



UNILAB

UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA

AFRO-BRASILEIRA

INSTITUTO DE EXATAS E DA NATUREZA - ICEN

CURSO DE GRADUAÇÃO EM FÍSICA

ADRIANO OTINDIO GOMES

**ENSINO DE TERMODINÂMICA ATRAVÉS DE EXPERIMENTOS DE BAIXO
CUSTO**

REDENÇÃO

2022

ADRIANO OTINDIO GOMES

ENSINO DE TERMODINÂMICA ATRAVÉS DE EXPERIMENTOS DE BAIXO CUSTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Física do Instituto de Exatas e da Natureza - ICEN da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito parcial à obtenção do grau de Licenciatura em Física.

Orientador: Prof. Dr. Aristeu Rosendo Pontes Lima

REDENÇÃO

2022

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Gomes, Adriano Otindio.

G633e

Ensino de termodinâmica através de experimentos de baixo custo /
Adriano Otindio Gomes. - Redenção, 2024.
0f: il.

Monografia - Curso de Física, Instituto De Ciências Exatas E Da
Natureza, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia
Afro-Brasileira, Redenção, 2024.

Orientador: Prof. Dr. Aristeu Rosendo Pontes.

1. Termodinâmica. 2. Máquinas térmicas. 3. Experimento de
baixo custo. I. Título

CE/UF/BSCA

CDD 536.7

ADRIANO OTINDIO GOMES

ENSINO DE TERMODINÂMICA ATRAVÉS DE EXPERIMENTOS DE BAIXO CUSTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Física do Instituto de Exatas e da Natureza - ICEN da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito parcial à obtenção do grau de Licenciatura em Física.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Aristeu Rosendo Pontes
Lima (Orientador)
Universidade da Integração Internacional da
Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Prof. Dr. Levi Rodrigues Leite
Universidade da Integração Internacional da
Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Prof. Dr. Aurélio Wildson Texeira de Noronha
Universidade da Integração Internacional da
Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Dedico essa vitória à Isabel Bupene, grande mulher que, com força e história de luta, é inspiração para que eu continue a ser o homem forte que hoje sou. Obrigado, mamã!

AGRADECIMENTOS

A elaboração deste trabalho de conclusão do curso só foi possível com a colaboração de diversas pessoas, dentre as quais eu agradeço primeiramente aos meus ancestrais por me ajudarem a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo dessa jornada.

Agradeço aos meus pais, Armando Otindio Gomes, in memoriam, e Isabel Gomes por todos os ensinamentos e carinhos. Agradeço à Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB, pela oportunidade que me deu para estudar e também pelo apoio financeiro durante esses anos.

Agradeço ao meu orientador Aristeu Rosendo Pontes Lima, por aceitar trabalhar e compartilhar conhecimentos comigo durante esse processo.

Agradeço a todos os professores que participaram da minha formação me dando uma vasta bagagem de aprendizados para a elaboração desse trabalho, em especial aos Dr. Michel, Dra. Milene, Dr. Elcimar, Dra. Cinthia Marques, Dr. Philipe, Dr. Levi e Dr. Aurélio. Agradeço aos meus irmãos, Alexandre Gomes, Júlio Gomes, Daniel Otindio Gomes, Zaida Otindio Gomes, Inacio Otindio Gomes, Raissa Otindio Gomes, Suraia Otindio Gomes e Armando Otindio Gomes Junior por ser arrimo moral e afetivo desde o momento em que decidi abraçar esse sonho da graduação. Agradeço aos meus primos, Adalgisa Maria Sumandji Gomes, e Djoí de Carvalho pela acolhida aconchegante em minha chegada ao Brasil.

Agradeço aos colegas Mulba Joãzinho da Silva, Midana Baial Sambú, Ivanildo Rui Barbosa, Constantino Francisco Vasconcelhos (primo), Osniel Paulo Insali, Gamal Soares Casama, Floriano Francisco Chernó, Tchuda Bidenguilté, Antonio Embana Junior, Embalo Manga, Alexandre Lopes, Adair Gomes Falcão, Crasimir Adelino Ramos Sambé, Eugenio Nunes Correia e Alfisene Dem grandes colegas de curso e de universidade que caminharam junto e se fizeram família para mim.

Agradeço à Aline Lima dos Santos por estar ao meu lado me dando suporte com seu conhecimento em língua portuguesa brasileira e, com seu afeto, tornando tudo menos difícil.

Por fim, agradeço a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para o desenvolvimento dos meus estudos. Obrigado a todos!

“Eu gaguejo quando falo, não gaguejo quando penso.”

(Joacine Katar Moreira)

RESUMO

Neste trabalho, abordamos os conceitos de termodinâmica teórica e experimentalmente. Tendo em vista que ela está presente em nosso dia-a-dia, falamos sobre o ensino de termodinâmica através de experimento de baixo custo, a fim de mostrar o processo na prática. Para tanto, se faz necessário explicar a termodinâmica, descrever suas leis e aplicações das mesmas, assim como suas características, explanar na prática com experimento sobre toda a parte teórica antes falada. Realiza-se, então, uma pesquisa descritiva e explicativa sobre a termodinâmica e seu ensino por meio de um experimento de baixo custo. Diante disso, verifica-se as diversas situações diárias onde podemos observar direta ou indiretamente a termodinâmica ser aplicada; a importância do ensino da parte teórica associada a parte prática no ensino de termodinâmica em sala de aula e fora dela, após constatamos que os dois mecanismos são muito importantes para ensino-aprendizagem no ensino de física. Impõe-se a constatação de que, uma vez se tendo embasamento teórico e o mesmo sendo aplicado em alguma situação prática, o assunto, qualquer que seja a natureza, ele será melhor absorvido e entendido.

Palavras-chave: Termodinâmica. Máquinas térmicas. Experimento de baixo custo.

ABSTRACT

In the present work, we approach concepts of thermodynamics both theoretical and experimental. Considering that it is commonplace in our daily lives, we discuss teaching thermodynamics through a low-cost experiment in order to show the process in practice. Therefore, it is necessary to explain the basic definitions of thermodynamics, describe the laws and their applications as well as their characteristics, exploring the link between experiment and the theoretical part mentioned before. A descriptive and explanatory research is carried out on thermodynamics and its application in a low-cost experiment. In view of this, there are several daily situations where we can directly or indirectly observe thermodynamics being applied, associating the theoretical part with the practical one in teaching thermodynamics in the classroom, and outside it, is very important for the learning process. It is remarkable that, once having a theoretical basis and having it applied in some practical situation, the subject, whatever the nature, it will be better absorbed and understood.

Keywords: Thermodynamics. Thermal machines. Low cost experiment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação entre escalas	17
Figura 2 – Representação da dilatação linear de uma barra metálica	19
Figura 3 – Dilatação superficial	22
Figura 4 – Dilatação volumétrica	23
Figura 5 – Dilatação irregular da água	25
Figura 6 – Gráfico de dilatação irregular da água	25
Figura 7 – Máquina térmica	39
Figura 8 – Funcionamento do motor Diesel 2 tempos - ciclo Diesel: a) Primeiro tempo; b) Segundo tempo,	42
Figura 9 – Funcionamento do motor Diesel 2 tempos - ciclo Otto: a) Primeiro tempo; b) Segundo tempo,	42
Figura 10 – Funcionamento do motor Diesel 4 tempos: a) Admissão; b) Compressão. . .	44
Figura 11 – Funcionamento do motor Diesel 4 tempos: a) Combustão; b) Escape.	44
Figura 12 – Máquina vapor	45
Figura 13 – Materiais utilizados	46
Figura 14 – Montagem e procedimento	47

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Coeficiente de dilatação linear
β	Coeficiente de dilatação superficial dos sólidos
γ	Coeficiente de dilatação volumétrica dos sólidos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	TEMPERATURA - ESCALAS TERMOMÉTRICAS	15
2.1	Temperatura	15
2.2	Equilíbrio térmico	15
2.3	Termômetro	15
2.4	Escala Celsius	16
2.5	Escala Fahrenheit	16
2.6	Escala Kelvin	16
2.7	Conversão entre escalas	17
3	FENÔMENOS TÉRMICOS	18
3.1	Dilatação térmicas dos sólidos	18
3.2	Dilatação linear	18
3.3	Dilatação superficial dos sólidos	20
3.4	Dilatação volumétrica dos sólidos	22
3.5	Dilatação dos líquidos	24
3.5.1	<i>Dilatação aparente</i>	24
3.5.2	<i>Comportamento anômalo da água</i>	24
4	COMPORTAMENTO DOS GASES	26
4.1	Transformação isotérmica	26
4.2	Transformação isobárica	26
4.3	Lei de Avogadro	27
4.4	Equação de estado de um gás ideal	27
4.5	Modelo molecular de um gás	28
4.6	Interpretação cinética da temperatura	28
4.7	Energia interna de um gás ideal	29
5	CALOR, TRABALHO E PRIMEIRA LEI DE TERMODINÂMICA . .	31
5.1	A teoria do calórico	31
5.2	Calor é energia	31
5.3	Transferência de calor	31
5.3.1	<i>Condução</i>	32

5.3.2	<i>Convecção</i>	32
5.3.3	<i>Radiação</i>	33
5.4	Capacidade térmica e calor específico	33
5.4.1	<i>Capacidade térmica</i>	33
5.4.2	<i>Calor específico</i>	33
5.4.3	<i>Cálculo do calor absorvido por um corpo</i>	34
5.5	A primeira lei da termodinâmica	34
5.5.1	$\Delta Q = \text{Calor trocado}$	35
5.5.2	$\Delta U = \text{Variação de energia}$	36
5.5.3	$\tau = \text{Trabalho}$	36
5.6	Aplicações da primeira lei da termodinâmica	36
5.6.1	<i>Transformações termodinâmicas</i>	36
5.6.2	<i>Transformação adiabática</i>	36
5.6.3	<i>Transformação isotérmica</i>	37
5.6.4	<i>Transformação isobárica</i>	37
5.6.5	<i>Transformação isométrica</i>	38
6	MAQUINAS TÉRMICAS E SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA .	39
6.0.1	<i>A segunda lei da termodinâmica</i>	40
6.1	Motor combustão interna	40
6.1.1	<i>Tipos de motores</i>	41
6.1.2	<i>De pistão</i>	41
6.1.3	<i>De êmbolo rotativo</i>	41
6.2	Classificação dos motores de Combustão interna	41
6.2.1	<i>Utilização</i>	41
6.2.2	<i>Ignição</i>	41
6.2.3	<i>Movimento de pistão</i>	41
6.2.4	<i>Fases dos ciclos de trabalho</i>	42
6.2.5	<i>Número de cilindros</i>	43
6.2.6	<i>Disposição dos cilindros</i>	44
7	EXPERIMENTO DE BAIXO CUSTO: MÁQUINA VAPOR	45
7.0.1	<i>Objetivo</i>	45
7.0.2	<i>Materiais utilizados</i>	45

7.0.3	<i>Passo a passo</i>	46
7.0.4	<i>Montagem final</i>	46
7.0.5	<i>Considerações finais</i>	47
8	CONCLUSÃO	49
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

Física é a ciência que estuda a natureza, muitas vezes se dificulta explicar o que está acontecendo, por isso que o professor recorre a vários métodos de apresentação e abordagem do assunto em estudo. Vista como um dos principais ramos da física e da engenharia, a termodinâmica traz o estudo das leis que tratam da relação entre calor e outras formas de energia, tendo como palavras chaves a serem bastante discutidas e explanadas no presente trabalho temos, a temperatura, energia térmica, entre outros.

