



Ensino Médio

2025

**Ciências da Natureza
e suas Tecnologias**

Física
2ºANO

Caderno do(a) Estudante- 2º Bimestre



ESCOLA DE FORMAÇÃO
E DESENVOLVIMENTO PROFISSIONAL
E DE EDUCADORES



MINAS
GERAIS

GOVERNO
DIFERENTE
ESTADO
EFICIENTE

Governador do Estado de Minas Gerais

Romeu Zema Neto

Vice-Governador do Estado de Minas Gerais

Mateus Simões de Almeida

Secretário de Estado de Educação

Igor de Alvarenga Oliveira Icassatti Rojas

Secretária Adjunta

Fernanda de Siqueira Neves

Subsecretaria de Desenvolvimento da Educação Básica

Kellen Silva Senra

Superintendente da Escola de Formação e Desenvolvimento Profissional e de Educadores

Graziela Santos Trindade

Diretor da Coordenadoria de Ensino da Escola de Formação e Desenvolvimento Profissional e de Educadores

Tiago Vieira Lima Alves

Produção de Conteúdo

Professores Formadores da Escola de Formação e Desenvolvimento Profissional e de Educadores

Revisão

Professores Formadores da Escola de Formação e Desenvolvimento Profissional e de Educadores

Olá, estudante!

Convidamos você a conhecer e utilizar os Cadernos MAPA. Esse material foi elaborado com todo carinho para que você possa realizar atividades interessantes e desafiadoras na sala de aula ou em casa. As atividades propostas estimulam as competências como: organização, empatia, foco, interesse artístico, imaginação criativa, entre outras, para que possa seguir aprendendo e atuando como estudante protagonista. Significa proporcionar uma base sólida para que você mobilize, articule e coloque em prática conhecimentos, valores, atitudes e habilidades importantes na relação com os outros e consigo mesmo(a) para o enfrentamento de desafios, de maneira criativa e construtiva.

Ficou curioso(a) para saber que convite é esse que estamos fazendo para você? Então não perca tempo e comece agora mesmo a realizar essa aventura pedagógica pelas atividades.

Bons estudos!

Sumário

FÍSICA	5
TEMA DE ESTUDO: Calor - como a energia invisível molda nosso mundo.	5
REFERÊNCIAS	15
TEMA DE ESTUDO: Desvendando a Primeira Lei da Termodinâmica: Trabalho, Calor e Energia nos Gases.....	16
REFERÊNCIAS	27
TEMA DE ESTUDO: Transformações Termodinâmicas: Um Estudo Detalhado dos Casos Particulares da 1ª Lei da Termodinâmica.	28
REFERÊNCIAS	33

SEQUÊNCIA DIDÁTICA

REFERÊNCIA

Ensino Médio

ANO DE ESCOLARIDADE

2º Ano

ANO LETIVO

2025

ÁREA DE CONHECIMENTO

Ciências da Natureza e suas Tecnologias

COMPONENTE CURRICULAR

Física

TEMA DE ESTUDO: Calor - como a energia invisível molda nosso mundo.

Caro(a) estudante, neste capítulo, vamos aprofundar o conhecimento sobre Calor, reconhecer como esse tema foi desenvolvido ao longo do tempo e identificar as unidades de medida do Calor.

Evolução do conceito de Calor

Ao longo da história, o conhecimento sobre o Calor se desenvolveu a partir da observação da natureza. Tem-se registro deste estudo sendo feito pelos filósofos gregos da antiguidade, que acreditavam que o calor e o frio eram os responsáveis pela formação do universo.

O desenvolvimento do conceito de Calor, no início do século XVIII, através das análises de Lavoisier e Laplace, foi significativo. Naquela época, acreditava-se que os corpos possuíam um fluido invisível chamado de calórico e este, através do atrito, era passado de um corpo para outro. O calórico descrevia um elemento imponderável (que não tem massa) e que causava o aquecimento dos corpos através de reações químicas e outros fenômenos.

Hoje sabemos que a energia térmica pode ser transferida entre os corpos sem a necessidade de contato ou meio material. A teoria que mais se aproxima da atual sobre o Calor foi divulgada por Benjamin Thompson em 1799, ao pesquisar a perfuração de canhões em uma fábrica na Baviera em que ele percebeu o aumento de temperatura do material perfurado por brocas, associando o Calor ao movimento mecânico.

No entanto, o equivalente mecânico do calor somente foi estabelecido, anos depois, por Julius R. Von Mayer, em 1845. Em 1847, James Joule determinou a quantidade de Trabalho (Energia) necessária para gerar uma quantidade determinada de Calor, através do estudo de gases, conceitos utilizados atualmente. As unidades de medida de Calor mais utilizadas são joule (J), também designada como unidade padrão no SI, e caloria (cal). A correspondência entre essas duas unidades é:

1 cal equivale a, aproximadamente, 4,18 J.

Calor Sensível e Calor Latente

Calor é o fluxo de energia térmica que ocorre quando há uma diferença de temperatura entre dois corpos. Essa transferência de energia ocorre sempre do sistema de maior temperatura para o de menor temperatura.

Quando um corpo de determinada massa recebe uma quantidade de Calor, ocorrem duas situações físicas:

- Chamamos de calor sensível (Q), a quantidade de Calor que provoca a mudança de temperatura do corpo.
- Chamamos de calor latente (L), a quantidade de Calor que provoca a mudança na fase (gás – líquido – sólido) em que o corpo se encontra.

O calor sensível relaciona grandezas como massa, temperatura e calor específico da substância que compõe o corpo. O calor específico (c) determina a quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura de 1g de uma substância em 1 °C. Deste modo, o calor específico dos materiais é constante, como descrito na tabela a seguir:

Imagem 01: Calor sensível

Substância	Calor Específico (cal/g.°C)
Água	1 cal/g.°C
Alumínio	0,22 cal/g.°C
Ar	0,24 cal/g.°C
Areia	0,2 cal/g.°C
Cobre	0,09 cal/g.°C
Ferro	0,11 cal/g.°C
Gelo	0,50 cal/g.°C
Madeira	0,42 cal/g.°C
Vidro	0,16 cal/g.°C

Fonte: Minas Gerais, 2021.

Matematicamente, a quantidade de calor transferida pode ser determinada pelas seguintes expressões:

Matematicamente, a quantidade de calor transferida pode ser determinada pelas seguintes expressões:

Calor Sensível(Q):

$$Q = \underline{m} \cdot \underline{c} \cdot \Delta t$$

Calor Latente(L):

$$Q = \underline{m} \cdot L$$

Q – Calor sensível [cal];

m – Massa [g];

c – Calor específico [cal/g.°C];

Δt – Variação da temperatura [°C]

L – Calor Latente [cal/g].

Curvas de aquecimento

Vamos explorar as curvas de aquecimento.

Já pararam para pensar no que acontece quando aquecemos uma substância, como água ou gelo? As curvas de aquecimento nos ajudam a visualizar e entender esse processo. Elas mostram como a temperatura de uma substância varia à medida que ela recebe calor. Para entendermos as curvas de aquecimento, precisamos usar dois conceitos importantes apreendidos anteriormente: calor sensível e calor latente.

Vamos construir um gráfico para representar uma curva de aquecimento.

No eixo horizontal, teremos a quantidade de calor (Q) e, no eixo vertical, a temperatura (T).

