



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS (CMC)
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (DCT) - CARAÚBAS
CURSO DE INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

GUILHERME LOPES DE JORGE

**COMPORTAMENTO DOS GASES: UM ESTUDO A PARTIR DE UMA
PRÁTICA LABORATORIAL DE TERMODINÂMICA.**

CARAÚBAS - RN

2019

GUILHERME LOPES DE JORGE

**COMPORTAMENTO DOS GASES: UM ESTUDO A PARTIR DE UMA
PRÁTICA LABORATORIAL DE TERMODINÂMICA.**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA.

Orientadora: Italla Medeiros Bezerra, Prof. Dr.

CARAÚBAS - RN

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

J82c Jorge, Guilherme Lopes de. Comportamento dos gases: um estudo a partir de uma Prática laboratorial de termodinâmica. / Guilherme Lopes de Jorge. - 2019.
46 f. : il.

Orientadora: Italla Medeiros Bezerra.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2019.

1. Termodinâmica. 2. Prática. 3. Laboratório. 4. Máquinas térmicas. I. Bezerra, Italla Medeiros, orient. II. Título.

GUILHERME LOPES DE JORGE

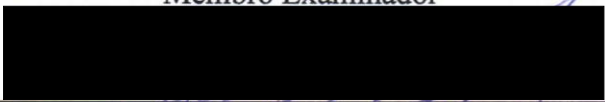
**COMPORTAMENTO DOS GASES: UM ESTUDO A PARTIR DE UMA
PRÁTICA LABORATORIAL DE TERMODINÂMICA.**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA.

Aprovada em: 14/08/2019

BANCA EXAMINADORA


Italla Medeiros Bezerra, Prof. Dr. (UFERSA) Presidente

Mackson Matheus Franca Nepomuceno, Prof. Dr. (UFERSA) Membro Examinador

Rudson De Souza Lima, Prof. Dr. (UFERSA)

*Aos meus pais, minhas tias, minha namorada, e
aos meus amigos, que com muito apoio, não
mediram esforços para me incentivar e ajudar
a continuar no curso e chegar até aqui.*

“Importante não é ver o que ninguém nunca viu,
mas sim, pensar o que ninguém pensou sobre
algo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

RESUMO

O trabalho a ser apresentado tem como proposta desenvolver um novo aparato experimental na área da termodinâmica, especificamente no estudo do comportamento dos gases, nos ciclos termodinâmicos, e no trabalho termodinâmico realizado pelos mesmos. Tendo como objetivo, uma forma de melhorar a compreensão dos temas abordados na disciplina de Ondas e Termodinâmica, através de uma representação prática em laboratório, visando uma melhor didática e aprendizagem dos discentes. Através dos métodos empregados para a realização deste trabalho e para a confecção do experimento, conclui-se que com a aprimoração do experimento (uma vez que os resultados obtidos se mostraram promissores), é possível inserir o novo aparato como uma prática laboratorial na disciplina de Laboratório de Ondas e Termodinâmica. Com esse novo método experimental desenvolvido, e, se implementado com os materiais necessários, será possível que os discentes compreendam de uma forma mais clara, as diferentes variações que um gás pode sofrer, os possibilitando assim, calcular diversos parâmetros termodinâmicos, contribuindo para uma familiarização do real funcionamento das máquinas térmicas, como por exemplo: motor à combustão, turbinas à vapor e locomotivas.

Palavras-chave: Termodinâmica. Prática. Laboratório. Máquinas térmicas.

ABSTRACT

The work to be presented aims to develop a new experimental apparatus in the area of thermodynamics, specifically in the study of gas behavior, thermodynamic cycles, and thermodynamic work performed by them. With the objective, a way to improve the comprehension of the subjects approached in the discipline of Waves and Thermodynamics, through a practical representation in the laboratory, aiming at better didactics and learning of the students. Through the methods employed for the accomplishment of this work and for the elaboration of the experiment, it is concluded that with the improvement of the experiment (once the obtained results were promising), it is possible to insert the new apparatus as a laboratory practice in the discipline of Wave Laboratory and Thermodynamics. With this new experimental method developed, and if implemented with the necessary materials, it will be possible for students to understand more clearly the different variations that a gas can undergo, thus enabling them to calculate various thermodynamic parameters, contributing to a familiarization the actual operation of thermal machines such as combustion engines, steam turbines and locomotives.