Entre as diversas aplicações da termodinâmica podemos citar o trabalho de engenheiros de automóveis que se preocupam com o funcionamento dos motores, ligados diretamente à temperatura, outro exemplo prático que temos são os engenheiros de alimentos quando precisam cuidar da temperatura de alimentos em que os mesmos são perecíveis e precisam ser conservados em específica temperatura para não lhes causar algum dano. Na agronomia vemos que as condições climáticas influem diretamente no cultivo, falando em agronomia e cultivo, podemos citar também os meteorologistas que tratam de fenômenos bem específicos relacionados à temperatura como as chuvas, El Niño e o aquecimento global, muitos são os exemplos em nosso dia-dia em que a termodinâmica está envolvida. Abordar esse assunto trazendo um experimento é muito fundamental no ensino, uma vez que com esse método podem ocorrer interações sociais, diálogo e troca de informações que vão além da comunicação aluno-professor, podendo se estender até para fora do ambiente de sala de aula, o professor pode fazer com que os alunos compreendam sua relação com o mundo por outras diversas perspectivas.

Vale ressaltar que se faz necessário o aluno conhecer primeiramente a teoria para só depois ser apresentados para qualquer tipo experimento, porque para entender melhor um experimento é necessário ter um bom embasamento teórico sobre o assunto que vai ser tratado no experimento, quando estamos falando de absorção e compreensão de um conteúdo [9].

Esse trabalho pretende, apresentar o estudo de termodinâmica através de experimento de baixo custo. Através desse experimento podemos ver na prática a aplicação de conceitos teóricos e isso tem grande importância no ensino atualmente, pois é uma técnica que ajuda os alunos na compreensão dos conteúdos de qualquer que seja assunto, observa-se em muitos casos que alguns alunos não conseguem entender o conteúdo teoricamente, mas ao ser apresentado com algum experimento eles logo conseguem absorver melhor o que foi apresentado.

Apresentamos nos capítulos que seguem uma explanação mais detalhada do que abordaremos neste trabalho. No capítulo 2, demonstra o processo de temperatura e escalas ter-

mométricas, tipos de escalas, termômetro e conversão entre escalas. No capítulo 3, nele mostra como acontece dilatação, abordamos os fenômenos térmicos e como acontecem os diferentes tipos de dilatações nos corpos e as características pertinentes a cada tipo de dilatação, como existem inúmeros processos de dilatação, então escolhemos esses para serem abordados, no caso de uma dilatação térmica unidimensional, conhecer a relação entre a variação de temperatura ΔT , a variação de comprimento ΔL , o comprimento inicial L e o coeficiente de dilatação térmica. No caso de dilatação térmica bidimensional, usar o coeficiente de dilatação térmica unidimensional e multiplicar por dois (2), para determinar a variação de área. E no caso de dilatação térmica tridimensional, usar o coeficiente de dilatação térmica unidimensional e multiplicar por três (3), para determinar a variação de volume. O capítulo 4, falamos do comportamento dos gases, são sistemas compostos por muitas partículas frequentemente da ordem de número de Avogadro 10^{23} . Como para descrever o comportamento desses sistemas gasosos não é possível usar as leis de Newton para estudar a posição e a velocidade das partículas, uma vez que existem muitas partículas, isso faria com que teríamos que resolver o número muito grande de equação de newton, o que não é possível de forma prática, precisamos então encontrar outra maneira para descrever comportamento desse sistema. No capítulo 5, explanamos sobre calor, trabalho e o uso da primeira lei da termodinâmica, para falar sobre a relação da variação da energia interna ΔE_{int} de um gás à energia Q fornecida ou recebida pelo gás na forma de calor e ao trabalho W realizado pelo gás ou sobre o gás. Falamos também sobre o conceito de transferência de calor onde a energia térmica pode ser transferida por convecção, fenômeno associado ao fato de que um fluido mais quente (gás ou líquido) tende a subir e um fluido mais frio tende a descer. No capítulo 6, discutimos sobre máquinas térmicas, seu conceito e sua relação com a segunda lei da termodinâmica, pois entre as duas leis da termodinâmica, ela é a que tem aplicação direta na construção delas e utilização na indústria, pois trata principalmente do rendimento das máquinas térmicas, e exemplificamos esse modelo de máquina falando de motor combustão interna. Por último capítulo 7, trazemos a apresentação do experimento de baixo custo onde foi aplicado na prática o que foi abordado no capítulo anterior sobre o conceito e funcionamento da máquina vapor que mostra como acontece mudança de energia térmica para energia mecânica.

2 TEMPERATURA - ESCALAS TERMOMÉTRICAS

Fenômenos térmicos estão amplamente presentes em nosso cotidiano. Constantemente necessitamos comparar as propriedades térmicas de diferentes substâncias e suas diferentes temperaturas. Para isso faz necessário termos uma forma precisa de fazer essa comparação e constatar as propriedades térmicas de tais substâncias. Neste capítulo, discutimos o conceito de temperatura e introduzimos algumas escalas termométricas, usadas para determinar o valor da temperatura em dadas situações. Abordaremos também alguns dos conceitos básicos da termodinâmica que facilitam a aplicação o ensino desse tema tão presente em nosso dia-a-dia, tais como dilatação térmica de sólidos, líquidos e os demais conceitos pertinentes a esse assunto.

2.1 Temperatura

É uma propriedade termodinâmica, que está relacionada com o grau de agitação dos átomos ou moléculas de um corpo. Dizemos que, quanto maior for o grau de agitação das partículas de um corpo, maior será sua temperatura. Para a medição da temperatura, utiliza-se um instrumento chamado de termômetro [3, 4].

2.2 Equilíbrio térmico

É um fato experimental que quando temos dois corpos com diferentes temperaturas, se eles são postos, em contato, passam a ter a mesma temperatura depois de algum tempo. Por exemplo, quando dois ou mais corpos são colocados em contato de isolamento em certo tempo, os seus estados finais passam a ser os mesmos. Dizemos que eles estão em estado de equilíbrio térmico. Assim, equilíbrio térmico significa igualdade de temperatura entre os corpos [1, 3, 8].

2.3 Termômetro

Existem vários tipos termômetros, entre os quais, termômetro comum de líquido (mercúrio ou álcool), em tubo de vidro, o mais usado por médicos para medir a temperatura de um corpo. Ele possui um bulbo cheio de mercúrio ligado a tubo bem fino onde está presente uma escala de comprimento cada marca, nessa escala de comprimento corresponde um valor de temperatura dessa forma que quando a temperatura aumenta o líquido se expande, e quando a temperatura diminui o líquido se contrai, de forma que a altura do líquido vai marcar diferentes

pontos na escala de comprimento[2].

2.4 Escala Celsius

A escala Celsius foi criada pelo físico sueco Anders Celsius (1701-1744), o primeiro cientista que tentou mostrar ao mundo que a água podia mudar de estado físico de agregação sempre na mesma temperatura, para uma dada pressão. Então, quando tem a temperatura onde está o gelo, no determinado momento ele vai passar a ser líquido. Logo ele escolheu 100°C como ponto de ebulição da água, e 0°C ponto de fusão da água. Os suecos Carolus Linnaeus e Daniel Ekström, criaram termômetros com 0° Celsius sendo o valor de ponto fixo da fusão, e 100° Celsius sendo o valor do ponto fixo de ebulição. Tais valores continuam a ser utilizados até hoje.

2.5 Escala Fahrenheit

O cientista físico alemão holandês, Daniel Gabriel Fahrenheit (1686-1736), fez também importantes contribuições ao estudo da termodinâmica. Na escala fahrenheit, o ponto de fusão da água corresponde a 32°F e o ponto de ebulição a 212°F . Essa escala é mais usada nos países de língua inglesa, como os Estados Unidos.

