante** enquanto ocorre a passagem para o estado líquido.
3. **Resfriamento no estado líquido:** A temperatura do líquido diminui.
4. **Solidificação (líquido → sólido):** A temperatura **permanece constante** até toda a substância se tornar sólida.
5. **Resfriamento no estado sólido:** A temperatura do sólido continua diminuindo.

### Exemplo com a Água

A **água pura** apresenta patamares bem definidos em sua curva de aquecimento e resfriamento:

- **Ponto de fusão:** 0°C (água sólida → líquida)
- **Ponto de ebulição:** 100°C (água líquida → vapor)

Já **outras substâncias** podem apresentar pontos de fusão e ebulição **diferentes**. Por exemplo:

- O **mercúrio** se funde a -39°C e ferve a 357°C.
- O **etanol** se funde a -114°C e ferve a 78°C.
- O **ferro** se funde a 1538°C e ferve a 2862°C.

Isso significa que diferentes substâncias **precisam de quantidades diferentes de calor** para mudar de estado, e isso se reflete nas curvas de aquecimento e resfriamento.

### Exemplo Resolvido

Por que a temperatura da água **não aumenta** enquanto ocorre a fusão do gelo ou a vaporização da água?

### Resposta:

Durante as mudanças de fase, toda a energia recebida é usada **para quebrar ou formar ligações intermoleculares**, sem causar aumento na temperatura. Por isso, nos **patamares da curva de aquecimento e resfriamento**, a temperatura se mantém constante até que toda a substância tenha mudado de estado.



## Diagramas de Fase

Os **diagramas de fase** são representações gráficas que mostram em quais condições de **temperatura** e **pressão** uma substância pode existir nos estados sólido, líquido ou gasoso. Esses gráficos são fundamentais para compreender a transição entre os estados físicos e identificar pontos críticos importantes, como o **ponto triplo** e o **ponto crítico**.

### Interpretação do Diagrama de Fase

No gráfico de um diagrama de fase, temos:

- **Eixo X** → Representa a **temperatura** da substância.

- **Eixo Y** → Representa a **pressão** da substância.

As curvas no gráfico dividem os estados físicos da substância e indicam as condições em que ocorrem as mudanças de fase.

### **Curvas Importantes**

#### **1. Curva de Fusão (Sólido ↔ Líquido)**

- Representa as condições em que ocorre a fusão (sólido → líquido) ou a solidificação (líquido → sólido).
- Quanto maior a pressão, maior pode ser o ponto de fusão.

#### **2. Curva de Vaporização (Líquido ↔ Gás)**

- Indica a transição entre os estados líquido e gasoso.
- A temperatura de ebulição aumenta conforme a pressão aumenta.

#### **3. Curva de Sublimação (Sólido ↔ Gás)**

- Representa a passagem direta do estado sólido para o gasoso (sublimação) ou o inverso (deposição).

Exemplo: O gelo seco ( $\text{CO}_2$  sólido) sofre sublimação à pressão ambiente.

### **Pontos Notáveis no Diagrama**

#### **1. Ponto Triplo**

- Indica a temperatura e a pressão onde os três estados físicos **coexistem em equilíbrio**.

Exemplo: Para a água, o ponto triplo ocorre a **0,01°C e 0,006 atm**.

#### **2. Ponto Crítico**

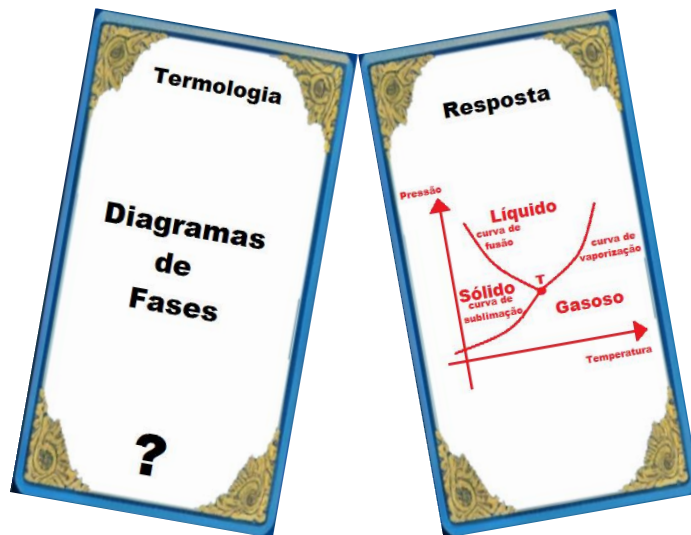
- Representa a temperatura e a pressão acima das quais a substância não pode mais existir no estado líquido, independentemente da pressão aplicada.
- Acima do ponto crítico, o fluido entra no estado de **fluido supercrítico**, uma fase que mistura características de líquido e gás.