Vamos começar com um exemplo: o aquecimento do gelo até o vapor de água. Inicialmente, temos gelo a uma temperatura abaixo de 0°C. À medida que fornecemos calor, a temperatura do gelo aumenta linearmente até atingir 0°C, o ponto de fusão. Nesse trecho, temos calor sensível. Ao atingir 0°C, a temperatura permanece constante enquanto o gelo se transforma em água líquida. Esse trecho horizontal representa o calor latente de fusão. Em seguida, a temperatura da água líquida aumenta linearmente até atingir 100°C, o ponto de ebulição. Novamente, temos calor sensível. Ao atingir 100°C, a temperatura permanece constante enquanto a água líquida se transforma em vapor. Esse trecho horizontal representa o calor latente de vaporização. Finalmente, a temperatura do vapor aumenta linearmente à medida que continuamos fornecendo calor, representando novamente calor sensível.

Observem que as curvas variam dependendo das propriedades físicas de cada substância, como ponto de fusão, ponto de ebulição, calor específico e calor latente.

Vamos construir uma curva de aquecimento para a situação descrita acima:

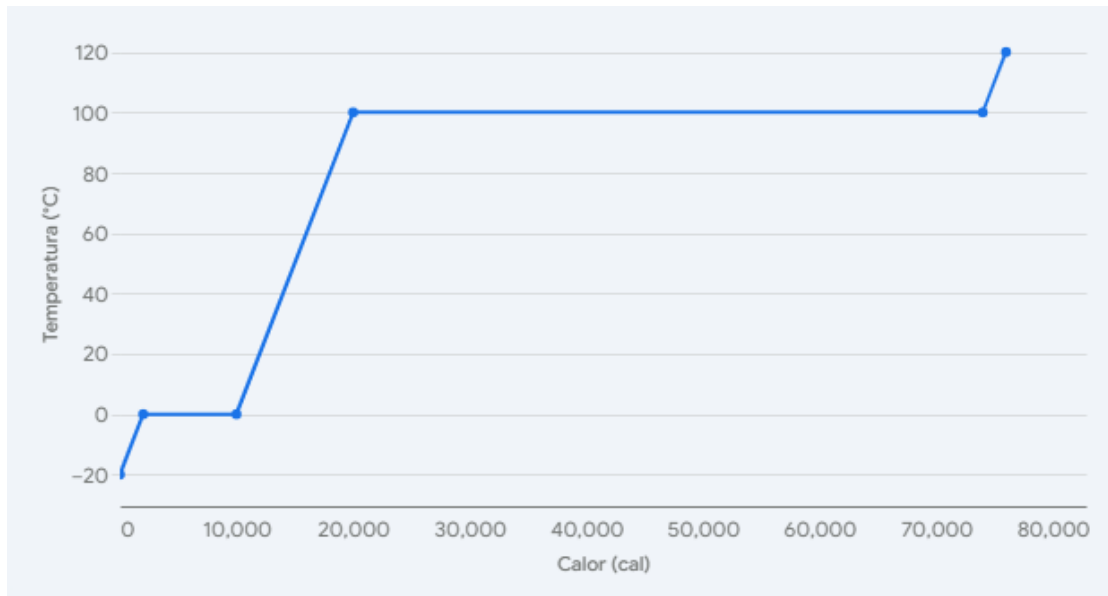
Para construir a curva de aquecimento da água, vamos precisar de algumas informações adicionais, como a massa da água e a potência da fonte de calor. Com esses dados, é possível calcular a quantidade de calor fornecida em cada etapa do processo e, conseqüentemente, a variação da temperatura.

Vou assumir alguns valores para fins de cálculo:

- Massa da água: 100g
- Temperatura inicial da água: -20°C (gelo)
- Temperatura final do vapor: 120°C (vapor)
- Calor específico do gelo: $0,5 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$
- Calor latente de fusão do gelo: 80 cal/g .
- Calor específico da água: $1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$
- Calor latente de vaporização: 540 cal/g .
- Calor sensível do vapor: $0,5 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$

Etapas	$\Delta t = t_f - t_i (^{\circ}\text{C})$	Processo físico	Equação	Calor-Q (Cal)
1	$0 - (-20) = 20$	C. Sensível	$Q = m.c.\Delta t$	$100.0,5.20 = 1000$
2	0	C. Latente	$Q = m.L$	$100.80 = 8000$ $8000 + 1000 = 9000$
3	$100 - 0 = 100$	C. Sensível	$Q = m.c.\Delta t$	$100.1.100 = 10000$ $10000 + 9000 = 19000$
4	0	C. Latente	$Q = m.L$	$100.540 = 54000$ $54000 + 19000 = 73000$
5	$120 - 100$	C. Sensível	$Q = m.c.\Delta t$	$100.0,5.20 = 1000$ $1000 + 73000 = 74000$
Total				74000

Imagem 01: Curva de aquecimento da água.



Fonte: Arnaut, através da IA Gemini, 2025.

O gráfico mostra a variação da temperatura da água em função da quantidade de calor fornecida. Os pontos no gráfico representam as seguintes etapas:

1. Aquecimento do gelo de -20°C a 0°C (calor sensível)
2. Fusão do gelo a 0°C (calor latente de fusão)
3. Aquecimento da água líquida de 0°C a 100°C (calor sensível)
4. Vaporização da água a 100°C (calor latente de vaporização)
5. Aquecimento do vapor de água de 100°C a 120°C (calor sensível)

Observe que a temperatura permanece constante durante as mudanças de estado (fusão e vaporização), pois o calor fornecido é utilizado para romper as ligações entre as moléculas, e não para aumentar a temperatura.

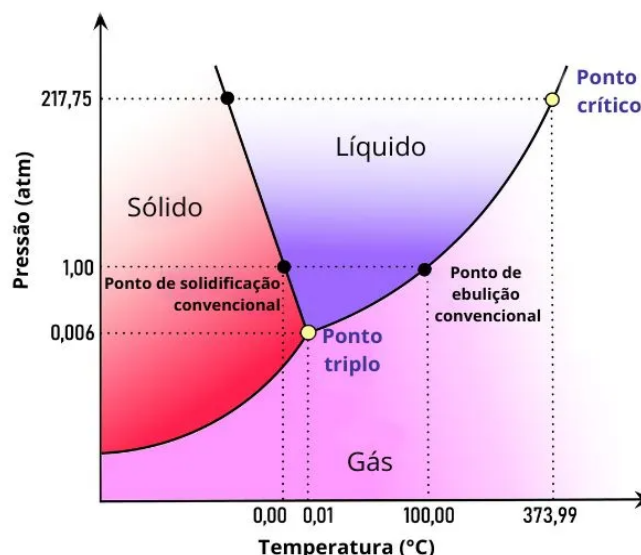
Diagramas de fase

Um diagrama de fases é uma representação gráfica das condições de temperatura e pressão sob as quais uma substância existe em diferentes estados físicos (sólido, líquido ou gasoso). Ele serve como um mapa que nos permite prever o estado de uma substância em determinadas condições.

Significado das Linhas:

As linhas em um diagrama de fases representam as condições de equilíbrio entre duas fases. Cada linha indica os pontos em que duas fases coexistem em equilíbrio dinâmico. Veja a imagem a seguir:

Imagem 02: Diagrama de fases.



Fonte: Novais, 2025.

As principais linhas são:

- **Linha de Fusão/Solidificação:** Separa as fases sólida e líquida. A esquerda da linha, a substância está no estado sólido; a direita, no estado líquido.
- **Linha de Vaporização/Condensação:** Separa as fases líquida e gasosa. Abaixo da linha, a substância está no estado líquido; acima, no estado gasoso.
- **Linha de Sublimação/Deposição:** Separa as fases sólida e gasosa. A esquerda da linha, a substância está no estado sólido; a direita, no estado gasoso.
- **Ponto Triplo:** O ponto onde as três linhas se encontram, representando as condições em que as três fases (sólida, líquida e gasosa) coexistem em equilíbrio.
- **Ponto Crítico:** O ponto final da linha de vaporização/condensação, acima do qual não há distinção entre as fases líquida e gasosa, formando um fluido supercrítico.