2.6 Escala Kelvin

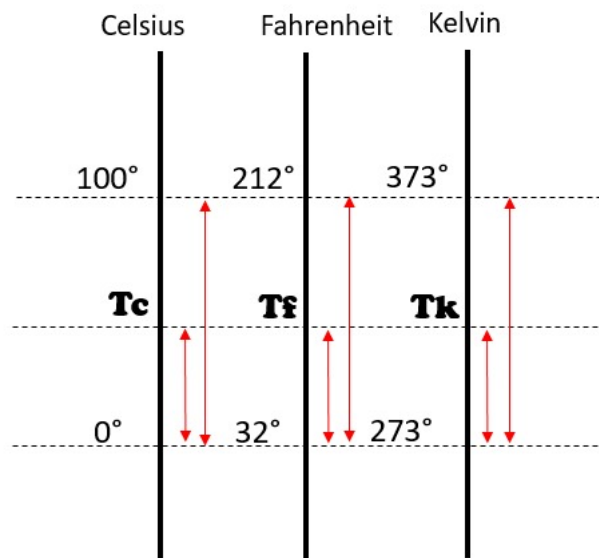
Por último apresentamos a escala criada pelo físico irlandês William Thompson, nomeado pela rainha Lord Kelvin, a escala Kelvin; onde temos que se a temperatura média e o nível de agitação das moléculas de um corpo existem num ponto, as moléculas deixarão de agitar, nesse ponto, então, chegaremos a zero absoluto, ou seja, a menor temperatura que um corpo pode atingir. Em 1954 a escala Kelvin passou a ser o segundo ponto fixo, como sendo o ponto triplo da água, ou seja, o ponto onde é possível encontrar água, gelo e o vapor em simultâneo. O Kelvin foi considerado a unidade de termodinâmica, e não a escala de medida como Fahrenheit e Celsius. E não pode ter o valor negativo. De modo geral, designando pôr T a temperatura Kelvin e por t_c a temperatura Celsius correspondente, é fácil concluir[1, 3].

$$T = t_c + 273 \quad (2.1)$$

2.7 Conversão entre escalas

Nessa equação temos as três escalas representadas e suas relações entre si, onde ao aplicá-la podemos transformar qualquer valor de temperatura e encontrar seu correspondente em outra escala termométrica.

Figura 1 – Relação entre escalas



Fonte: Próprio autor

$$\frac{T_c - 0}{100 - 0} = \frac{T_f - 32}{212 - 32} \Rightarrow \frac{T_c - 0}{100} = \frac{T_f - 32}{180} \Rightarrow \frac{T_c}{5} = \frac{T_f - 32}{9} = \frac{T - 273}{5} \quad (2.2)$$

Na escala Celsius temos em 0°C o ponto de fusão e 100 °C o ponto de ebulição, na escala fahrenheit te respectivamente 32°F e 212°F, já na escala Kelvin temos 273°K e 373°K , podemos dizer que na figura podemos aplicar e criar as relações com os segmentos presentes no gráfico da figura 1.

3 FENÔMENOS TÉRMICOS

3.1 Dilatação térmicas dos sólidos

Em processos de dilatação, ocorre o afastamento das moléculas de um corpo umas das outras quando este corpo é aquecido. O aumento da agitação das moléculas de um corpo sólido tem por consequência o aumento da separação entre elas, aumentando assim suas dimensões do corpo aquecido. Dizemos, que o corpo se dilatou. Por outro lado, quando a agitação das moléculas se diminui, a separação entre elas também diminui, levando a redução nas dimensões do corpo. Esses fenômenos ocorrem nos corpos em todos os seus estados, esteja ele no estado sólido e líquido.

3.2 Dilatação linear

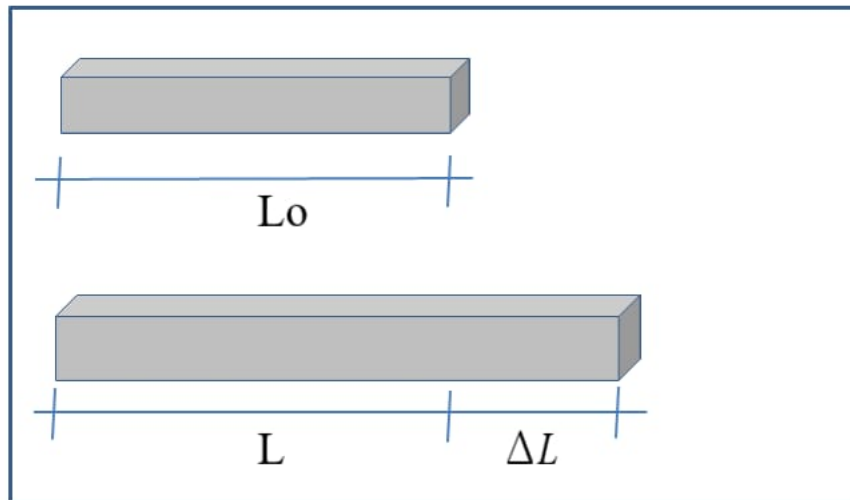
Embora, em termos gerais, não exista dilatação em apenas uma dimensão, considera-se uma dilatação linear quando, ao ter a temperatura aumentada, o corpo sofre alteração em seu comprimento, como, por exemplo, em uma barra metálica. Quando pegamos uma barra de comprimento L e colocamos numa certa temperatura T e aquecendo-a haverá um aumento em todas as dimensões lineares, então vai criar um aumento de comprimento. Por exemplo, L_o é o comprimento inicial de uma barra à temperatura T_o . Se levamos a temperatura de uma barra para T , o seu comprimento passa a ser L , em que, L maior do que L_o em que. Então a variação de temperatura $\Delta T = T - T_o$ provoca uma dilatação $\Delta L = L - L_o$ de comprimento de barra, depois de vários experimentos concluímos que a dilatação ΔL depende do comprimento inicial L_o e do aumento de temperatura ΔT , sendo proporcional a ambos, isto é:

$$\Delta L = \alpha L \Delta T \quad (3.1)$$

α é o coeficiente de dilatação linear ou expansão linear, que apresenta valores diferentes para cada material. O coeficiente de expansão linear é a razão entre a variação relativa do comprimento da barra e a variação de temperatura, conforme a equação:

Na figura 2 temos em L_o a representação da barra metálica em seu estado inicial sem ter sofrido qualquer ação da temperatura, na figura onde temos o L vê-se o aumento da barra metálica em ΔL devido à ação da temperatura, nesse caso então entende-se que há somente

Figura 2 – Representação da dilatação linear de uma barra metálica



Fonte: Próprio autor

variação no eixo x .

$$\alpha = \frac{\frac{\Delta L}{L}}{\Delta T} \quad (3.2)$$

No sistema internacional a unidade (SI), do coeficiente de expansão linear é inverso de Kelvin $\frac{1}{K}$. Para líquido e sólidos o valor de α não é alterada com pressão, só pode variar com a temperatura.

Quando ΔT está tender por zero, o coeficiente de dilatação pode ser calculado de seguinte forma:

$$\alpha = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{\frac{\Delta L}{L}}{\Delta T} = \frac{1}{L} \frac{dL}{dT} \quad (3.3)$$

Para pequenas variações de temperatura podemos usar o valor médio de α , dado por equação (3.3)

Material	$\alpha(^{\circ}\text{C}^{-1})$
Alumínio	$22 \cdot 10^{-6}$
Cobre	$17 \cdot 10^{-6}$
Ferro	$12 \cdot 10^{-6}$
Vidro	$8 \cdot 10^{-6}$
Chumbo	$29 \cdot 10^{-6}$
Aço	$12 \cdot 10^{-6}$
Ouro	$15 \cdot 10^{-6}$
Zinco	$25 \cdot 10^{-6}$
Platina	$9 \cdot 10^{-6}$
Latão	$20 \cdot 10^{-6}$

• Fonte: Retirada de [1].

A tabela representa coeficiente de dilatação linear, onde cada material representa o seu valor correspondente.

3.3 Dilatação superficial dos sólidos

A dilatação superficial β é quando você aquece um corpo, ele vai aumentar a área devido a sua agitação das moléculas, com variação de temperatura de ΔT , então podemos dizer assim que o corpo passou por uma dilatação superficial $\Delta A = A - A_o$, onde houve alterações em duas dimensões, no comprimento e altura. Com esse aumento beta é 2 vezes maior que alfa, que é o coeficiente de dilatação linear. O coeficiente de expansão superficial β é a razão entre a variação relativa de superfície e a variação de temperatura,

$$\beta = \lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{\frac{\Delta A}{A}}{\Delta T} = \frac{1}{A} \frac{dA}{dT} \quad (3.4)$$

O coeficiente de dilatação superficial e coeficiente de dilatação linear, eles variam pouco com a pressão, no líquido e no sólido, mas na temperatura eles variam consideravelmente. A área de superfície é dada por:

$$A = L_1 \cdot L_2 \quad (3.5)$$

onde L_1 é comprimento e L_2 é altura. A variação de área com a temperatura é dada por

$$\frac{dA}{dT} = L_1 \frac{dL_2}{dT} + L_2 \frac{dL_1}{dT} \quad (3.6)$$

substituindo a equação (3.6) na equação (3.4) vem,

$$\beta = \frac{1}{A} \left(L_1 \frac{dL_2}{dT} + L_2 \frac{dL_1}{dT} \right) \quad (3.7)$$

como $A = L_1 \cdot L_2$, temos

$$\beta = \frac{1}{L_1 \cdot L_2} \left(L_1 \frac{dL_2}{dT} + L_2 \frac{dL_1}{dT} \right) \quad (3.8)$$