### **Exemplo Resolvido**

Por que o gelo pode sublimar diretamente sem passar pelo estado líquido?

**Resposta:**

A sublimação ocorre porque, em **baixas pressões**, a curva de fusão pode não ser alcançada antes da substância atingir a curva de vaporização. Isso acontece, por exemplo, com o **gelo seco**, que sublima à temperatura ambiente sem se tornar líquido.



## Transmissão de Calor

O calor pode ser transferido de um corpo para outro por três mecanismos principais: **condução, convecção e irradiação**. Cada um desses processos ocorre de forma distinta e é fundamental para o entendimento da termodinâmica e de fenômenos naturais, além de ser amplamente aplicado em diversas áreas da engenharia e da ciência.

### 1. Condução Térmica

A **condução** é o mecanismo de transmissão de calor que ocorre através do contato direto entre partículas de um corpo ou entre diferentes corpos sólidos. O calor se propaga sem que haja transporte de matéria, apenas por meio da agitação térmica das moléculas.

- Ocorre principalmente em **sólidos**, especialmente em metais, pois possuem elétrons livres que facilitam a transmissão do calor.
- **Exemplo:** Uma colher metálica aquecida quando colocada em um copo de café quente.

A equação que governa a condução térmica é a **Lei de Fourier**:

$$Q = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{L} \cdot t$$

Onde:

- $Q$  = quantidade de calor transferida (**Joules**)
- $k$  = coeficiente de condutividade térmica do material ( $W/m \cdot K$ )
- $A$  = área da superfície de contato ( $m^2$ )
- $\Delta T$  = variação de temperatura (**K ou °C**)
- $L$  = espessura do material (**m**)
- $t$  = tempo de transferência de calor (**s**)

## 2. Convecção Térmica

A **convecção** ocorre quando o calor é transferido por meio do **movimento de fluidos** (líquidos ou gases). Esse movimento acontece devido à diferença de densidade causada pelo aquecimento, resultando em **correntes de convecção**.

- Ocorre principalmente em **líquidos e gases**.
- **Exemplo:** O aquecimento da água em uma panela no fogão, onde as camadas quentes sobem e as frias descem.

A convecção pode ser de dois tipos:

- **Convecção natural:** O próprio fluido se movimenta devido às diferenças de temperatura. Exemplo: circulação do ar em um ambiente.
- **Convecção forçada:** O movimento do fluido é induzido por um ventilador ou bomba. Exemplo: ar-condicionado.

A equação aproximada da convecção térmica é dada por:

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T$$

Onde:

- $Q$  = quantidade de calor transferida (J)
- $h$  = coeficiente de transferência de calor ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )
- $A$  = área de contato do fluido com a superfície ( $\text{m}^2$ )
- $\Delta T$  = variação de temperatura (K ou  $^{\circ}\text{C}$ )

### 3. Irradiação Térmica

A **irradiação** é o processo de transmissão de calor através de **ondas eletromagnéticas** (radiação infravermelha), sem necessidade de um meio material.

- Ocorre principalmente no **vácuo e em gases transparentes**.
- **Exemplo:** O calor do Sol chegando à Terra.

A equação que rege a irradiação térmica é a **Lei de Stefan-Boltzmann**:

$$Q = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Onde:

- $Q$  = quantidade de calor irradiado (J)
- $\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} \text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$ )
- $A$  = área da superfície emissora ( $\text{m}^2$ )
- $T$  = temperatura absoluta da superfície emissora (K)

### Exemplo Resolvido

Qual o principal tipo de transmissão de calor envolvido nos seguintes casos?