Influência da Pressão na Temperatura de Ebulição:

A pressão tem um impacto significativo na temperatura de ebulição de uma substância. A temperatura de ebulição é definida como a temperatura na qual a pressão de vapor de um líquido se iguala à pressão ambiente.

- **Aumento da Pressão:** Ao aumentar a pressão ambiente, é necessário fornecer mais energia (aumentar a temperatura) para que a pressão de vapor do líquido se iguale à pressão ambiente e a ebulição ocorra. Portanto, a temperatura de ebulição aumenta com o aumento da pressão.

Exemplo: A dentro de uma panela de pressão, ao ser aquecida, ocorre o aumento da temperatura do ambiente, o que provoca um aumento da pressão.

- **Diminuição da Pressão:** Por outro lado, ao diminuir a pressão ambiente, a pressão de vapor do líquido precisa ser menor para que a ebulição ocorra. Logo, a temperatura de ebulição diminui com a diminuição da pressão.

Exemplo: A água ferve a 100°C ao nível do mar (pressão de 1 atm). No entanto, em altitudes

elevadas, onde a pressão atmosférica é menor, a água ferve a temperaturas mais baixas.

O diagrama de fases é uma ferramenta essencial para entender o comportamento das substâncias sob diferentes condições de temperatura e pressão. A pressão influencia diretamente a temperatura de ebulição, sendo um fator crucial em diversos processos químicos e físicos.

ATIVIDADES

Calor Sensível e Latente

Parte 1: Questões Objetivas

01. Qual das seguintes alternativas define corretamente calor sensível?
 - a) Calor necessário para mudar o estado físico de uma substância.
 - b) Calor necessário para mudar a temperatura de uma substância sem mudar seu estado físico.
 - c) Calor liberado durante uma reação química.
 - d) Calor transferido por radiação.
02. O calor latente está associado a qual dos seguintes processos?
 - a) Aumento da temperatura.
 - b) Diminuição da temperatura.
 - c) Mudança de estado físico.
 - d) Transferência de calor por condução.

Parte 2: Questões Discursivas

01. Explique a diferença entre calor sensível e calor latente, utilizando exemplos do cotidiano para ilustrar cada conceito.
02. Descreva um experimento simples que possa ser realizado para demonstrar a ocorrência de calor latente durante a fusão do gelo.

Parte 3: Problemas Numéricos

01. Calcule a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 500g de água de 20°C para 80°C. (Dado: calor específico da água = 1 cal/g°C)
02. Um bloco de gelo de 200g a 0°C é completamente derretido. Calcule a quantidade de calor latente absorvida durante a fusão. (Dado: calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g)

Parte 4: Análise de Situações-Problema

01. Um estudante coloca uma panela com água no fogão e observa que a temperatura da água aumenta gradualmente até atingir 100°C, quando começa a ferver. Explique o que está acontecendo em termos de calor sensível e calor latente durante esse processo.
02. Uma pessoa sai de um banho quente e sente frio, mesmo que a temperatura do ambiente esteja agradável. Explique esse fenômeno em termos de calor latente de vaporização.

Curvas de aquecimento

Parte 1: Questões Objetivas

01. O que é uma curva de aquecimento?

- a) Um gráfico que mostra a variação da temperatura de uma substância em função do tempo.
- b) Um gráfico que mostra a variação da massa de uma substância em função da temperatura.
- c) Um gráfico que mostra a variação da temperatura de uma substância em função da quantidade de calor fornecida.
- d) Um gráfico que mostra a variação do volume de uma substância em função da pressão.

02. O que acontece com a temperatura de uma substância durante uma mudança de estado físico?

- a) Aumenta.
- b) Diminui.
- c) Permanece constante.
- d) Varia de forma irregular.

Parte 2: Questões Discursivas

01. Descreva as características de uma curva de aquecimento típica, incluindo os trechos de calor sensível e calor latente.

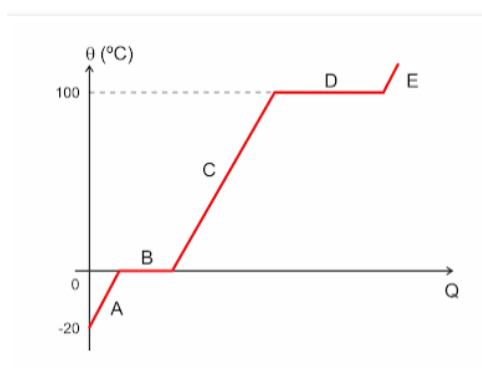
Parte 3: Problemas Numéricos

01. Um bloco de gelo de 50g a -10°C é aquecido até se transformar em vapor de água a 110°C . Calcule a quantidade total de calor fornecida ao gelo, considerando as seguintes informações:

- Calor específico do gelo: $0,5 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$
- Calor latente de fusão do gelo: 80 cal/g
- Calor específico da água: $1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$
- Calor latente de vaporização da água: 540 cal/g
- Calor específico do vapor de água: $0,48 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$

Parte 4: Análise de Situações-Problema

01. Analise a curva de aquecimento a seguir e responda às perguntas:



- Quais são os estados físicos da substância nos pontos A, B, C, D e E?
- Quais trechos da curva representam calor sensível e calor latente?
- O que acontece com a temperatura da substância durante a mudança de estado físico?
- Que tipo de substância poderia ser representada por essa curva de aquecimento?

Diagrama de fases

Parte 1: Questões Objetivas

01. O que é um diagrama de fases?

- Um gráfico que mostra as diferentes fases de uma substância em função da temperatura.
- Um gráfico que mostra as diferentes fases de uma substância em função da pressão.
- Um gráfico que mostra as diferentes fases de uma substância em função da temperatura e da pressão.
- Um gráfico que mostra a variação da energia interna de uma substância em função da temperatura.

02. O que representa o ponto triplo em um diagrama de fases?

- A temperatura e a pressão em que uma substância pode existir nas três fases (sólida, líquida e gasosa) em equilíbrio.
- A temperatura em que uma substância muda do estado sólido para o estado líquido.
- A pressão em que uma substância muda do estado líquido para o estado gasoso.
- A temperatura e a pressão em que uma substância se decompõe.

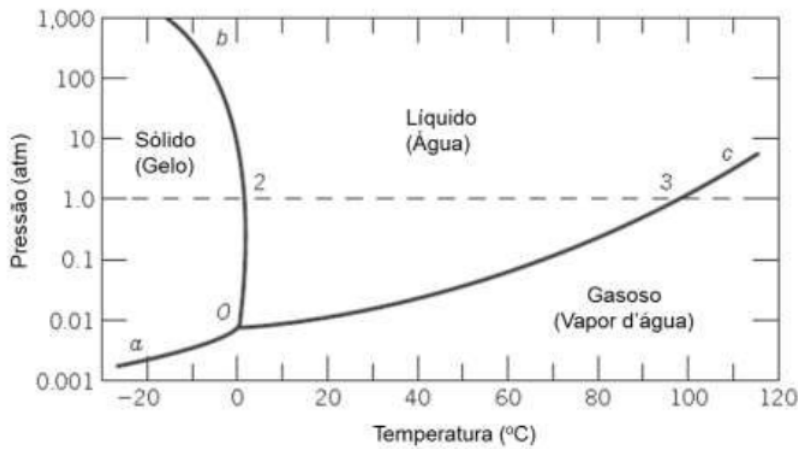
Parte 2: Questões Discursivas

01. Explique o significado das linhas de equilíbrio em um diagrama de fases. O que cada linha representa?

02. Descreva como a pressão influencia a temperatura de ebulição de uma substância, utilizando um diagrama de fases para ilustrar sua resposta.