assim

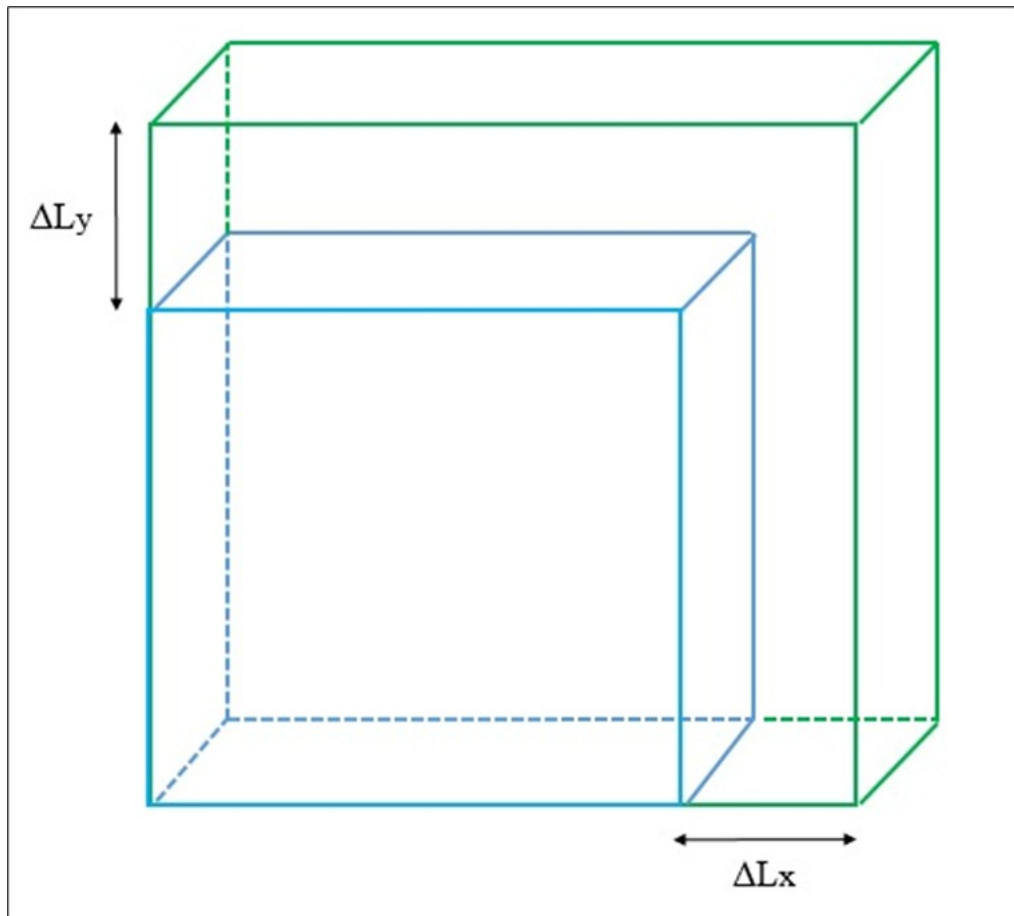
$$\beta = \frac{1}{L_2} \frac{dL_2}{dT} + \frac{1}{L_1} \frac{dL_1}{dT} \quad (3.9)$$

Se o material for isotópico, o coeficiente de dilatação linear na cada parcelas anterior vai ser

$$\beta = 2\alpha \quad (3.10)$$

Quer dizer que coeficiente de dilatação superficial é o dobro do coeficiente de dilatação linear [1, 2].

Figura 3 – Dilatação superficial



Fonte: Próprio autor

Na figura 3 temos representado na cor azul o corpo em seu estado inicial sem ter sofrido a ação da temperatura, já na cor verde temos representada a dilatação que o corpo sofreu no eixo x e no eixo y devido à ação da temperatura.

3.4 Dilatação volumétrica dos sólidos

A dilatação volumétrica Υ é quando você aquece um corpo e ele sofre o aumento de volume, devido elevação de temperatura ΔT , ou seja, em três dimensões, comprimento, altura e profundidade. com esse aumento a dilatação volumétrica Υ é 3 vezes maior que α ,

$$\Upsilon = \lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{\frac{\Delta V}{V}}{\Delta T} = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT} \quad (3.11)$$

No líquido e no sólido, o coeficiente de dilatação linear, coeficiente de dilatação superficial e coeficiente de dilatação volumétrica, todos eles variam um pouco com a pressão, mas variam consideravelmente com a temperatura [1, 2] Essa dilatação é considerada de paralelepípedo,

porque tem 3 lados, logo o volume é dada por:

$$V = L_1 \cdot L_2 \cdot L_3 \quad (3.12)$$

onde L_1 é comprimento, L_2 é altura e L_3 é profundidade. Agora, a variação de volume com a temperatura,

$$\frac{dV}{dT} = L_1 L_2 \frac{dL_3}{dT} + L_1 L_3 \frac{dL_2}{dT} + L_2 L_3 \frac{dL_1}{dT} \quad (3.13)$$

substituindo a equação (2, 14) na (2, 12) vem,

$$\Upsilon = \frac{1}{V} (L_1 L_2 \frac{dL_3}{dT} + L_1 L_3 \frac{dL_2}{dT} + L_2 L_3 \frac{dL_1}{dT}) \quad (3.14)$$

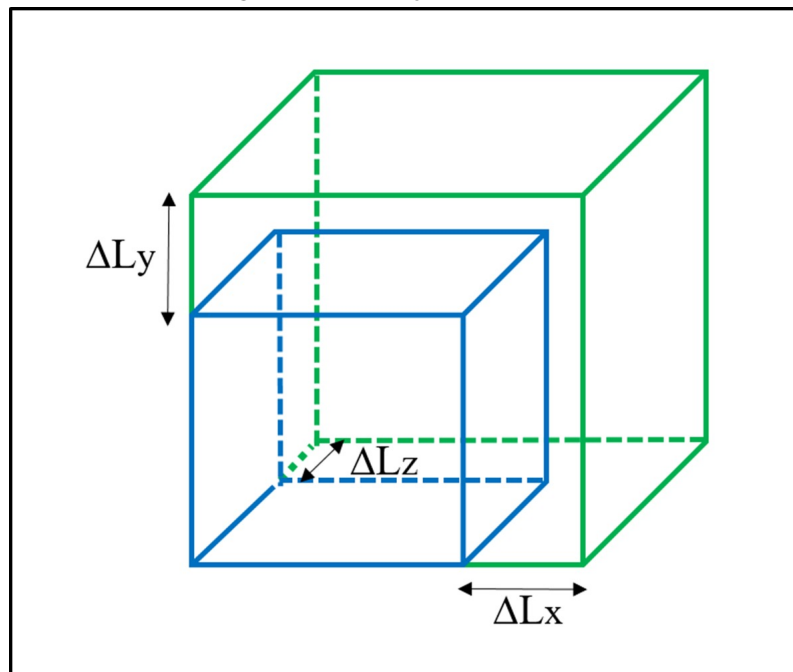
como $V = L_1 \cdot L_2 \cdot L_3$, temos $\Upsilon = \frac{1}{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3} (L_1 L_2 \frac{dL_3}{dT} + L_1 L_3 \frac{dL_2}{dT} + L_2 L_3 \frac{dL_1}{dT})$ (3.15)

$$\Upsilon = \frac{dL_3}{L_3 dT} + \frac{dL_2}{L_2 dT} + \frac{dL_1}{L_1 dT} \quad (3.16)$$

Se o material for isotrópico, o coeficiente de dilatação linear pode ser escrito:

$$\Upsilon = 3\alpha \quad (3.17)$$

Figura 4 – Dilatação volumétrica



Fonte: Próprio autor

Na figura 4 temos representado na cor azul o corpo em seu estado inicial sem ter sofrido a ação da temperatura, já na cor verde temos representada a dilatação que o corpo sofreu no eixo x , y e no eixo z devido à ação da temperatura.

3.5 Dilatação dos líquidos

Assim, o coeficiente de dilatação dos líquidos é maior que dos sólidos. Podemos visualizar melhor esse processo em um recipiente quando fornecemos a energia, através da mudança de temperatura. A seguir, apresentamos uma tabela com os coeficientes de dilatação dos líquidos [1, 2].

Substância	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
Água	$1,3 \cdot 10^{-4}$
Mercúrio	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Glicerina	$4,9 \cdot 10^{-4}$
Benzeno	$10,6 \cdot 10^{-4}$
Álcool etílico	$11,2 \cdot 10^{-4}$
Acetona	$14,9 \cdot 10^{-4}$
Petróleo	$10 \cdot 10^{-4}$

• Fonte: Retirada de [1].

A tabela representa coeficiente de dilatação dos líquidos, onde cada substância representa o seu valor correspondente.

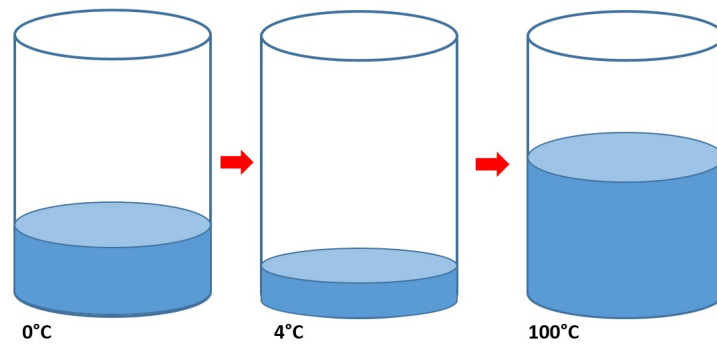
3.5.1 Dilatação aparente

É explicada da seguinte forma, ao colocarmos um líquido em um recipiente e aumentar a temperatura ambos irão aumentar seu volume. Então o líquido passa a ter uma dilatação aparente por conta da dilatação real que o recipiente sofreu, logo a dilatação real vai ser maior que a dilatação aparente. Quando o coeficiente de dilatação do recipiente é pequeno, a dilatação aparente torna-se igual à dilatação real.

3.5.2 Comportamento anômalo da água

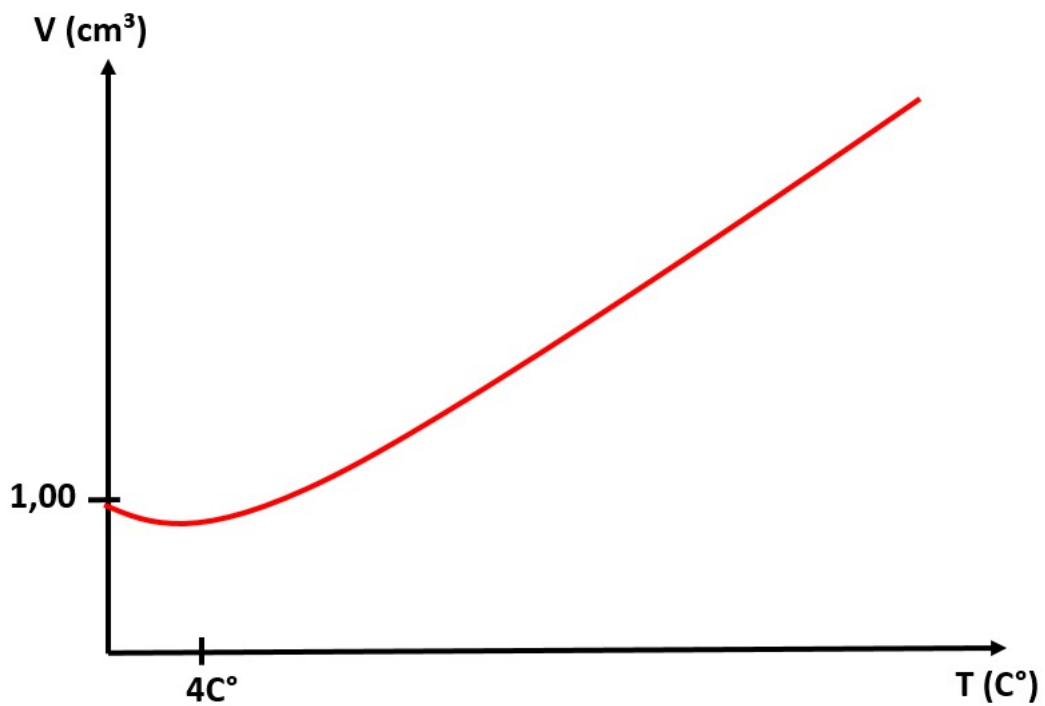
Observa-se que ao aquecermos uma substância a mesma passa a receber a energia, as suas moléculas ficam agitadas aumentando de volume. No processo contrário onde está substância ela começa a perder energia, suas moléculas passam a se aproximar uma das outras diminuindo assim o volume. Com a água nota-se um comportamento diferente, na variação de temperatura entre 0°C a 4°C o volume diminui, isso acontece quando o coeficiente de dilatação é negativo. Já temperatura acima de 4°C , ela tem comportamento normal [1, 2, 3].