1. Um ferro de passar roupa aquecendo um tecido.
2. O vento quente que sentimos ao nos aproximarmos de uma fogueira.
3. O calor do Sol aquecendo a superfície terrestre.

### Resolução:

1. **Condução** – O calor do ferro se propaga diretamente para o tecido.
2. **Convecção** – O ar aquecido se movimenta e transporta calor.
3. **Irradiação** – O calor é transmitido por ondas eletromagnéticas.



## Lei de Boyle-Mariotte

A **Lei de Boyle-Mariotte** é uma das leis fundamentais dos gases e descreve o comportamento de um gás quando submetido a variações de pressão e volume, mantendo a temperatura constante. Ela foi formulada de forma independente por **Robert Boyle** (1662) e **Edme Mariotte** (1676).

Essa lei estabelece que, **para uma quantidade fixa de gás a temperatura constante, o produto da pressão pelo volume é constante**. Isso significa que, se a pressão de um gás aumenta, seu volume diminui, e vice-versa.

### Fórmula da Lei de Boyle-Mariotte

Matematicamente, a relação entre pressão e volume é expressa como:

$$P \cdot V = \text{constante}$$

Ou, ao comparar dois estados diferentes do mesmo gás:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

Onde:

- $P_1$  e  $V_1$  são as pressões iniciais e finais do gás (**em Pascal - Pa, ou atm**);
- $P_2$  e  $V_2$  são os volumes iniciais e finais do gás (**em litros - L ou metros cúbicos - m<sup>3</sup>**).

Essa equação mostra que a pressão e o volume são **inversamente proporcionais**. Isso significa que, se a pressão dobra, o volume se reduz pela metade, desde que a temperatura permaneça constante.

### Exemplo Resolvido

Um gás ocupa um volume de **4,0 L** sob uma pressão de **2,0 atm**. Se a pressão for aumentada para **4,0 atm**, qual será o novo volume do gás? (Considere a temperatura constante).

#### Resolução:

Usamos a equação da Lei de Boyle-Mariotte:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

Substituindo os valores conhecidos:

$$(2,0 \text{ atm}) \times (4,0 \text{ L}) = (4,0 \text{ atm}) \times V_2$$

$$8,0 = 4,0 \times V_2$$

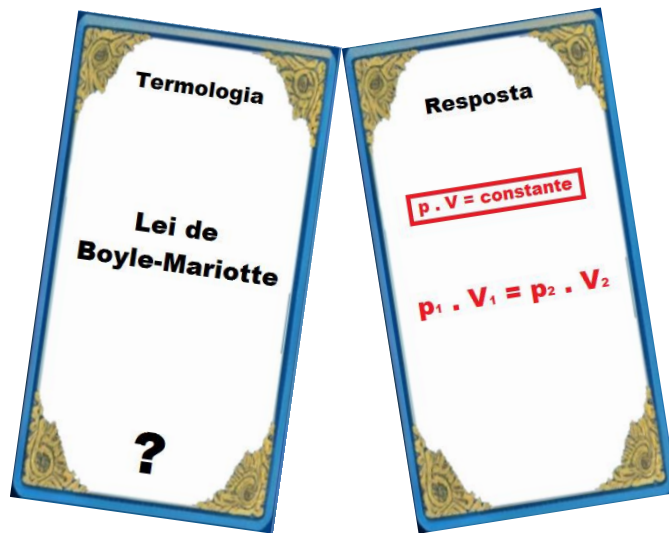
$\therefore$

$$V_2 = 2,0 \text{ L}$$

#### Resposta:

O novo volume do gás será **2,0 L**.





# Lei de Gay-Lussac

A **Lei de Gay-Lussac** descreve a relação entre a **pressão** e a **temperatura absoluta** de um gás, quando seu **volume** e a **quantidade de matéria** são mantidos constantes. Foi formulada pelo cientista francês **Joseph Louis Gay-Lussac**, no início do século XIX.

A lei estabelece que, **para uma determinada massa de gás em volume constante, a pressão é diretamente proporcional à sua temperatura absoluta** (medida em Kelvin).

## Fórmula da Lei de Gay-Lussac

Matematicamente, essa relação é expressa pela equação:

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

Onde:

- $P_1$  e  $P_2$  são as pressões inicial e final do gás (**em Pascal - Pa ou atm**);
- $T_1$  e  $T_2$  são as temperaturas iniciais e finais do gás (**em Kelvin - K**).