Parte 3: Problemas Numéricos

01. Determine o estado físico da substância nas seguintes condições:



- a) 0,5 atm e -10°C
- b) 1 atm e 100°C
- c) 0,01 atm e 50°C

Parte 4: Análise de Situações-Problema

01. Um patinador desliza no gelo com facilidade. Explique, utilizando o conceito de diagrama de fases, por que o gelo derrete sob a pressão da lâmina do patim, permitindo o deslizamento.
02. Em uma panela de pressão, a água ferve a uma temperatura mais alta do que em uma panela comum. Explique esse fenômeno utilizando o conceito de diagrama de fases.

REFERÊNCIAS:

- ARNAUT, Júnia de M.R. **Curva de aquecimento da água**. Construído com IA Gêmini. Belo Horizonte, 2025.
- BONJORNO, J. R. **Física: termologia, óptica, ondulatória**. Volume 2, 3a Ed. São Paulo: FTD, 2016.
- GONÇALVES FILHO, A. TOSCANO, C. **Física: interação e tecnologia**. Volume 2, 2a Ed. São Paulo: Leya, 2016.
- HEWITT, Paul G. **Física conceitual**. Tradução Francisco Araújo da Costa. 13.ed. Porto Alegre, RS : Bookman, 2023.
- MÁXIMO, A., ALVARENGA B. **Curso de Física**. Volume 2, 1a Ed. São Paulo: Scipione, 2010.
- MINAS GERAIS. Secretaria do Estado de Educação. **Currículo Referência de Minas Gerais: Ensino Médio**. Escola de Formação e Desenvolvimento Profissional de Educadores de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <https://acervodenoticias.educacao.mg.gov.br/images/documentos/Curr%C3%ADculo%20Refer%C3%Aancia%20do%20Ensino%20M%C3%A9dio.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2025.
- MINAS GERAIS. Secretaria do Estado de Educação. **Plano de Curso: ensino médio**. Escola de Formação e Desenvolvimento Profissional de Educadores de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2024. Disponível em: <https://curriculoreferencia.educacao.mg.gov.br/index.php/plano-de-cursos-crmg>. Acesso em: 19 fev. 2025.
- MINAS GERAIS. Secretaria do Estado de Educação. **Plano de Estudo Tutorado**. 2o ano. Ensino Médio - Ciências da Natureza e suas Tecnologias. 2o bimestre. Escola de Formação e Desenvolvimento Profissional de Educadores de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1MANhPs5oHYD5UtpyrfZogpeZC1AOPBXi/view>. Acesso em: 20 fev. 2025.
- NOVAIS, Stéfano Araújo. Estados físicos da água. *[S.l.s.n]*. 2025. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/estados-fisicos-da-agua.htm>. Acesso em: 21 fev. 2025.

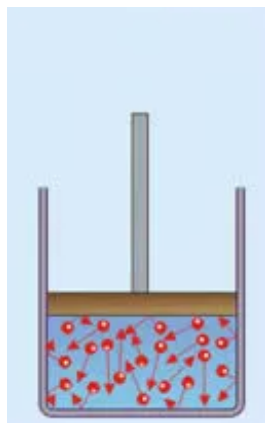
TEMA DE ESTUDO: Desvendando a Primeira Lei da Termodinâmica: Trabalho, Calor e Energia nos Gases

Trabalho(W) realizado por um gás

Estudante, neste capítulo iremos relacionar o trabalho realizado por uma força com o trabalho realizado em uma expansão e compressão gasosa. Você vai compreender, também, que um corpo pode variar a sua temperatura quando troca energia com o meio e/ou quando há realização de trabalho.

Consideremos uma massa de gás ideal confinado em um cilindro com um êmbolo móvel. O gás se encontra em um estado inicial i , com um volume inicial V_i , uma temperatura inicial T_i e uma pressão inicial p .

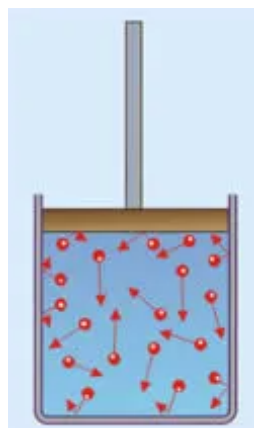
Imagem 01:Cilindro com gás confinado.



Fonte: Adaptado de Souza, 2025.

Devido à pressão, o gás exerce uma força F sobre o êmbolo móvel de área A , empurrando-o, e este se desloca da posição inicial i até a posição final f , percorrendo uma distância d . Ocorreu então uma expansão do gás, cujo volume final passou a ser V_f .

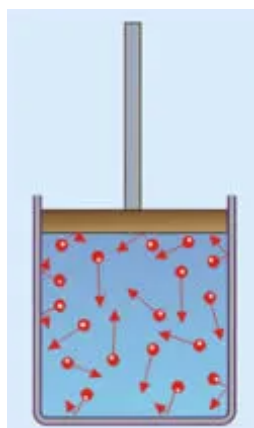
Imagem 02:Cilindro com gás expandido.



Fonte: Adaptado de Souza, 2025.

Se a pressão p do gás permanecer constante, teremos então uma transformação isobárica e a força aplicada no êmbolo será constante durante a expansão tendo mesma direção e mesmo sentido que o deslocamento do êmbolo, conforme o desenho.

Imagem 03: Força durante a expansão.



Fonte: Adaptado de Souza, 2025.

Matematicamente faremos a seguinte relação:

Sabemos que o trabalho W , realizado pela força F é dado pela equação:

$$W = F \cdot d \quad (1),$$

onde F = Força e d = distância percorrida pelo êmbolo.

como:

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

, então:

$$F = p \cdot A \quad (2),$$

onde p = pressão e A = área da base do cilindro.

Substituindo a equação (2) na equação (1), temos:

$$W = p \cdot A \cdot d \quad (3)$$

A última relação matemática será sobre o volume deslocado pelo êmbolo.

Ele é dado por $\Delta V = A \cdot d$. Este volume também pode ser dado por $\Delta V = V_f - V_i$. (4)

Por fim, relacionando as equações 3 e 4, encontramos o trabalho realizado pelo gás ao sofrer uma variação no seu volume, sob pressão constante. Ele é determinado por:

$$W = p \cdot (V_f - V_i) \Rightarrow W = p \cdot \Delta V.$$

As unidades para o cálculo de trabalho no SI (Sistema Internacional de Unidades) são:

- Pressão(p): Pascal (Pa)
- Volume (v): m³
- Trabalho (W): Joule(J)

Exemplo:

Qual o trabalho de um gás que manteve sua pressão de 20.000 Pa quando variou seu volume de 50 m³ para 60 m³?

Resolução:

Calcula-se o trabalho por meio da fórmula do trabalho do gás:

$$W = p \cdot \Delta V$$

$$W = p \cdot (V_f - V_i)$$

$$W = 20.000 \cdot (60 - 50)$$

$$W = 20.000 \cdot (10)$$

$$W = 200.000$$

$$W = 2 \cdot 10^5 \text{ J}$$

O trabalho do gás foi de $2 \cdot 10^5$ Joules.

Importante: Na maioria dos exercícios, é necessário a conversão das unidades de medida da pressão, do volume e da temperatura.

Na pressão, basta multiplicarmos o valor dado em atm por $1,01 \cdot 10^5$ Pa.

Por exemplo, 5 atm são $5,05 \cdot 10^5$ Pa.

Na temperatura, somamos 273 ao valor dado em Celsius.