Figura 5 – Dilatação irregular da água



Fonte: Próprio autor

Figura 6 – Gráfico de dilatação irregular da água



Fonte: Próprio autor

A figura 5 e o gráfico representa dilatação irregular da água, inicialmente a 0° Celsius ele ocupa o determinado volume, que diminui quando a temperatura chega a 4° Celsius, a partir de 4° Celsius vai aumentando o volume da água e permanece a aumentar

4 COMPORTAMENTO DOS GASES

Neste capítulo vamos estudar o comportamento dos gases, são sistemas compostos por muitas partículas frequentemente da ordem de número de Avogadro 10^{23} , exemplo de gases são ares que respiramos ou hidrogênio (H_2), o mesmo nitrogênio (N_2) e também a muito outro exemplo de gases. Para descrever o comportamento desses sistemas gasosos não é possível usar as leis de Newton para estudar a posição e a velocidade das partículas, uma vez que existem muitas partículas, isso faria com que teríamos que resolver o número muito grande de equação de newton, o que não é possível de forma prática, precisamos então encontrar outra maneira que descrever comportamento desse sistema

4.1 Transformação isotérmica

A palavra isotérmica tem de origem grega, que significa temperatura igual. Iso significa igual e o térmico significa temperatura. Assim, uma transformação isotérmica é um processo termodinâmico que ocorre sem mudança de temperatura. O físico, químico Robert Boyle (1627-1691) foi o primeiro cientista a estudar essa transformação. Mais tarde o físico francês Edme Mariotte (1620-1684), confirmou o experimento de R. Boyle. Segundo o Boyle: se a temperatura T de uma dada massa gasosa for mantida constante, o volume V deste gás será inversamente proporcional à pressão p exercida sobre ele, ou seja: [1]

$$PV = \text{ideaisdiferentestante} \quad (4.1)$$

Essa equação é chamada lei de Boyle-Mariotte

4.2 Transformação isobárica

O nome da transformação isobárica tem origem grega e significa pressão igual. Iso significa igual e a bárica significa pressão. A transformação isobárica quando o gás passa um processo, pressão é constante [1, 3].

No ano de 1787, o químico Charles (1746 1823) foi o primeiro a descobrir a relação entre volume e a temperatura, então depois de vários físicos tentaram analisar, logo apareceu Joseph Louis Gay-Lussac com vários experimentos conseguiu chegar numa conclusão que o resultado era verdadeiro. Em resumo, podemos afirmar que: O volume V de uma dada massa

gasosa, mantida à pressão constante, é diretamente proporcional à temperatura absoluta T , ou seja,

$$\frac{V}{T} = \text{constante} \quad (4.2)$$

4.3 Lei de Avogadro

O físico italiano Amadeo Avogadro (1776-1856) disse que quando dois gases ideais diferentes com mesma temperatura, mesma pressão e mesmo volume, o número de moléculas vai ser mesmo. Isto foi observado nas várias tentativas que ele fez, depois acabou de formalizar essa teoria no ano 1811, como lei de Avogadro. A lei de Avogadro pode ser enunciada de seguinte maneira: Volumes iguais, de gases diferentes, à mesma temperatura e pressão, contém o mesmo número de moléculas.

4.4 Equação de estado de um gás ideal

Uma propriedade das proporções nos permite agrupar os resultados anteriores em uma única relação:

$$P \propto \frac{PM}{T} \quad (4.3)$$

Sendo m a massa da amostra gasosa, sabemos que $p = \frac{m}{V}$. Logo $\frac{m}{V} \propto pM \propto \frac{m}{M}T$. O quociente $\frac{m}{M}$, entre a massa do gás e sua massa molecular, fornece-nos o número de moles, n , da amostra. Introduzindo, na relação anterior, a constante de proporcionalidade, que vamos designar por R , obteremos a seguinte igualdade: Concluimos, que: A pressão p , o volume V e a temperatura absoluta T de uma dada massa gasosa, contendo n moles do gás, estão relacionados pela equação

$$PV = nRT \quad (4.4)$$

Essa equação nos define o estado de um gás ideal [1, 3, 7, 8].

4.5 Modelo molecular de um gás

Todas essas leis que estudamos nesse capítulo são usadas para os gases ideais e seus átomos, então com base nisso vamos falar novamente das experiências, como sabemos a teoria cinética dos gases diz que. Os gases são compostos por inúmeros das moléculas, que se movimenta dos lados para outros de forma desordenado, isso é chamado agitação térmica, que nos ajuda a identificar melhor a temperatura dos gases. Portanto, a pressão que um gás exerce sobre as paredes do recipiente que o contem é devida as incessantes e continuas colisões das moléculas do gás contra as paredes do recipiente [1, 3].

4.6 Interpretação cinética da temperatura

No capítulo anterior, ao estudarmos a temperatura de um corpo, mencionamos que ela se relaciona com a energia de agitação dos átomos e moléculas deste corpo. Mostraremos, agora, como os físicos do século *XIX* baseados no modelo cinético de um gás, chegaram a esta conclusão. A expressão $P = \frac{1}{3} \frac{N}{V} mv^2$ que havia sido obtida baseando-se no modelo cinético, pode ser escrita.

$$PV = \frac{1}{3} Nmv^2 \quad (4.5)$$

Comparando-a com a equação de estado de um gás ideal, $pV = nRT$, que havia sido obtida experimentalmente, conclui-se que

$$\frac{1}{3} Nmv^2 = nRT \quad (4.6)$$

Mas, sendo N_o (número de Avogadro) o número de moléculas que existe em $1mol$ e sendo n o número de moles que corresponde a N moléculas, é claro que

$$N = nN_o \quad (4.7)$$

Levando este valor de N na igualdade anterior, virá

$$\frac{1}{3} nN_o mv^2 = nRT \text{ ou } mv^2 = 3 \frac{R}{N_o} T \quad (4.8)$$

Dividindo-se os dois membros desta igualdade por 2, teremos

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2} \frac{R}{N_o} T \quad (4.9)$$

Depois de muitos anos o físico austríaco de nome Ludwig Boltzmann, no século XIX, ele propôs outra forma de escrever a equação para um gás ideal $pV = nRT$, onde P é chamado de pressão, T de temperatura, V do volume e o R de constante universal, segundo Boltzmann ele dividiu o valor de R(constante universal) sobre valor de N_o (número Avogadro), assim conseguiu o valor constante de Boltzmann. Então

$$K = \frac{R}{N_o} = \frac{8,13}{6,02 \times 10^{23}} \quad (4.10)$$

$$K = 1,38 \times 10^{-23} J/K \quad (4.11)$$

Que mostra ser a energia cinética média das moléculas de um gás diretamente proporcional à sua temperatura absoluta, isto é, quanto maior for a energia cinética média das moléculas, será a temperatura do gás. Destacamos, então, que: A temperatura absoluta, T , de um gás está relacionada com a energia cinética média, E , de suas moléculas através da expressão

A temperatura absoluta, T , de um gás está relacionada com a energia cinética média, E , de suas moléculas através da expressão. [2, 3, 1]

$$E = \frac{3}{2} KT \quad (4.12)$$

Onde k é a constante de Boltzmann.

4.7 Energia interna de um gás ideal

A energia interna de um dado número de mols de um gás ideal é diretamente proporcional à temperatura absoluta. No entanto, é importante trabalharmos com a variação da energia interna de um gás e não propriamente com a energia. Essa variação é dada por:

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T \quad (4.13)$$

Onde n é o número de mols do gás, R é a constante universal dos gases perfeitos ($R = 8,31J/mol.K$) e ΔT , a variação de temperatura em Kelvin.

Quando:

$\Delta U > 0$ a energia interna aumenta, a temperatura aumenta.

$\Delta U < 0$ a energia interna diminui, a temperatura diminui.

$\Delta U = 0$ a energia interna não varia, não há variação de temperatura. [2]

5 CALOR, TRABALHO E PRIMEIRA LEI DE TERMODINÂMICA

5.1 A teoria do calórico

Primeiramente trazemos o conceito de equilíbrio térmico, equilíbrio térmico é quando tem dois corpos com diferente grau de temperatura, que estão no mesmo sítio, num determinado tempo eles passam a ter a mesma temperatura. Então os cientistas na altura empreendiam várias tentativas para tentar explicar ao mundo como tudo isso acontece, que a temperatura é um fenômeno invisível, que não tem peso, por isso denominada de calórico. Quer dizer que quando um corpo tem maior a temperatura significa que ele vai ter maior quantidade de calórico em seu interior. Depois de muitos cientistas tentaram explicar esse fenômeno, acabaram por notar que o calor é uma forma de energia [1].