Essa equação mostra que a pressão aumenta com a temperatura e diminui quando a temperatura é reduzida, **desde que o volume do gás permaneça constante**.

**Importante:** Para aplicar essa fórmula corretamente, a temperatura deve sempre ser expressa na **escala Kelvin**. Para converter de Celsius para Kelvin, basta somar **273**:

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

## Exemplo Resolvido

Um gás está contido em um recipiente rígido e ocupa um volume fixo.

Inicialmente, sua pressão é de **1,5 atm** a uma temperatura de **27°C**. Se a temperatura aumentar para **127°C**, qual será a nova pressão do gás?

**Resolução:**

**1. Converter as temperaturas para Kelvin:**

$$T_1 = 27 + 273 = 300K$$

$$T_2 = 127 + 273 = 400K$$

**2. Aplicar a equação da Lei de Gay-Lussac:**

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

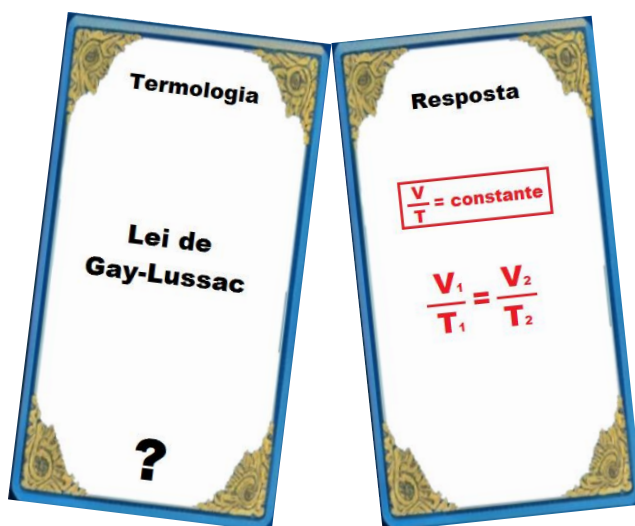
$$\frac{1,5}{300} = \frac{P_2}{400}$$

**3. Resolver para  $P_2$  :**

$$P_2 = \frac{1,5 \times 400}{300} \therefore P_2 = 2,0 \text{ atm}$$

**Resposta:**

A nova pressão do gás será **2,0 atm**.



## Lei de Charles

A **Lei de Charles** estabelece a relação entre o **volume** e a **temperatura absoluta** de um gás quando sua **pressão** e **quantidade de matéria** são mantidas constantes. Essa lei foi formulada pelo cientista francês **Jacques Charles** e posteriormente desenvolvida por **Joseph Louis Gay-Lussac**.

De acordo com essa lei, **o volume de um gás é diretamente proporcional à sua temperatura absoluta (em Kelvin), desde que a pressão permaneça constante.**

### Fórmula da Lei de Charles

Matematicamente, a relação pode ser expressa pela equação:

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

Onde:

- $V_1$  e  $V_2$  são os volumes inicial e final do gás (**em litros ou metros cúbicos**);
- $T_1$  e  $T_2$  são as temperaturas inicial e final do gás (**em Kelvin - K**).

A equação mostra que, **se a temperatura de um gás aumenta, seu volume também aumenta na mesma proporção, e se a temperatura diminui, o volume também diminui**, desde que a pressão seja mantida constante.

**Importante:** A temperatura deve sempre ser expressa na **escala Kelvin** para aplicar corretamente essa lei. A conversão é feita da seguinte forma:

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

### Exemplo Resolvido

Um gás ocupa um volume de **5,0 L** a uma temperatura de **27°C**. Se a temperatura for aumentada para **127°C**, qual será o novo volume do gás, supondo que a pressão permaneça constante?

#### Resolução:

##### 1. Converter as temperaturas para Kelvin:

$$T_1 = 27 + 273 = 300K$$

$$T_2 = 127 + 273 = 400K$$

##### 2. Aplicar a equação da Lei de Charles:

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

$$\frac{5,0}{300} = \frac{V_2}{400}$$

##### 3. Resolver para $V_2$ :

$$V_2 = \frac{5,0 \times 400}{300} \therefore V_2 = 6,66 L$$

**Resposta:** O novo volume do gás será **6,66 L**.



## Número de Avogadro e a Equação de Clapeyron

Para entender a **equação de Clapeyron**, é essencial compreendermos o conceito de **número de Avogadro** e a **molalidade** de um gás.