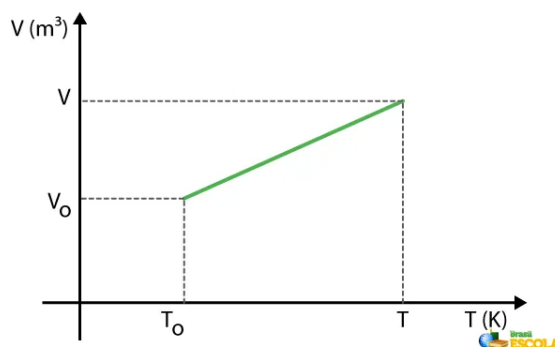
Por exemplo, 100 °C é 373 K.

Já no volume, dividimos o valor dado em litros por mil, já que 1 l é 0,001 m³.

A transformação Isobárica pode ser apresentada através de dois gráficos:

O gráfico V x T demonstra a variação do volume em função da temperatura do gás. Veja o exemplo na imagem a seguir.

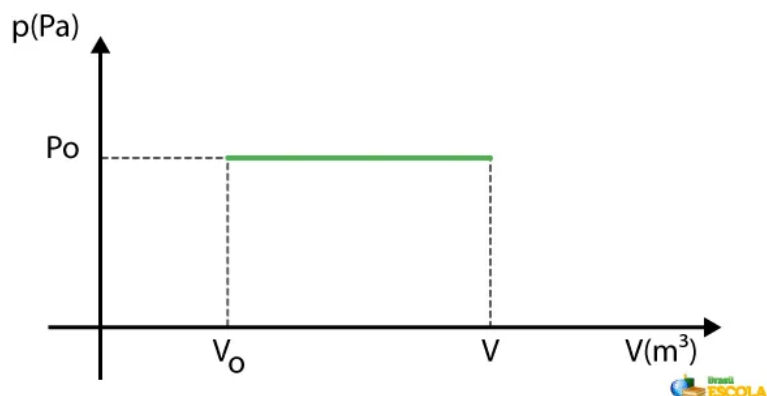
Imagem 04: Gráfico V x T



Fonte: Souza, 2025.

Já no gráfico $p \times V$, é demonstrada a pressão do gás constante na medida em que o seu] volume varia. Veja no exemplo a seguir.

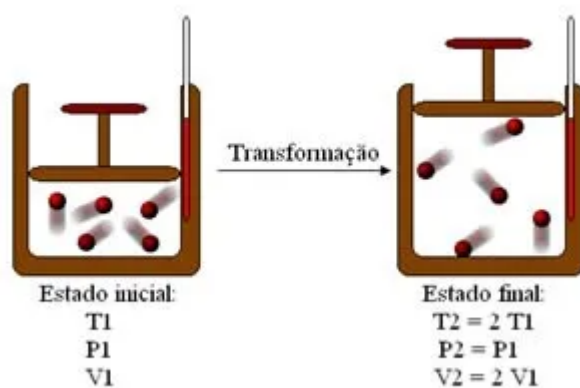
Imagem 05: Gráfico $p \times V$



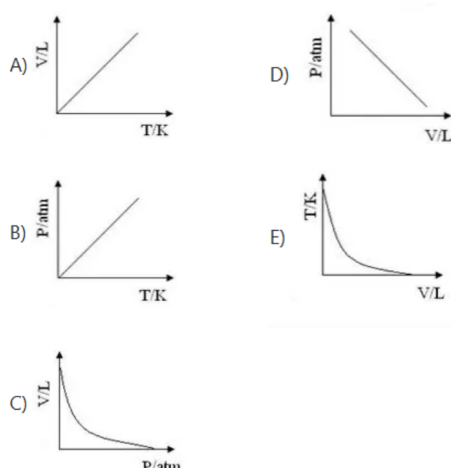
Fonte: Souza, 2025.

Exemplo:

(UFRGS) Considere a seguinte transformação que ocorre com uma amostra gasosa de massa "m" apresentando comportamento de gás ideal.



O gráfico que melhor representa essa transformação é:



Resolução:

Alternativa A

Nessa amostra gasosa, durante a transformação, a imagem diz que o valor da pressão se mantém constante ($P_2 = P_1$), em razão disso, trata-se de uma transformação isobárica. Para essa transformação, o gráfico pode ser dado pela relação entre o volume e a temperatura, correspondendo a uma reta inclinada, ou ser dado pela relação entre a pressão e o volume, correspondendo a uma reta constante.

ATIVIDADES

01. Um gás ideal, inicialmente a uma pressão de 2,0 atm e volume de 5,0 L, sofre uma expansão isobárica até atingir um volume final de 10,0 L.

- Calcule o trabalho realizado pelo gás.
- Represente o processo em um diagrama $P \times V$.

02. Compressão de um Pistão

Um gás contido em um cilindro com um pistão sofre uma compressão isobárica de 20,0 L para 5,0 L. A pressão constante durante o processo é de 5,0 bar. Dados: 1 bar = 100.000Pa.

- Calcule o trabalho realizado sobre o gás.
- Represente o processo em um diagrama $P \times V$.

03. Um gás ideal sofre uma expansão isobárica.

- Como a temperatura do gás se comporta durante esse processo? Explique a relação entre trabalho e temperatura em uma expansão isobárica.
- Esboce o gráfico $V \times T$ para a situação descrita acima.

04. Um sistema contendo água líquida sofre uma vaporização à pressão constante.

- Explique como o trabalho é realizado nesse processo, isto é, se é positivo e expande ou o contrário Justifique sua resposta.

b) De onde vem a energia responsável pela mudança de estado?

05. Um gás ideal sofre uma expansão isobárica à pressão de 2,0 atm. O volume inicial do gás é de 10 litros e o volume final é de 25 litros.

a) Calcule o trabalho realizado pelo gás durante a expansão, em Joules.

b) Se a temperatura inicial do gás era de 300 K, qual será a temperatura final após a expansão?

06. Um cilindro contém 3 mols de um gás ideal. O gás é aquecido a uma pressão constante de $5,0 \times 10^5$ Pa, e seu volume aumenta de $0,02 \text{ m}^3$ para $0,05 \text{ m}^3$.

a) Calcule o trabalho realizado pelo gás, em Joules.

b) Determine a temperatura inicial e final do gás, em Kelvin.

c) Represente o processo em um diagrama PxV.

Variação da Energia Interna(ΔU) do gás

A energia interna (U) de um sistema ou de um corpo está ligada à soma das energias das partículas que constituem esse sistema. Quando um sistema sofre uma transformação indo de um estado inicial i, com uma energia interna U_i , para um estado final f, passa a ter uma energia interna U_f .

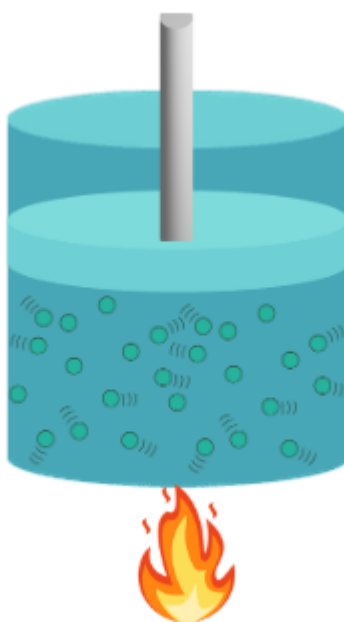
A variação da energia interna do sistema é dada por:

$$\Delta U = U_f - U_i$$

A unidade de energia interna no SI é o joule, cujo símbolo é J.

A imagem a seguir mostra um cilindro com gás em seu interior que está sendo submetido a uma variação de temperatura.

Imagem 01: Variação da energia interna de um gás.