Keywords: Thermodynamics. Practice. Laboratory. Thermal machines.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Do ensino nas engenharias	11
1.2	Do problema	12
1.3	Justificativa	12
1.4	Objetivos	13
1.4.1	Objetivo geral	13
1.4.2	Objetivos Específicos	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Breve histórico a respeito da termodinâmica.....	14
2.2	Variáveis de estado de um gás	15
2.2.1	Volume	15
2.2.2	Temperatura.....	15
2.2.3	Pressão	16
2.2.3.1	Pressão absoluta e pressão manométrica	16
2.2.3.2	Medidores de pressão	17
2.3	Sistemas termodinâmicos.....	18
2.4	Lei Zero da Termodinâmica	19
2.4.1	Escala e medição	20
2.5	Primeira Lei da Termodinâmica	22
2.6	Lei dos Gases Ideais.....	22
2.7	Processos gasosos	23
2.7.1	Processo isotérmico	23
2.7.2	Processo adiabático.....	24
2.7.3	Processo isobárico	24
2.7.4	Processo isocórico	25
2.8	Entropia e Segunda Lei da Termodinâmica	26

2.9	Ciclos termodinâmicos e o ciclo de Carnot.....	26
2.9.1	Funcionamento e eficiência da máquina de Carnot	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1	Elaboração do experimento	30
3.2	Montagem do aparato experimental	34
3.3	Verificação da leitura manométrica através do sensor de pressão	35
3.4	Execução do experimento.....	36
3.4.1	Esquema para verificar experimentalmente o trabalho realizado em um processo isobárico por um gás confinado.....	36
3.4.2	Esquema para a representação experimental de um ciclo termodinâmico ..	38
3.5	Questionário com os discentes	39
3.5.1	Elaboração do questionário.....	39
3.5.2	Aplicação dos questionários	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
4.1	Desenvolvimento do experimento.....	40
4.2	Trabalho realizado por um gás em uma expansão isobárica	41
4.3	Representação de um ciclo termodinâmico.....	45
4.4	Verificação na melhoria da compreensão acerca dos assuntos abordados, por meio da prática desenvolvida.....	43
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
	REFERÊNCIAS.....	46
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIOS PARA OS DISCENTES.....	48

1 INTRODUÇÃO

1.1 Do ensino nas engenharias

No ano de 2002, foi aprovado pelo Conselho Nacional de Educação as diretrizes curriculares dos cursos de engenharia que define os princípios, fundamentos, condições e outros procedimentos curriculares necessários para a formação dos engenheiros, que devem ser seguidos por todos os cursos de Engenharia no Brasil (FRANCHI, 2003). Nessas diretrizes apresentam-se algumas condições e mecanismos que devem ser empregados durante a formação dos engenheiros (FRANCHI, 2003).

O Conselho Nacional de Educação em sua resolução CNE/CES 11, de 11 de março de 2002, empolga uma série de Diretrizes Curriculares Nacionais para o ensino de Graduação em Engenharia, como: condições, concepções e métodos pedagógicos. Além de determinar um perfil profissional do engenheiro em formação, em seu art.3º a resolução determina:

O Curso de Graduação em Engenharia tem como perfil do formando egresso/profissional o engenheiro, com formação generalista, humanista, crítica e reflexiva, capacitado a absorver e desenvolver novas tecnologias, estimulando a sua atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, considerando seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, com visão ética e humanística, em atendimento às demandas da sociedade (CNE. Resolução CNE/CES 11/2002).