### Número de Avogadro e Molalidade

O **número de Avogadro** ( $N_A$ ) representa a quantidade de partículas (átomos ou moléculas) contidas em **1 mol** de qualquer substância. Esse valor é uma constante e tem o seguinte valor:

$$N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ partícula/mol}$$

Já a **molalidade** ( $n$ ) indica a quantidade de **mol de gás** em um determinado sistema. Podemos calcular a quantidade de mols de um gás usando a fórmula:

$$n = \frac{m}{M}$$

Onde:

- $n$  = número de mols do gás;
- $m$  = massa do gás (**em gramas**);
- $M$  = massa molar do gás (**em g/mol**).

Essa relação é fundamental para a compreensão das equações dos gases, pois nos permite expressar a quantidade de gás em função de sua massa.

### A Constante Universal dos Gases Perfeitos

A **constante universal dos gases** ( $R$ ) aparece na equação de Clapeyron e tem um valor aproximado de:

$$R = 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

ou, em outra unidade:

$$R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Essa constante nos permite relacionar as variáveis de estado de um gás em um sistema fechado.

### Equação de Clapeyron

A equação de Clapeyron unifica as leis dos gases e expressa a relação entre pressão ( $P$ ), volume ( $V$ ), número de mols ( $n$ ), a constante dos gases ( $R$ ) e temperatura ( $T$ ):

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Essa equação é extremamente útil para calcular qualquer uma dessas grandezas quando conhecemos as outras. Ela é aplicável a **gases ideais** e é uma excelente aproximação para gases reais sob condições normais de temperatura e pressão.

### Exemplo Resolvido

Um recipiente contém **4 mols** de gás ideal a uma temperatura de **300 K** e pressão de **2 atm**. Qual é o volume ocupado pelo gás?

#### Resolução:

Usamos a equação de Clapeyron:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Substituindo os valores fornecidos:

$$(2) \cdot V = (4) \cdot (0,082) \cdot (300)$$

$\therefore$

$$V = 49,2 \text{ L}$$

**Resposta:** O volume do gás será **49,2 litros**.





## Equação Geral dos Gases Perfeitos

A **equação geral dos gases perfeitos** é uma relação que permite estudar a variação das grandezas **pressão** ( $P$ ), **volume** ( $V$ ) e **temperatura** ( $T$ ) de uma certa quantidade fixa de gás ideal. Essa equação é derivada das leis experimentais dos gases e pode ser escrita como:

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

Onde:

- $P_1, V_1, T_1$  = pressão, volume e temperatura inicial do gás, respectivamente;
- $P_2, V_2, T_2$  = pressão, volume e temperatura final do gás, respectivamente.

**Importante:** A temperatura ( $T$ ) deve sempre estar expressa em **Kelvin (K)**.

Essa equação nos permite calcular como um gás se comporta ao sofrer variações de pressão, volume e temperatura, desde que **não haja troca de massa** (ou seja, o número de mols do gás permanece constante).

### Exemplo Resolvido

Um gás ocupa um volume de **10 L** sob uma pressão de **2 atm** e temperatura de **300 K**. Se a temperatura for elevada para **600 K** e a pressão reduzida para **1 atm**, qual será o novo volume do gás?

#### Resolução:

Utilizando a equação geral dos gases perfeitos:

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

Substituindo os valores fornecidos no enunciado:

$$\frac{2 \cdot 10}{300} = \frac{1 \cdot V_2}{600}$$

$\therefore$

$$V_2 = 40L$$

**Resposta:** O novo volume do gás será **40 litros**.



## Trabalho em um Sistema

O **trabalho** em um sistema termodinâmico está relacionado à variação de volume de um gás sob uma determinada pressão. Ele pode ser expresso matematicamente por:

$$\tau = p \cdot \Delta V$$

Onde:

- $\tau$  , é o trabalho realizado pelo sistema (**Joules, J**);
- $P$  , é a pressão do gás (**Pascal, Pa ou atmosfera, atm**);
- $\Delta V$  é a variação de volume ( $m^3$  ou  $L$ ).