5.2 Calor é energia

Antigamente os físicos pensavam que quando um corpo está mais aquecido, ele possui maior quantidade de calórico, no ano 1798, o Rumford engenheiro militar, que trabalhava na perfuração de canos de canhão, com os seus trabalhos de perfuração de peças, acabou por perceber que a energia que ele utiliza para perfuração era transferida para a peça, graças a elevação da temperatura a teoria de Rumford provocou muitas discussões na altura, depois vem o James P. Joule (1818-1889), com os seus experimentos acabou de descobrir que a teoria de Rumford era verdade, logo passou a ser tomado por definitivo, que o calor é uma fonte da energia. Quando a temperatura de um corpo é aumentada, então a energia no interior também vai aumentar, se é colocado em contato, em certo tempo haverá transferência de energia.

Calor é a energia transferida de um corpo para outro em virtude, unicamente, de uma diferença de temperatura entre eles. então como a energia tem a unidade no sistema internacional de caloria ou joule, logo essa unidade vai passar a ser para o calor[1, 8]

$$1cal = 4,18J \quad (5.1)$$

5.3 Transferência de calor

O calor é uma forma de energia que se propaga de um corpo para outro e, espontaneamente, do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura. Existem três maneiras

dessa propagação ocorrer: a condução térmica, a convecção térmica e a radiação térmica.

5.3.1 Condução

É o processo pelo qual o calor é transferido através das moléculas do corpo. Por exemplo, ao segurar uma colher constituído por um metal, mexendo a comida na panela que está numa chama, os átomos daquela região recebem essa energia e passam a vibrar mais intensamente, conseqüentemente, gera-se mais energia cinética; num certo tempo os átomos ou moléculas vão aquecendo pela temperatura da panela, ele vai adquirir maior a energia, então energia vai transferir para a parte vizinha da colher, logo a temperatura da outra região de colher vai aumentar. Esse processo de transmissão de calor é denominado condução. dependendo da constituição atômica de uma substância, a agitação térmica poderá ser transmitida de um átomo para outro com maior ou menor facilidade, fazendo com que esta substância seja boa ou má condutora de calor. Nesse processo, a transferência de energia ocorre por interação, ao nível microscópico, de unidades estruturais da matéria sem que ocorra transporte de matéria. A condução térmica não pode ocorrer no vácuo, pois necessita de uma meio material para se propagar. Nos sólidos, esta é a única maneira do calor se propagar, pois não implica em transferência de matéria. Bons condutores: são aqueles materiais, com facilidade de conduzir o calor, como, por exemplo, os metais. Maus condutores: são aqueles materiais que dificultam a propagação do calor. Podem também ser chamada de isolantes térmicos, como na lã, madeira, isopor, borracha [1, 2, 3].

5.3.2 Convecção

Convecção térmica é uma transferência de calor onde existe a movimentação da matéria, então isso pode acontecer só nos fluidos (líquidos e gases). Quando você tem uma panela com a água, a panela tem uma chama por fundo, então quando a panela começar aquecer, a temperatura aumenta, o volume também vai aumentar, logo a densidade diminui, a parte mais quente vai subir, e a parte de cima que menos quente vai descer, logo esse processo vai continuar para todo tempo. Este processo é muito útil para o funcionamento das geladeiras, condicionadores de ar, ascensão de balões, etc.

5.3.3 Radiação

Por último, todos os corpos aquecidos emitem radiação térmica por outro corpo, estas radiações, assim como as ondas de rádio, a luz, os raios X etc., são ondas electromagnéticas, que não necessita de um meio material para transferir a energia. Essa transferência de calor radiação é denominado por radiação térmica, o calor que recebemos através do sol, um exemplo [1, 2, 3].

5.4 Capacidade térmica e calor específico

5.4.1 Capacidade térmica

A capacidade térmica C é a razão entre a quantidade de calor Q recebida por um corpo e a variação de temperatura ΔT sofrida por ele. De seguinte modo: se um corpo recebe uma quantidade de calor ΔQ e sua temperatura varia de ΔT , a capacidade térmica deste corpo é dada por

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (5.2)$$

A unidade de capacidade térmica é J/C [1, 2, 3].

5.4.2 Calor específico

Calor específico é uma quantidade de calor que uma substância necessita para a variação de temperatura, e, por outro lado, o valor da capacidade térmica depende do corpo para outro, quando eles têm massa diferente, como, por exemplo, se estivemos dois ou mais blocos de diferentes massas e sua capacidade térmica também vai ser diferente. Entretanto, verificou-se que, dividindo-se a capacidade térmica de cada bloco pela sua massa, então, o quociente $\frac{C}{m}$ é constante. Este constante é denominado por calor específico. Logo: se um corpo de massa m tem uma capacidade térmica C , o calor específico, c , do material que constitui o corpo é dado por

$$c = \frac{C}{m} \quad (5.3)$$

Observe a unidade [1, 2, 3, 8]

substância	Calor específico(cal/g°C)
Água	1,00
Gelo	0,50
Areia	0,20
Vidro	0,16
Aço	0,10
Ouro	0,03
Alumínio	1,00

- Fonte: Retirada de [1].

A tabela representa valores de calor específico, onde cada substância representa o seu respectivo valor

5.4.3 Cálculo do calor absorvido por um corpo

Então, a capacidade é definida por seguinte maneira $c = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$, logo a quantidade de calor Q , que um corpo libera quando varia a temperatura t , é:

$$\Delta Q = C\Delta t \quad (5.4)$$

Assim podemos notar que ΔQ em função de calor específico, c , é $c = \frac{C}{m}$.

Assim, teremos

$$\Delta Q = mc\Delta t \quad (5.5)$$

Então concluímos que: A quantidade de calor, ΔQ , absorvida ou liberada por um corpo de massa m e calor específico c , quando sua temperatura varia de Δt , pode ser calculada pela relação (5.5)

5.5 A primeira lei da termodinâmica

A primeira lei da termodinâmica está baseada no princípio de conservação de energia. O físico Michael Faraday demonstrou que a energia gerada por uma bateria, que é um gerador eletroquímico, está diretamente relacionada com a quantidade de metal consumido no

processo de transformação de energia química em energia eléctrica, enquanto a bateria está em funcionamento. Enquanto isso, o físico inglês James Prescott Joule (1818-1889) mostrou que a quantidade de calor produzida pela energia eléctrica dessa bateria era a mesma obtida pela queima de uma massa igual a do metal utilizado na reação química na bateria, comprovando, desse modo, a conservação de energia. No entanto, não se sabia ao certo de onde provinha o calor gerado durante a conversão de energia mecânica em eléctrica nos geradores eléctricos. Entre 1843 e 1847, Joule realizou várias experiências, concluindo que o calor produzido com a utilização de ímãs nesses geradores era devido ao movimento mecânico das partes móveis do gerador. Ele mediu o trabalho necessário para acionar o gerador e comparou com a quantidade de calor gerado pela corrente eléctrica que este produzia, e concluiu que uma certa quantidade de trabalho produzia sempre a mesma quantidade de calor. Essa descoberta foi a base científica para a formulação da primeira lei da termodinâmica. Agora falaremos de primeira lei de termodinâmica, termodinâmica é ramo da física que estuda relação entre calor, trabalho e a energia. Então se colocarmos um recipiente numa chama, quando o recipiente começa a receber o calor, num determinado tempo, teremos porção gasosa, o gás vai sair do estado inicial da pressão para estado final de pressão [1, 2, 3, 8].

O princípio de conservação da energia nos permite concluir que sua energia interna sofrerá uma variação ΔU dada por

$$\Delta U = \Delta Q - \tau \quad (5.6)$$

5.5.1 $\Delta Q = \text{Calor trocado}$

Quando calor trocado é maior que o 0 (zero), significa que o calor é positivo, o gás ganha ou receber o calor.

Quando calor trocado é menor que o 0 (zero), significa que o calor é negativo, o gás cede ou perder o calor.

Quando calor trocado é igual a 0 (zero), significa que não houvesse a troca de calor, logo passa a ser chamada de processo adiabático que é não troca de calor com ambiente.

5.5.2 $\Delta U = \text{Variação de energia}$

Quando a energia é maior que o 0 (zero), significa que é positivo, a temperatura aumenta.

Quando a energia é menor que o 0 (zero), significa que é negativo, a temperatura diminui.

Quando a energia é igual que o 0 (zero), significa que não tem troca de calor, logo a temperatura é constante.

5.5.3 $\tau = \text{Trabalho}$

Quando o trabalho é maior que o 0 (zero), significa que o volume aumenta (gás sofre a expansão).

Quando o trabalho é menor que o 0 (zero), significa que o volume diminui (gás sofre a compressão).

Quando o trabalho é igual que o 0 (zero), significa que gás não expande e também não contrai, logo o volume é constante. Logo é Isovolumétrica, que significa não tem variação de volume, então não a realização de trabalho.

$\Delta U = 0$, logo, temperatura é constante

$\tau = 0$, logo, volume é constante

$\Delta Q = 0$, logo, pressão é constante.

Essa lei pode ser enunciada de seguinte maneira:

5.6 Aplicações da primeira lei da termodinâmica

5.6.1 Transformações termodinâmicas

5.6.2 Transformação adiabática

A transformação adiabática é um processo onde não houve a troca de calor, a quantidade de calor não tem nenhuma ligação com energia interna e o trabalho, quando um gás se encontra numa parede de material isolante térmico, quando o gás expande (comprimido), logo ele não vai poder ceder nem receber o calor do outro corpo vizinho, ou seja, não haverá a troca de calor. E também mesmo que o gás sofra expansão (compressão) rápida, ele vai ter a mesma

reação. É por isso que segundo os físicos, a quantidade de calor vai ser igual a zero, logo essa teoria passa a ser denominada transformação adiabática. logo a equação geral[3].