Fonte: Arnaut, 2025.

De acordo com a variação da temperatura do gás, podemos fazer as seguintes observações:

- ⇒ Se a energia interna final é maior que a energia interna inicial ($U_f > U_i$), a variação da energia interna é positiva ($\Delta U > 0$), a temperatura do sistema aumenta.
- ⇒ Se a energia interna final é menor que a energia interna inicial ($U_f < U_i$), a variação da energia interna é negativa ($\Delta U < 0$), a temperatura do sistema diminui.
- ⇒ Em uma transformação isotérmica não há variação da energia interna ($\Delta U = 0$).

Quantidade de calor

Estudante, neste capítulo você irá conhecer a primeira lei da termodinâmica, compreender a relação entre trabalho, energia interna e troca de calor em um gás ideal.

Você já estudou como se calcula a quantidade de calor Q trocada entre dois ou mais corpos para que ocorra variação na temperatura (quantidade de calor sensível) ou para que ocorra a mudança de fase (quantidade de calor latente).

A unidade de quantidade de calor no SI (Sistema Internacional de Unidades) é o joule, cujo símbolo é J.

Em uma transformação gasosa:

- Se o sistema recebe calor do meio externo, a quantidade de calor é positiva ($Q > 0$).
- Se o sistema cede calor para o meio externo, a quantidade de calor é negativa ($Q < 0$).
- Se o sistema não troca calor com o meio externo, a quantidade de calor é igual a zero ($Q = 0$), ocorrendo assim a transformação adiabática.

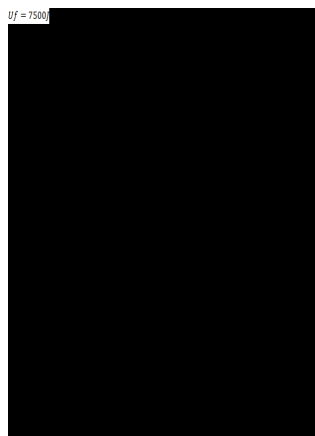
Vamos entender agora, como é a relação entre o Calor absorvido ou cedido por um gás, com a realização de Trabalho e a mudança de Temperatura a que ele está submetido.

1ª Lei da Termodinâmica

A quantidade de energia na forma de calor (Q) trocada entre o sistema e o meio pode ser utilizada para variar a energia interna do sistema (ΔU) e realizar trabalho (W):

$$\Delta Q = \Delta U + W$$

Imagem 2 – 1a Lei da Termodinâmica.



Fonte: Wikimedia Commons, 2022.

O exemplo a seguir pode auxiliar a verificar como esta situação pode acontecer:

Exemplo 1:

Um gás ideal recebe 800 J de energia do meio externo, seu volume aumenta e sua energia interna passa de 7000 J para 7500 J.

- Calcule a variação da energia interna do gás.
- A temperatura do gás aumentou ou diminuiu?
- O gás realizou trabalho sobre o meio ou o meio realizou trabalho sobre o gás? Calcule esse trabalho.

Resolução:

- Extraindo os dados do problema:

$$U_i = 7000J$$

$$U_f = 7500J$$

$$\Delta U = U_f - U_i$$

$$\Delta U = 7500 - 7000$$

$$\Delta U = 500J$$

- Como a energia interna aumentou, a temperatura do gás aumentou.

- Extraindo os dados do problema: $Q = 800J$; $\Delta U = 500J$.

$$Q = \Delta U + W$$

$$W = Q - \Delta U$$

$$W = 800 - 500$$

$$W = 300J$$

Como o trabalho é positivo, o volume aumentou, o gás realizou trabalho sobre o meio.

Exemplo 2:

Um gás ideal absorve 350 J de energia do meio externo e um trabalho de 400 J é realizado sobre ele.

- Calcule a variação da energia interna do gás.
- A temperatura do gás aumentou ou diminuiu?
- O volume do gás aumentou ou diminuiu?

Resolução:

a) Extraindo os dados do problema: $Q = 350\text{J}; W = -400\text{J}$.

(observe que o trabalho nesse caso é negativo)

$$Q = \Delta U - W$$

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = 350 - (-400)$$

$$\Delta U = 350 + 400$$

$$\Delta U = 750\text{J}$$

b) Como a variação da energia interna é positiva, a energia interna aumentou, portanto a temperatura do gás aumentou.

c) Como o meio realizou trabalho sobre o gás, o trabalho é negativo, portanto, o volume do gás diminuiu.

Exemplo 3:

Em uma transformação adiabática, é realizado 600 J de trabalho sobre um gás ideal.

Determine a quantidade de calor trocada entre o gás e o meio.

Determine a variação da energia interna do gás.

A temperatura do gás aumentou ou diminuiu?

O volume do gás aumentou ou diminuiu?

Explique o que acontece nessa transformação gasosa.

Resolução:

a) Como a transformação é adiabática, não há troca de calor entre o gás e o meio, logo $Q = 0$.

b) Extraindo os dados do problema:

$$W = -600\text{J}; Q = 0$$

$$Q = \Delta U + W$$

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = 0 - (-600)$$

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

c) Como a variação da energia interna é positiva, a energia interna aumentou, portanto, a temperatura do gás aumentou.

d) Como o meio realizou trabalho sobre o gás, o trabalho é negativo, portanto, o volume do gás diminuiu.

e) O sistema realizou trabalho sobre o gás, como o gás não perdeu energia na forma de calor para o meio, toda a energia recebida na forma de trabalho foi utilizada para aumentar a energia interna do gás e sua temperatura aumentou.

SAIBA MAIS

Estudante, para saber mais sobre a 1ª Lei da Termodinâmica, sugerimos o vídeo a seguir, que irá definir como um sistema pode receber ou ceder calor ao ambiente e como ocorre a variação da energia interna e a variação do trabalho em um sistema termodinâmico.

A primeira lei da termodinâmica explicada. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=U_2AJc1mcas.



ATIVIDADES

Estudante, agora vamos fazer algumas atividades para fixar nosso aprendizado.

01. Um sistema adiabático é aquele em que:

- a) a temperatura permanece constante.
- b) a temperatura e o volume permanecem constantes.
- c) não há trocas de calor entre o sistema e o meio.
- d) há trocas de calor entre o sistema e o meio.
- e) não realiza trabalho.

02. Considere o caso abaixo e responda: Qual é a transformação sofrida pelo gás ao sair do spray?

As pessoas com asma, geralmente, utilizam broncodilatadores em forma de spray ou mais conhecidos como bombinhas de asma. Esses, por sua vez, precisam ser agitados antes da inalação para que a medicação seja diluída nos gases do aerossol, garantindo sua homogeneidade e uniformidade na hora da aplicação.

Podemos considerar o gás que sai do aerossol como sendo um gás ideal, logo, sofre certa transformação em sua saída.

- a) O gás sofre uma compressão adiabática.
- b) O gás sofre uma expansão adiabática.
- c) O gás sofre uma expansão isotérmica.
- d) O gás sofre uma compressão isotérmica.
- e) O gás sofre uma expansão isovolumétrica.

03. Um sistema contendo uma massa de gás ideal recebe 600 cal de energia, na forma de calor, e realiza um trabalho de 420 J. Sabendo-se que $1,0 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$, qual é, em calorias, sua variação da energia interna?

04. Numa transformação isobárica um gás, sob pressão de 100 N/m^2 , aumentou seu volume de $0,2 \text{ m}^3$ para $0,8 \text{ m}^3$. Durante esse processo o gás recebeu 850 J de calor do ambiente. Determine:

- a) O trabalho realizado pelo gás.
- b) A variação de energia interna do gás.
- c) A temperatura do gás aumentou, diminuiu ou permaneceu constante? Justifique.