### Interpretação Gráfica do Trabalho

O trabalho pode ser visualizado graficamente em um **gráfico de pressão ( $P$ ) versus volume ( $V$ )**. Nesse gráfico:

- O eixo **y** representa a pressão  $P$  ;

- O eixo **x** representa o volume  $V$ .

O trabalho realizado pelo gás em uma transformação é numericamente **igual à área** sob a curva do gráfico  $P \times V$ . Dependendo da forma dessa área, podemos ter diferentes tipos de trabalho:

1. **Expansão do gás** ( $\Delta > 0$ ): o sistema realiza trabalho positivo sobre o meio externo.
2. **Compressão do gás** ( $\Delta < 0$ ): o meio externo realiza trabalho sobre o sistema, tornando o trabalho negativo.
3. **Volume constante** ( $\Delta = 0$ ): não há trabalho realizado.

Em processos em que, a pressão é constante (**transformação isobárica**), o trabalho é representado por um **retângulo** no gráfico, e sua área pode ser calculada simplesmente pelo produto  $P \cdot \Delta V$ . Já em processos com pressão variável, o trabalho é a área sob a curva da transformação.

### Exemplo Resolvido

Um gás sofre uma **expansão isobárica** a uma pressão constante de **3 atm**. O volume inicial era **2 L**, e o volume final passou para **6 L**. Determine o trabalho realizado pelo gás (considere  $1 \text{ atm} = 101,3 \text{ kPa}$ ).

#### Resolução:

Convertendo a pressão para Pascal:

$$P = 3 \times 101,3 = 303,9 \text{ kPa}$$

Calculando a variação de volume:

$$\Delta V = 6 - 2 = 4 \text{ L}$$

Convertendo litros para metros cúbicos ( $1\text{ L} = 10^{-3}\text{m}^3$ ):

$$\Delta V = 4 \times 10^{-3}\text{m}^3$$

Aplicando a fórmula:

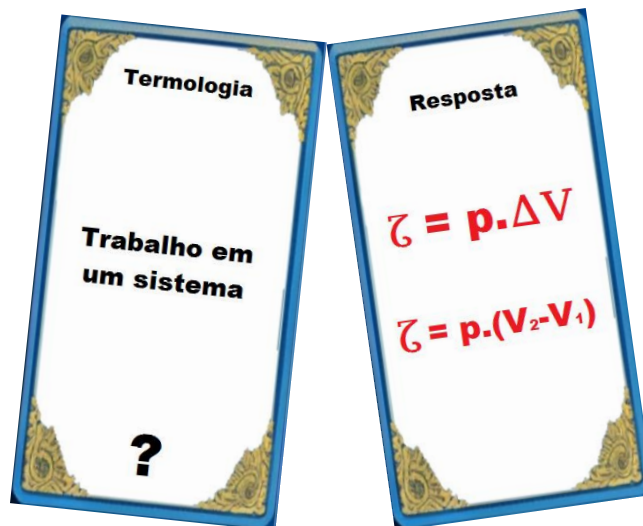
$$\tau = p \cdot \Delta V$$

$$\tau = (303,9 \times 10^3) \times (4 \times 10^{-3})$$

$$\tau = 1215,6\text{ J}$$

**Resposta:**

O trabalho realizado pelo gás foi **1215,6 J**.



## Primeiro princípio da Termodinâmica

A **Primeira Lei da Termodinâmica** é um dos princípios fundamentais da física e estabelece a conservação da energia em sistemas termodinâmicos. Ela afirma que a variação da energia interna de um sistema é igual à quantidade de calor recebida menos o trabalho realizado pelo sistema. Sua expressão matemática é dada por:

$$\Delta U = Q - \tau$$

Onde:

- $\Delta U$  é a variação da energia interna do sistema (Joules, J);
- $Q$ , é o calor trocado pelo sistema (**positivo se o sistema recebe calor, negativo se perde calor**);
- $\tau$ , é o trabalho realizado pelo sistema (**positivo se o sistema realiza trabalho sobre o meio, negativo se recebe trabalho**).

A **energia interna** ( $U$ ) de um sistema está associada à soma das energias microscópicas de suas partículas, como a energia cinética e potencial das moléculas.