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (5.7)$$

Quando aplicamos a primeira lei da termodinâmica, $\Delta U = \Delta Q - \tau$, a uma transformação adiabática, como temos $\Delta Q = 0$

$$\Delta U = -\tau \quad (5.8)$$

5.6.3 Transformação isotérmica

A transformação isotérmica é um processo onde a temperatura permanece constante. Após cientistas como Robert Boyle e Edme Mariotte descobriram que quando a pressão de um gás ideal e volume for constante, significa que não houver a vária temperatura. Essa lei passa a ser denominada lei de Boyle-Mariotte, e a pressão e o volume são inversamente proporcionais

$$P_a V_a = P_b V_b \quad (5.9)$$

logo o trabalho passa ser igual ao calor. Pela primeira lei da termodinâmica, teremos

$$\Delta U = \Delta Q - \tau \text{ donde } \Delta U = 0 \text{ ou seja } \Delta U = \text{constante} \quad (5.10)$$

5.6.4 Transformação isobárica

Na transformação isobárica o volume e a temperatura aumentam, logo a pressão é constante, e o volume diretamente proporcional à temperatura absoluta.

$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B} \quad (5.11)$$

Em uma transformação isobárica, sempre há variação de temperatura, consequentemente, ocorre variação interna do gás, ou seja, $\Delta U \neq 0$. Dessa maneira, podemos concluir

que a quantidade de calor trocada com o ambiente e o trabalho realizado na transformação são diferentes.

$$Q \neq \tau \quad (5.12)$$

5.6.5 Transformação isométrica

Nas transformações isométricas o volume constante, portanto $\tau = 0$; a pressão diretamente proporcional à temperatura absoluta.

$$\frac{P_A}{T_A} = \frac{P_B}{T_B} \quad (5.13)$$

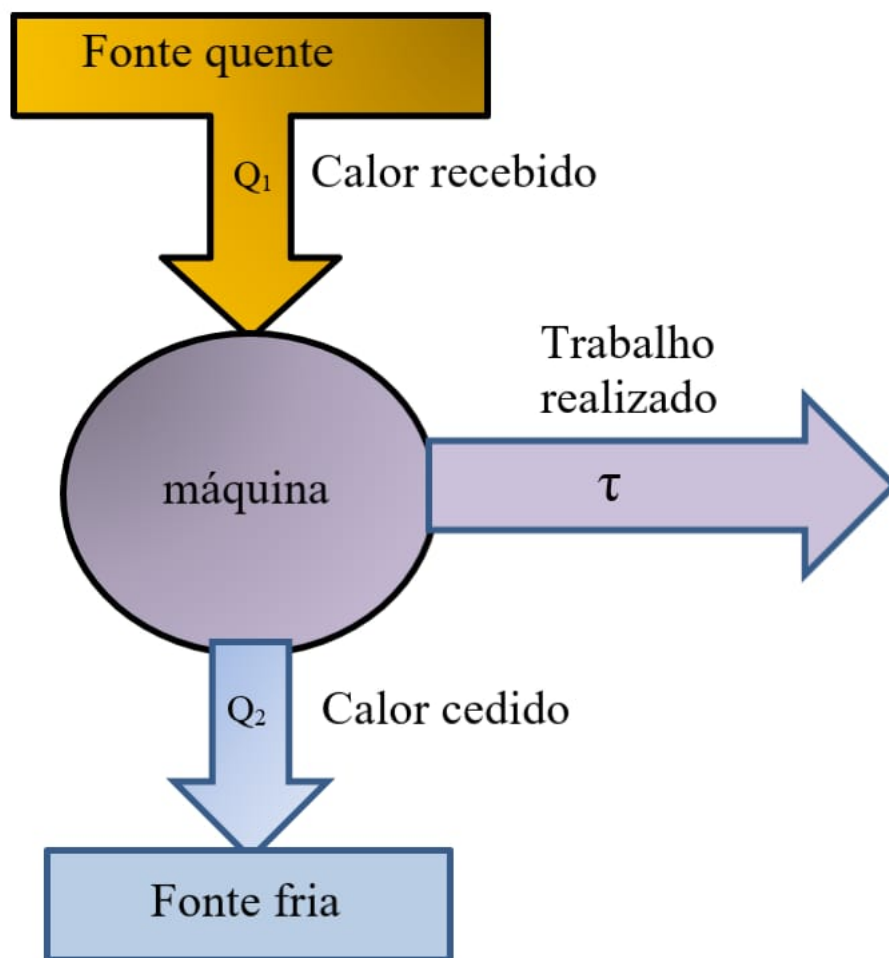
Como não há variação de volume, não há trabalho ($\tau = 0$) realizado [1, 2, 3, 4].
temos:

$$\Delta U = Q \quad (5.14)$$

6 MÁQUINAS TÉRMICAS E SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

A máquina térmica é uma máquina que funciona com fornecimento de energia sob a forma de calor e realizam trabalho. Estas máquinas usam a força motriz do calor. No século I d.C. o cientista grego Heron construiu o dispositivo, formado pelo aquecimento da água, ele colocou a esfera metal de rotação, quando a água receber a energia, vai haver o vapor, através daquele vapor vai haver o momento [1, 2, 5, 7, 8]. Esquemáticamente podemos representar uma máquina térmica por:

Figura 7 – Máquina térmica



Fonte: MOURA, 2017

Figura 7 representa máquina térmica e o funcionamento do ciclo onde ela necessita de duas fontes de temperaturas diferentes (quente e fria) para transformar o calor em trabalho.

6.0.1 A segunda lei da termodinâmica

A primeira lei de termodinâmica está relacionada com a energia que entra e sai de um sistema através da sua fronteira. com a variação de energia interna (ΔE), a variação de energia é dada por

$$\Delta U = Q - \tau \quad (6.1)$$

A segunda lei da termodinâmica diz que: É impossível construir uma máquina térmica que, operando em ciclo, transforme em trabalho todo o calor a ela fornecido. Isso nos mostra que o rendimento de qualquer máquina térmica nunca vai passar 100 por cento, sempre vai ser inferior à 100 por cento [1, 2, 5].

6.1 Motor combustão interna

Nesse capítulo vamos falar de motor à combustão, ele está presente em diversas atividades, por exemplo, para se locomover até seu trabalho, escola, fazer viajar e muito mais que seja em algum veículo automotivo, carro, ônibus, barco. Existem duas categorias de motor a combustão: motor a combustão externa e interna, como explicaremos a seguir. Por definição, motor é uma máquina que converte energia (térmica, elétrica, hidráulica, etc.) em energia mecânica. Em registros históricos temos que no século XVIII foi inventado o primeiro motor combustão externa, é chamado também de máquina vapor, que eram usados nos trens antigos, navios, o combustível na altura era lenha, carvão, madeira, óleo ou outro. No século XX o alemão Lenoir construiu o motor combustão interna (a combustível queima no motor) que tinha a potência de 1 CV, trabalhava com gás de iluminação, essa máquina deu grande revolução. Por descoberta de Lenoir, vêm Otto e Langen (1861) basearam na máquina de Lenoir, fizeram o motor que comprimia a mistura de ar e gás de iluminação, com ignição feita por uma centelha. No ano seguinte engenheiro Francês Beau de Rochas falou de princípio termodinâmico baseando no motor de Otto, no ano 1872 apresentou o motor, que usava gás de carvão ou o gasogênio como combustível com ignição feita por centelha elétrica. Logo no ano 1889 a gasolina foi usada como combustível no motor ciclo Otto. Com esse desenvolvimento, no ano 1893 vem o engenheiro alemão Rudolf Diesel, desenvolveu novo motor, onde a ignição da mistura ar mais combustível era feita por compressão. Com essa descoberta de Rudolf Diesel, esse motor

passou a ser chamado motor Diesel.

6.1.1 Tipos de motores

- Combustão externa: máquina vapor
- Combustão interna:

6.1.2 De pistão

- Ciclo Otto gasolina (admissão da mistura ar-combustível)
- Ciclo diesel o óleo diesel (admissão de ar)

6.1.3 De êmbolo rotativo

- Wankel

6.2 Classificação dos motores de Combustão interna

6.2.1 Utilização

- Estacionários: as máquinas estacionárias: geradores elétricos, moto bombas etc.
- Industriais: As máquinas industriais: tratores, carregadeiras, guindastes, compressores de ar, etc.
- Veiculares: As máquinas veículos: transporte em geral, caminhões e ônibus.
- Marítima: A marítima: barco.

6.2.2 Ignição

- Por centelha (ignição por centelha)
- Por compressão (ignição por compressão)

6.2.3 Movimento de pistão

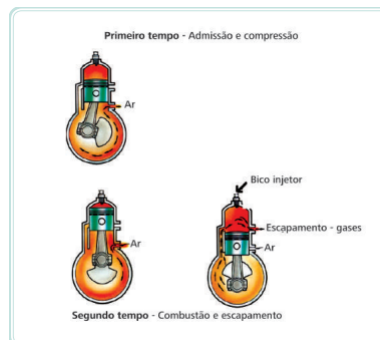
- Alternativos (Ciclo Otto e Ciclo Diesel)
- Rotativo (Wankel)

6.2.4 Fases dos ciclos de trabalho

- Dois (2) tempos

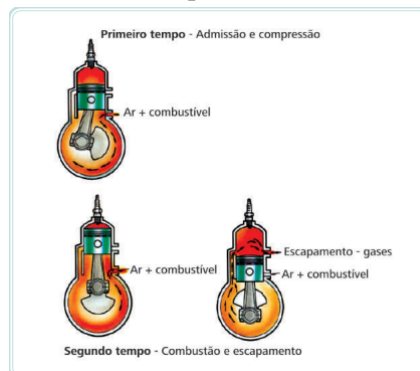
No motor de 2 tempos, no processo de compressão e a expansão a admissão e o escape acontece no mesmo tempo, a parede de cilindro contém uma fileira de janelas. No 1ª tempo: quando o pistão desce, e as janelas de admissão são descobertas, o cilindro é novamente purificado pelo ar limpo. O ciclo completo de combustão é concluído em cada cilindro durante cada volta do virabrequim, ou em outras palavras, em 2ª tempos. o pistão desceu, e descobre as janelas de admissão, abertas dando entrada ao ar, que está sendo empurrado para um soprador. Ao entrar, o ar expulsa os gases queimados, que sairão através da passagem aberta pelas válvulas de escape. O fluxo de ar em direção às válvulas de escape limpa tudo, deixando o cilindro cheio de ar limpo, por isso, é muitas vezes esse processo é comumente chamado de lavagem. No 2ª tempo: o pistão está descendo e fecha as janelas de admissão ao mesmo tempo, em que as válvulas de escape fecham-se. E enfim o ar limpo que entrou é submetido à compressão.