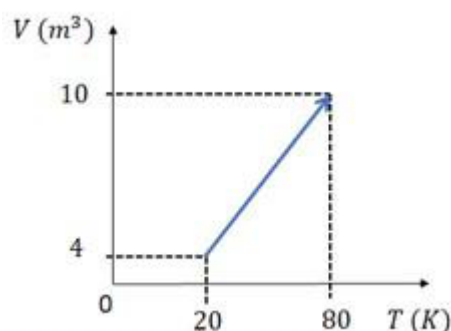
05. Um gás ideal sofre uma transformação adiabática em que o meio externo realiza um trabalho sobre o gás. Podemos afirmar que nessa transformação:

- a) a energia interna do gás diminui.
- b) o calor trocado aumenta.
- c) a pressão do gás diminui.
- d) o volume do gás aumenta.
- e) a temperatura do gás aumenta.

06. (Unimontes) Em uma compressão isotérmica, o trabalho realizado sobre o gás é 800 J . O calor cedido pelo gás no processo e a variação da energia interna, em joules, são iguais, respectivamente, a

- a) $800, 800$.
- b) $800, -800$.
- c) zero, 800 .
- d) $800, \text{zero}$

07. Um gás sofre uma transformação isobárica, mantendo sua pressão em 10 Pa , enquanto o seu volume e temperatura aumentam, conforme o gráfico a seguir.



Considerando que o gás recebe 300 J de calor, calcule a variação de energia interna do gás.

- a) 80 J .
- b) 160 J .
- c) 240 J .
- d) 320 J .
- e) 400 J .

REFERÊNCIAS:

- ARNAUT, Júnia de M. R. Variação da energia interna de um gás. Belo Horizonte. 2025.
- BONJORNO, J. R. **Física: termologia, óptica, ondulatória**. Volume 2, 3a Ed. São Paulo: FTD, 2016.
- GONÇALVES FILHO, A. TOSCANO, C. **Física: interação e tecnologia**. Volume 2, 2a Ed. São Paulo: Leya, 2016.
- HEWITT, Paul G. **Física conceitual**. Tradução Francisco Araújo da Costa. 13.ed. Porto Alegre, RS : Bookman, 2023.
- MÁXIMO, A., ALVARENGA B. **Curso de Física**. Volume 2, 1a Ed. São Paulo: Scipione, 2010.
- MELO, Pâmella Raphaella. Transformação isobárica. [S.l.s.n.]. 2025. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/transformacao-isobarica.htm>. Acesso em: 25 fev. 2025.
- MELO, Pâmella Raphaella. Exercícios sobre primeira lei da termodinâmica. [S.l.s.n.]. 2025 **Exercícios Brasil Escola**. Disponível em: <https://exercicios.brasilecola.uol.com.br/exercicios-fisica/exercicios-sobre-a-primeira-lei-da-termodinamica.htm>. Acesso em: 05 mar. 2025.
- MINAS GERAIS. Secretaria do Estado de Educação. **Plano de Estudo Tutorado**. 2º ano. Ensino Médio - Ciências da Natureza e suas tecnologias.v.3. 3º bimestre. Escola de Formação e Desenvolvimento Profissional de Educadores de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1cMhxvWKWGhTn6_vhzdtm4TVuA1JEefDn/view. Acesso em: 05 mar. 2025.
- MINAS GERAIS. Secretaria do Estado de Educação. **Currículo Referência de Minas Gerais: Ensino Médio**. Escola de Formação e Desenvolvimento Profissional de Educadores de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <https://acervodenoticias.educacao.mg.gov.br/images/documentos/Curr%C3%ADculo%20Refer%C3%AAncia%20do%20Ensino%20M%C3%A9dio.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2025.
- MINAS GERAIS. Secretaria do Estado de Educação. **Plano de Curso: ensino médio**. Escola de Formação e Desenvolvimento Profissional de Educadores de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2024. Disponível em: <https://curriculoreferencia.educacao.mg.gov.br/index.php/plano-de-cursos-crmg>. Acesso em: 05 mar. 2025.
- PRIMEIRA LEI DA Termodinâmica. [S.l.]. 07 nov. 2022. In: **Wikimédia Commons**. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:First_law_of_Thermodynamics.jpg. Acesso em: 05 mar. 2025.
- SOUZA, Líria Alves de. Teoria cinética dos gases. [S.l.s.n.]. 2025. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/teoria-cinetica-dos-gases.htm>. Acesso em: 25 fev. 2025.

TEMA DE ESTUDO: Transformações Termodinâmicas: Um Estudo Detalhado dos Casos Particulares da 1ª Lei da Termodinâmica.

Estudante, neste capítulo, vamos analisar a primeira lei da termodinâmica e identificar os casos particulares que ocorrem nas transformações gasosas. As transformações: adiabática, isovolumétrica e isotérmica. Nelas iremos reconhecer a conservação da energia e resolver problemas envolvendo calor, trabalho e energia interna de um sistema.

Analisando a 1ª Lei da Termodinâmica (Conservação da Energia)

O estudo das transformações gasosas envolve a análise das relações entre pressão, volume e temperatura de um gás, considerando as leis que regem seu comportamento. As transformações isotérmicas, isobáricas e isovolumétricas e adiabáticas são exemplos clássicos de processos em que uma dessas variáveis permanece constante, enquanto as outras se alteram, permitindo a compreensão das propriedades dos gases.

Vejamos como isso ocorre segundo a primeira lei da termodinâmica

$$Q = \Delta U + W$$

(1ª Lei)

Transformação Adiabática:

é aquela em que não há trocas de energia térmica entre o sistema e o meio exterior.

$$Q = 0$$

Logo na equação da 1ª lei $\rightarrow Q = \Delta U + W$

$$0 = \Delta U + W$$

$$\Delta U = -W$$

Observações:

- Em uma expansão adiabática, o gás utiliza sua energia interna para realizar trabalho sobre o meio, reduzindo então sua energia interna. O volume do gás aumenta e sua temperatura diminui.
- Em uma compressão adiabática, o gás recebe trabalho do meio para aumentar sua energia interna. O volume do gás diminui e sua temperatura aumenta.

Transformação Isotérmica:

é aquela em que a temperatura permanece constante durante o processo.

$$\Delta U = 0$$

Logo na equação da 1ª lei $\rightarrow Q = \Delta U + W$

$$Q = 0 + W$$

$$Q = W$$

Observações:

- Em uma expansão isotérmica, o gás utiliza a energia recebida do meio na forma de calor para realizar trabalho. O gás recebe energia e seu volume aumenta.
- Em uma compressão isotérmica, o gás recebe trabalho do meio e libera essa energia na forma de calor. O volume do gás diminui e ele perde energia.

Transformação Isovolumétrica:

é o nome do processo em que um gás ideal sofre mudanças de pressão e temperatura, mantendo-se constante o seu volume.

$$W = 0$$

Logo na equação da 1ª lei $\rightarrow Q = \Delta U + W$

$$Q = \Delta U + 0$$

$$Q = \Delta U$$

Observações:

Em uma transformação isovolumétrica, o gás utiliza a energia trocada com o meio na forma de calor para variar sua energia interna:

- ⇒ Quando o gás recebe energia e sua temperatura aumenta.
- ⇒ Quando o gás libera energia e sua temperatura diminui.

Observando efeitos da Termodinâmica no dia-a-dia:

Bomba de bicicleta

Ao utilizarmos uma bomba para encher o pneu de uma bicicleta, aplicamos sobre ela uma força e realizamos trabalho sobre o gás, comprimindo-o. A força aplicada fornece energia para o gás realizando trabalho. O trabalho realizado sobre o gás aumenta sua energia interna e, por consequência, sua temperatura. Como o “bombeamento” é feito rapidamente, o gás presente dentro da bomba não perde calor para o ambiente. Após repetirmos o processo várias vezes, conseguimos perceber o aquecimento desse gás.