No caso de um **gás ideal**, a energia interna depende apenas da temperatura:

$$\Delta U = n \cdot c_v \cdot \Delta T$$

Onde:

- $n$ , é o número de mols do gás;
- $c_v$ , é o calor específico molar a volume constante;
- $\Delta T$  é a variação de temperatura do gás.

## Análise da Primeira Lei da Termodinâmica

A equação  $\Delta U = Q - \tau$  pode ser analisada em diferentes processos termodinâmicos:

### 1. Transformação Isotérmica ( $\Delta T=0$ )

- a. A temperatura não varia, portanto,  $\Delta U=0$ .
- b. Logo,  $Q = \tau$ , ou seja, todo o calor recebido é convertido em trabalho.

### 2. Transformação Isocórica ( $\Delta V=0$ )

- a. Como não há variação de volume,  $\tau = 0$ .

- b. Assim,  $\Delta U = Q$ , ou seja, todo o calor trocado altera a energia interna do gás.

### 3. Transformação Isobárica (P constante)

- a. O calor trocado pode ser expresso como  $Q = n \cdot c_p \cdot \Delta T$ , onde  $c_p$  é o calor específico molar a pressão constante.

### 4. Transformação Adiabática ( $Q=0$ )

- a. Ocorre sem troca de calor com o meio externo.  
b. Nesse caso,  $\Delta U = -\tau$ , ou seja, o trabalho realizado pelo gás reduz sua energia interna.

## Exemplo Resolvido

Um gás ideal recebe **1000 J** de calor de uma fonte térmica enquanto realiza um trabalho de **400 J** sobre o meio externo. Determine a variação da energia interna do gás.

### Resolução:

Usamos a **Primeira Lei da Termodinâmica**:

$$\Delta U = Q - \tau$$

Substituindo os valores:

$$\Delta U = 1000 - 400$$

$$\Delta U = 600 \text{ J}$$

**Resposta:** A energia interna do gás aumentou em **600 J**.



## Segundo princípio da Termodinâmica

A **Segunda Lei da Termodinâmica** estabelece limites fundamentais para a conversão de calor em trabalho e define a direção dos processos naturais. Um dos principais enunciados dessa lei é o de **Kelvin-Planck**, que afirma:

*"É impossível construir uma máquina térmica que, operando em um ciclo, converta toda a energia térmica recebida em trabalho, sem dissipação de calor para um reservatório térmico de menor temperatura."*

Isso significa que **nenhuma máquina térmica pode ter 100% de eficiência**, pois sempre há uma parcela de energia que não pode ser transformada em trabalho útil.

### Trabalho e Eficiência das Máquinas Térmicas

Uma **máquina térmica** funciona através da troca de calor entre duas fontes térmicas:

- Um **reservatório quente** ( $Q_1$ ): fonte de alta temperatura;
- Um **reservatório frio** ( $Q_2$ ): onde parte do calor é rejeitado.

O trabalho ( $\tau$ ) realizado pela máquina é dado pela diferença entre os calores trocados:



$$\tau = Q_1 - Q_2$$

E o **rendimento** ( $\eta$ ) da máquina térmica, que representa a fração do calor convertido em trabalho, é definido por:

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Onde:

- $Q_1$ , é o calor absorvido da fonte quente;
- $Q_2$ , é o calor rejeitado para a fonte fria;
- $\eta$ , é o rendimento da máquina térmica (**valor entre 0 e 1 ou expresso em porcentagem**).

Se  $Q_2 = 0$ , a máquina teria rendimento **100%**, mas isso violaria a Segunda Lei da Termodinâmica. Na prática, sempre há dissipação de calor para o ambiente.

### Exemplo Resolvido

Uma máquina térmica recebe **5000 J** de calor da fonte quente e rejeita **2000 J** para a fonte fria. Determine:

- O trabalho realizado pela máquina.
- O rendimento da máquina térmica.