Ainda na resolução CNE/CES 11, são definidas as habilidades e capacidades do discente que devem ser adquiridas e desenvolvidas durante o curso. Também é determinado a todas as universidades dos cursos de Engenharia que as mesmas apresentem um modelo de programa de atividades em caráter pedagógico, que assegure o perfil esperado dos discentes ao terminar o curso e no decorrer do mesmo, adquirindo as atribuições e competências necessárias, com objetivo de aumentar a capacidade individual e coletiva dos alunos (CNE. Resolução CNE/CES 11/2002).

Estudos mostram que alunos ingressantes dos cursos de Exatas e Tecnologia já entram com deficiência na absorção e aprendizagem dos conteúdos de matérias que

formam o corpo básico em seu nível de formação, possuindo sérios problemas em acompanhar o curso ao decorrer da graduação nos cursos de Engenharia (MIRANDA et al., 2016).

1.2 Do problema

Em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Campus Caraúbas), os alunos que iniciam este curso apresentam diversas dificuldades, não só nesta universidade, mas também em outras universidades com esse mesmo curso no país. A partir do momento em que há oferta de diversas disciplinas complexas, como por exemplo: Ondas e Termodinâmica, sendo ela de suma importância aos alunos que pretendem seguir nos cursos de Engenharia. É possível perceber um elevado grau de dificuldade na compreensão de alguns assuntos.

O estudo dos gases é abordado inicialmente no curso de Ciência e Tecnologia nesta disciplina, apresentando aos discentes os mais simples sistemas termodinâmicos, e como as propriedades interagem, afetando o funcionamento dos mesmos. Mas fica um questionamento acerca do conteúdo teórico apresentado na disciplina, ele seria suficiente para a formação e capacitação dos discentes?

1.3 Justificativa

É notório que apenas uma fundamentação teórica em sala, de um estudo tão amplo como é o campo da termodinâmica, não se satisfaz. Sendo assim, se faz necessária uma abordagem mais completa para que se facilite a compreensão e familiarize os discentes com exemplos reais, através de práticas experimentais em laboratório, assim como ocorre em outros conteúdos abordados na disciplina de Ondas e Termodinâmica.

Implementando-se uma nova prática experimental em laboratório para a demonstração e estudo das grandezas físicas de um gás, será possível entender de forma mais clara, as diferentes variações que um gás pode sofrer em determinadas condições de pressão, volume e temperatura. Conhecendo tais condições, será possível calcular o trabalho realizado por um gás em um simples sistema termodinâmico, contribuindo para uma familiarização do real funcionamento das máquinas térmicas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Desenvolver uma nova prática laboratorial no campo da termodinâmica, a fim de possibilitar uma melhor compreensão dos assuntos abordados através de uma representação prática em laboratório, visando uma melhor didática e aprendizagem dos discentes nos conteúdos abordados na disciplina de Ondas e Termodinâmica.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Construir um aparato experimental que possibilite a representação de um ciclo termodinâmico e as diferentes variações que um gás pode sofrer;
- Compreender a relação direta entre as propriedades termodinâmicas;
- Compreender o funcionamento dos ciclos termodinâmicos;
- Analisar alterações sofridas nos sistemas decorrentes de variações;
- Verificar se a prática desenvolvida melhorou a compreensão nos assuntos abordados;
- Construir gráficos e comparar dados através do experimento.

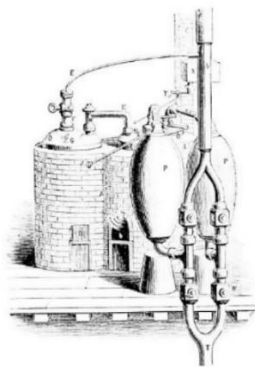
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Breve histórico a respeito da termodinâmica

A termodinâmica tem seu início por volta de 1650 e foi iniciada pelo físico alemão Otto Von Guericke (1602-1686), autor da primeira bomba de vácuo da humanidade, já em 1656, Robert Boyle (1627-1691) um químico e físico irlandês, juntamente com Robert Hooke (1635–1703) cientista experimental inglês do século XVII, partiram dos experimentos de Guericke para construir uma bomba de ar, onde foi possível perceber as primeiras relações entre temperatura, pressão e volume, e assim foi estabelecida a Lei de Boyle, mostrando que pressão e volume são inversamente proporcionais (LEE; FRANCIS, 1969).