Imagem 1- Como encher o pneu de uma bicicleta



Fonte: Savancini, 2024.

Desodorante aerossol

Quando um gás comprimido dentro de um tubo de aerossol, como por exemplo, dentro de um tubo de desodorante, sai desse tubo, ele se expande e exerce uma força sobre o ar atmosférico. O gás utiliza sua energia interna para exercer essa força sobre o ar, realizando trabalho sobre o meio. A energia interna diminui e conseguimos perceber a redução na sua temperatura.

Imagem 2 - Spray de aerossol



Fonte: Wikipédia, 2024.

ATIVIDADES

01. Analise as alternativas abaixo e assinale a resposta que contém somente alternativas verdadeiras.

- I. Transformações isotérmicas são aquelas em que a temperatura do gás é mantida constante.
- II. Transformações adiabáticas envolvem trocas de calor entre o gás e o meio externo.
- III. Transformação isocórica é aquela em que a pressão do gás é mantida constante.
- IV. Transformações isobáricas acontecem com pressão constante.

São corretas:

- a) I e II.
- b) I, II e III.
- c) II e III.
- d) I e IV.

02. Um gás ideal sofre uma transformação rápida, de modo que sua temperatura, pressão e volume sofrem variações bruscas em um curto intervalo de tempo. De acordo com os seus conhecimentos sobre as transformações gasosas, a transformação sofrida pelo gás foi:

- a) isotérmica.
- b) isobárica.
- c) adiabática.
- d) isovolumétrica.

03. Um gás ideal sofre uma expansão isotérmica, realizando um trabalho de 100 J. Qual a quantidade de calor trocada com o ambiente durante essa transformação? Justifique sua resposta utilizando a 1ª Lei da Termodinâmica.

04. Um gás ideal é comprimido adiabaticamente, tendo sua temperatura aumentada em 20 K.

- a) O gás realiza trabalho ou sofre trabalho?
- b) Qual o sinal da variação da energia interna do gás?
- c) Houve troca de calor com o ambiente? Justifique suas respostas.

05. Em uma transformação isobárica, um gás ideal recebe 50 J de calor e expande-se, realizando um trabalho de 20 J. Qual a variação da energia interna do gás nesse processo?

06. Um gás ideal, contido em um recipiente de volume constante igual a 2 L, sofre uma transformação isocórica, recebendo 200 J de calor do ambiente. Sabendo que a temperatura inicial do gás é de 27 °C, determine:

- a) a temperatura final do gás;
- b) a variação da energia interna do gás;
- c) o trabalho realizado pelo gás durante a transformação.

07. Exercícios combinando situações práticas, transformações gasosas e a 1ª Lei da Termodinâmica:

I. O pneu de bicicleta

- a) Em um dia frio (10°C), você calibra o pneu da sua bicicleta com uma bomba manual até atingir a pressão de 4 atm. Após pedalar bastante, você percebe que o pneu está mais firme. Ao medir a pressão, observa que ela aumentou para 4,2 atm.
- b) Considerando que o volume do pneu permaneceu constante, qual transformação gasosa ocorreu com o ar dentro do pneu? Justifique.
- c) Explique, utilizando a 1ª Lei da Termodinâmica, por que a pressão do pneu aumentou após você pedalar.
- d) O ar dentro do pneu recebeu ou cedeu calor para o ambiente?

II. A seringa médica

- a) Uma seringa médica contém 10 ml de ar à temperatura ambiente (25°C) e pressão atmosférica (1 atm). Você tampa a ponta da seringa com o dedo e comprime o êmbolo rapidamente até que o volume de ar se reduza a 5 ml.
- b) Considerando que a compressão ocorreu muito rapidamente, de forma que não houve tempo para troca de calor com o ambiente, qual transformação gasosa ocorreu com o ar dentro da seringa?
- c) Como a 1ª Lei da Termodinâmica explica a variação de temperatura do ar dentro da seringa durante esse processo?
- d) O que acontece com a pressão do ar dentro da seringa?

III. O extintor de incêndio

- a) Um extintor de incêndio de CO_2 contém gás carbônico liquefeito sob alta pressão. Ao acionar o extintor, o CO_2 é liberado para o ambiente, sofrendo uma rápida expansão.
- b) Considerando que a expansão do CO_2 ocorre rapidamente e sem troca de calor com o ambiente, qual transformação gasosa está envolvida nesse processo?
- c) Explique, utilizando a 1ª Lei da Termodinâmica, por que a temperatura do CO_2 diminui drasticamente ao ser liberado do extintor.
- d) Por que o CO_2 é armazenado na forma líquida no extintor?

IV. O forno a gás

- a) Um forno a gás utiliza a queima de gás natural (metano) para aquecer o seu interior. Durante a combustão, o metano reage com o oxigênio do ar, liberando calor e gases quentes.
- b) Considerando que a combustão ocorre em um volume constante dentro do forno, qual transformação gasosa ocorre com os gases resultantes da queima do metano?
- c) Aplique a 1ª Lei da Termodinâmica para explicar o aumento da temperatura dentro do forno.
- d) O que acontece com a pressão dos gases no interior do forno?

REFERÊNCIAS

BONJORNO, J. R. **Física: termologia, óptica, ondulatória**. Volume 2, 3a Ed. São Paulo: FTD, 2016.

COMO encher pneu de bicicleta. 13 ago.2024. Equipe de redação **Savancini**. Disponível em: <https://www.savancini.com.br/blog/como-encher-pneu-de-bicicleta>. Acesso em 05 mar. 2025.

GONÇALVES FILHO, A. TOSCANO, C. **Física: interação e tecnologia**. Volume 2, 2a Ed. São Paulo: Leya, 2016.

HELERBROCK, Rafael. Transformações gasosas. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/transformacoes-gasosas.htm>. Acesso em 05 de março de 2025.

HEWITT, Paul G. **Física conceitual**. Tradução Francisco Araújo da Costa. 13.ed. Porto Alegre, RS : Bookman, 2023.

MÁXIMO, A., ALVARENGA B. **Curso de Física**. Volume 2, 1a Ed. São Paulo: Scipione, 2010.

MINAS GERAIS. Secretaria do Estado de Educação. **Plano de Estudo Tutorado**. 2º ano. Ensino Médio - Ciências da Natureza e suas tecnologias.v.3. 3º bimestre. Escola de Formação e Desenvolvimento Profissional de Educadores de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1cMhxxvWKWGhTn6_vhzdtm4TVuA1JEefDn/view. Acesso em: 05 mar. 2025.

MINAS GERAIS. Secretaria do Estado de Educação. **Currículo Referência de Minas Gerais: Ensino Médio**. Escola de Formação e Desenvolvimento Profissional de Educadores de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <https://acervodenoticias.educacao.mg.gov.br/images/documentos/Curr%C3%ADculo%20Refer%C3%AAncia%20do%20Ensino%20M%C3%A9dio.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2025.

MINAS GERAIS. Secretaria do Estado de Educação. **Plano de Curso: ensino médio**. Escola de Formação e Desenvolvimento Profissional de Educadores de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2024. Disponível em: <https://curriculoreferencia.educacao.mg.gov.br/index.php/plano-de-cursos-crmg>. Acesso em: 05 mar. 2025.

SPRAY, Wikipédia, a enciclopédia livre. 24 set. 2024. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Spray&oldid=68694702>. Acesso em 05 mar. 2025.