**Resolução:**

- O trabalho é dado por:

$$\tau = Q_1 - Q_2$$

$$\tau = 5000 - 2000$$

$$\tau = 3000 \text{ J}$$

b) O rendimento é calculado como:

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

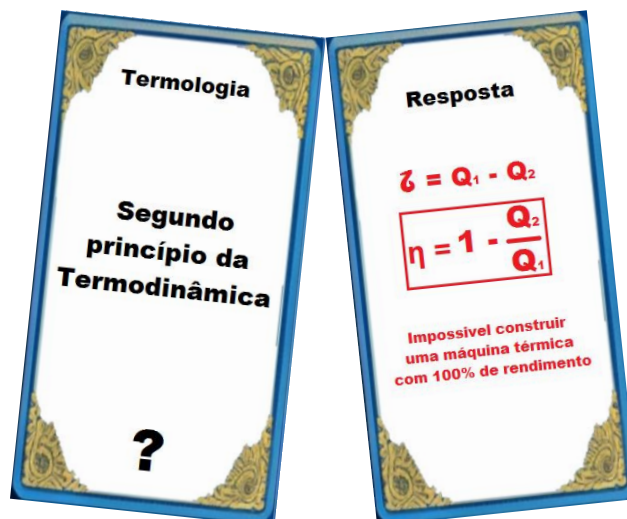
$$\eta = 1 - \frac{2000}{5000}$$

$\therefore$

$$\eta = 0.6 \text{ ou } 60\%$$

**Resposta:**

- O trabalho realizado pela máquina é **3000 J**.
- O rendimento da máquina térmica é **60%**.



## Ciclo de Carnot

O **Ciclo de Carnot** é um modelo teórico idealizado para uma máquina térmica que opera com o máximo rendimento possível entre duas temperaturas, sem dissipação de energia. Ele foi proposto pelo físico **Sadi Carnot** em 1824 e é composto por **quatro transformações termodinâmicas reversíveis**:

1. **Expansão isotérmica:** A máquina recebe calor da fonte quente ( $Q_1$ ) à temperatura  $T_1$  e expande, realizando trabalho.
2. **Expansão adiabática:** A máquina continua expandindo sem troca de calor, reduzindo sua temperatura para  $T_2$ .
3. **Compressão isotérmica:** A máquina rejeita calor para a fonte fria ( $Q_2$ ) temperatura  $T_2$ , reduzindo seu volume.
4. **Compressão adiabática:** O gás é comprimido sem troca de calor, retornando ao estado inicial.

Como o **Ciclo de Carnot** é **reversível**, ele representa o **limite superior de eficiência para qualquer máquina térmica**. Nenhuma máquina operando entre as mesmas temperaturas pode ter um rendimento superior ao da máquina de Carnot.

### Fórmula do Rendimento Máximo

O rendimento do Ciclo de Carnot depende apenas das temperaturas dos reservatórios quentes ( $T_1$ ) e frio ( $T_2$ ) e é dado por:

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Onde:

- $T_1$ , é a temperatura da fonte quente (em Kelvin).
- $T_2$ , é a temperatura da fonte fria (em Kelvin).
- $\eta_{Carnot}$ , é o rendimento máximo possível para uma máquina operando entre essas temperaturas.

Isso significa que, quanto maior a diferença entre  $T_1$  e  $T_2$ , maior será o rendimento da máquina térmica. Se  $T_2$  for igual a zero Kelvin, o rendimento seria **100%**, mas isso é impossível na prática, pois violaria a Segunda Lei da Termodinâmica.

Outra relação importante do Ciclo de Carnot é:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Essa equação mostra que a razão entre os calores trocados é igual à razão entre as temperaturas absolutas dos reservatórios.

### Exemplo Resolvido

Uma máquina térmica opera segundo o **Ciclo de Carnot** entre uma fonte quente a **600 K** e uma fonte fria a **300 K**. Determine:

- O rendimento máximo da máquina.
- Se a máquina recebe **2000 J** de calor da fonte quente, qual a quantidade de calor rejeitada para a fonte fria?

#### Resolução:

- O rendimento é calculado por:

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{300}{600}$$

∴

$$\eta_{Carnot} = 0,5 \text{ ou } 50\%$$

- Usando a relação entre os calores trocados e as temperaturas:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{2000}{Q_2} = \frac{600}{300}$$

∴

$$Q_2 = 1000 \text{ J}$$

**Resposta:**

- O rendimento máximo da máquina é **50%**.
- O calor rejeitado para a fonte fria é **1000 J**.