Figura 8 – Funcionamento do motor Diesel 2 tempos - ciclo Diesel: a) Primeiro tempo; b) Segundo tempo,



Fonte: TILLAMANN, 2013

Figura 9 – Funcionamento do motor Diesel 2 tempos - ciclo Otto: a) Primeiro tempo; b) Segundo tempo,



Fonte: TILLAMANN, 2013

- Quatro (4) tempos

Motor a combustão interna de pistão funciona seguindo os tempos do ciclo diesel que são 4, São eles:

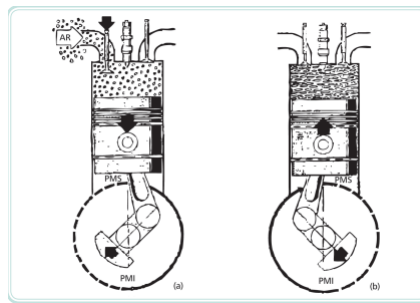
- Admissão,
- Compressão,
- Combustão
- Escape

Essas fases acontecendo de forma consecutiva podemos chamar de ciclo do motor. Na admissão temos o pistão descendo caso a válvula de admissão esteja aberta e a de escape esteja fechada. Com esse movimento do pistão é criada uma depressão interna, com isso o ar é então forçado pela pressão atmosférica a entrar no cilindro, onde ele passa pelo filtro de ar e pela tubulação de admissão. No tempo de admissão a quantidade de ar admitida é não muda, independentemente da potência que estiver sendo utilizada ou a posição do acelerador. Na compressão temos o pistão subindo, nesse caso as válvulas de admissão e de escape estão fechadas. O ar admitido na fase anterior é comprimido até ocupar o volume da câmara de combustão e devido à compressão, o ar se aquece. Com o fim da compressão, o bico injetor injeta o óleo diesel pulverizado finalmente, no interior da câmara de combustão, o resultado desse processo é a combustão quando o óleo diesel entra em contato com o ar aquecido e se infla. Em detalhes temos na combustão o pistão acionado pela força de expansão dos gases queimados, descendo. Nesse momento as válvulas de admissão e de escape estão fechadas. Então a força de expansão dos gases queimados é transmitida pelo pistão à biela e desta ao virabrequim, resultando no movimento de rotação do motor. Na expansão temos o único tempo que produz energia, sendo que os outros três tempos consomem uma parte dessa energia. A energia produzida é acumulada pelas massas do virabrequim e do volante. No tempo do escape temos o pistão subindo e a válvula de escape aberta e a de admissão fechada. Os gases queimados são expulsos através da passagem dada pela válvula e escape.

6.2.5 *Número de cilindros*

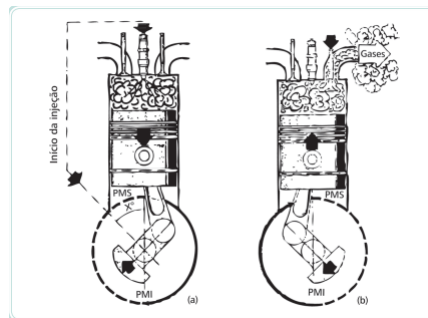
- Monocilíndricos
- Policilíndricos

Figura 10 – Funcionamento do motor Diesel 4 tempos: a) Admissão; b) Compressão.



Fonte: TILLAMANN, 2013

Figura 11 – Funcionamento do motor Diesel 4 tempos: a) Combustão; b) Escape.



Fonte: TILLAMANN, 2013

6.2.6 Disposição dos cilindros

- Em linha
- Em V
- Opostos
- Radiais

7 EXPERIMENTO DE BAIXO CUSTO: MÁQUINA VAPOR

Neste capítulo, descrevemos um experimento de baixo custo feito com o uso de material reutilizável para se montar uma máquina térmica onde demonstramos a transformação da energia térmica em energia mecânica.

Figura 12 – Máquina vapor



Fonte: Próprio autor

7.0.1 Objetivo

Este experimento tem como objetivo demonstrar a conversão de energia térmica em energia mecânica através da construção de uma máquina térmica a vapor. Para tornar o experimento mais acessível vamos usar materiais de baixo custo.

7.0.2 Materiais utilizados

- 1 Placa de madeira (20cmx25cm)
- 4 pregos médios (para usar como suporte)
- Martelo
- Tesoura
- 2 latinha de alumínio
- Seringa
- Água
- Pedaco de arame (30cm)
- Alicates
- Cola de contato

- Álcool
- Isqueiro

Figura 13 – Materiais utilizados



Fonte: Próprio autor

7.0.3 *Passo a passo*

Cuidadosamente, esvazie uma das latas fazendo um furo pequeno na parte superior com um dos pregos. Com auxílio da seringa, coloque água no interior da lata até a metade dela. Use o martelo para fixar os quatro pregos na madeira que será a base do experimento (conforme fig. 12). Use a tesoura para cortar a base da outra lata e fazer o recipiente de álcool. Com a outra lata faça a hélice de cata-vento. Corte com o alicate 30 cm para fazer o suporte para hélice. Cole com a cola de contato o suporte para a hélice na placa de madeira.

7.0.4 *Montagem final*

Realizar a montagem do experimento como demonstra a Fig. (12). Com auxílio do martelo fixamos os pregos na madeira. Colocamos a lata com água sob os pregos. Colamos o arame para ser suporte da hélice 10 cm à frente da lata. Colamos álcool no recipiente que está embaixo da lata. Use a chama do isqueiro para acender o fogo. Observe que com o calor vindo da combustão do álcool, a água entra em ebulição pelo pequeno furo. Fazendo com que a hélice se movimente.

Figura 14 – Montagem e procedimento



Fonte: Próprio autor

7.0.5 Considerações finais

Termodinâmica é parte da física que estuda fenômenos associados aos conceitos de temperatura e calor. O calor é uma forma de energia que se propaga de um corpo para outro e, espontaneamente, do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura. Essa relação é facilmente mostrada em vários experimentos de baixo custo, por exemplo, se pegar uma panela (ou um recipiente metálico não-derretível ao ser colocado no fogo por longo período) e colocar a água dentro dela e em seguida colocar algo que resulta no fechamento desse recipiente (uma tampa, por exemplo), ao ser colocado no fogo, a temperatura aumentará, e consequentemente o nível de agitação e a velocidade das partículas também vão aumentar.

Energia térmica é a soma da energia cinética e potencial de todas as partículas constituintes de um corpo. A energia térmica depende diretamente da temperatura absoluta do corpo. Energia mecânica é a energia produzida pelo trabalho de um corpo que pode ser transferida entre os corpos. Ela corresponde a soma da energia cinética (E_c), produzida pelo movimento dos corpos, com a energia potencial elástica (E_{pe}) ou gravitacional (E_{pg}), produzida por meio da interação dos corpos relacionada com a posição dos mesmos.

Nesse experimento observa-se que à medida que a temperatura aumenta na lata a água se transforma em vapor, com isso, o nível de agitação e a velocidade das partículas da água vai aumentando dentro da lata, ao passar para o estado gasoso sai com uma pressão podendo movimentar a hélice. Esse processo ocorre porque com aumento de agitação das partículas, dentro da lata, as moléculas se expandem, aumentando a pressão interna, provocando

a saída do vapor no furo feito na lata com força suficiente para girar o obstáculo encontrado que é a hélice do alumínio, conseqüentemente transformando a energia térmica em energia mecânica.

8 CONCLUSÃO

Essa pesquisa nos permitiu abordar questões teóricas sobre termodinâmica alinhadas ao conhecimento prático que podem ser exploradas dentro e fora de sala de aula. Pudemos também abordar um importante tema que é aplicação de conhecimentos teóricos em práticas com um experimento de baixo custo para melhor absorção do conteúdo citado, enfatizando a importância do uso de experimentos no ensino da física. Com a explanação sobre os conceitos básicos de calor, temperatura, escalas termométricas e suas conversões, chegamos à discussão sobre os fenômenos térmicos e suas características. Consequentemente, passamos para conceitualização, caracterização e aplicação teórica da primeira lei da termodinâmica e, além de teórica e prática, no caso da segunda lei. O recurso aplicado para vermos na prática a aplicação da segunda lei da termodinâmica foi o experimento de baixo custo chamado máquina vapor, onde pudemos observar o funcionamento de um motor de combustão externa gerando a transformação de energia térmica em energia mecânica.

REFERÊNCIAS

- [1] MÁXIMO, Antonio; ALVARENGA, Beatriz **Física ensino medio**. 1^a ed. Volume 2. São Paulo: editora scipione, 2006 .
- [2] SARAIVA, Ana Paula A. **Experiências de Termodinâmica na Sala de Aula** . Universidade da Beira Interior. Covilhã, Outubro de 2012.
- [3] SOBRINHO, Antonio Araújo; SOUZA, Gilberto M. de Paula **FÍSICA TERMICA Teórica e Experimental**. Natal: Editora do CEFET-RN, 2006
- [4] MUNIZ, Célio Rodrigues Muniz; CASTRILLO, Lázaro Silveira **Introdução à física**. Fortaleza: Editora RDS, 2009
- [5] MOURA, Tiago Martins **A segunda lei da termodinâmica e o conceito de entropia: uma proposta de sequência didática potencialmente significativa**. Mossoró: 2017
- [6] PERUZZO. Jucimar **A Física Através De Experimentos**. 1^a ed. Volume 2. 2008 .
- [7] AGUIAR, Carlos Eduardo; MOURA, Marcos **Entropia Estatística e o Ensino da 2^a Lei da Termodinâmica**.
- [8] RODRIGUES, Davi C. **Termodinâmica**. Vitória-UFES, Departamento de Física, 2011
- [9] SÉRÉ, Marie-Geneviève. **O papel da experimentação no ensino da física**. Porto Alegre-PUCRS, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, 2003
- [10] TILLMANN, Carlos Antonio da Costa. **Motores de combustão interna e seus sistemas**. Pelotas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2013.