A termodinâmica foi primordial para a construção das máquinas térmicas, utilizadas principalmente nas indústrias durante a revolução industrial, convertendo energia térmica proporcionada pela queima do carvão, em energia para realização de trabalho mecânico; a primeira máquina a vapor útil para a indústria foi o Motor de Savery, conforme apresentado na Figura 1, criado em 1689. Este consistia em uma espécie de vaso fechado cheio de água, onde vapor sob pressão era introduzido; esta máquina tinha como finalidade retirar a água de minas de sal na Inglaterra, um trabalho que era feito anteriormente por cavalos ligados a um tipo de sistema com polias e recipientes para transportar a água, e foi assim que os motores foram associados a uma certa quantidade de ‘poder em cavalos’, dependendo de quantos cavalos ele substituíria, mas o problema principal com este motor, era que ele era pouco eficiente, convertia pouco menos de 2% do combustível, ou carvão, em trabalho mecânico (SAVERY, 1702).

Figura 1: Representação do Motor de Savery



Fonte: SAVERY, 1702.

James Watt (1736-1819), inventor francês, analisou algumas deficiências das primeiras máquinas a vapor, e através de experimentos notou as melhorias necessárias a serem realizadas, sendo ele o responsável por um modelo de máquina térmica mais eficiente para a época e que possibilitava movimento circular, substituindo as máquinas utilizadas na indústria até então (KLOOSTER, 2009).

A partir das observações feitas nas primeiras máquinas térmicas, se deu uma maior importância para o estudo do comportamento dos gases, surge então em 1850, a Primeira Lei da Termodinâmica, proposta pelo físico e matemático alemão Rudolf Clausius (1822-1888), que disse: “Em um processo termodinâmico fechado, a alteração da energia interna do sistema é igual à diferença entre a alteração do calor acumulado pelo sistema e da alteração do trabalho realizado [...]” (CLAUSIUS, 1850).

2.2 Variáveis de estado de um gás

2.2.1 Volume

É uma porção de espaço cujo um corpo ocupa ou pode ser tomado por qualquer espécie mensurável, podendo ser: sólida, líquida, gasosa, quântica ou de vácuo, e tem como medida padrão metros cúbicos (m^3) no SI (Sistema internacional de unidades) (SACKHEIM, 1998).

2.2.2 Temperatura

A temperatura é uma forma de quantificar a sensação térmica de um corpo, ambiente ou sistema, e também associada ao grau de agitação das moléculas, entretanto não é tão simples assim de defini-la (YOUNG, 2008, p. 180). Ainda segundo o autor:

O conceito de temperatura tem origem nas ideias qualitativas de ‘quente’ e ‘frio’, que são baseadas em nosso tato. Um corpo que parece estar quente normalmente está em uma temperatura mais elevada do que um corpo análogo que parece estar frio. Isso é vago, e os sentidos podem ser enganosos. Contudo, muitas propriedades da matéria que podemos medir dependem da temperatura. O comprimento de uma

barra metálica, a pressão no interior de uma caldeira, a intensidade da corrente elétrica transportada por um fio e a cor de um objeto incandescente muito quente — todas essas grandezas dependem da temperatura (YOUNG, 2008, p. 180).

“A temperatura também está relacionada à energia cinética das moléculas de um material. Em geral, essa relação é bastante complexa, por isso não é uma boa ideia começar com uma definição de temperatura” (YOUNG, 2008, p. 180).

2.2.3 Pressão

A pressão nada mais é do que uma força exercida por matérias sólidas e/ou fluidas, sobre uma determinada área de um corpo ou superfície, medida em N/m^2 (conhecida como pascal ‘Pa’) segundo o SI. Um exemplo de pressão é a exercida pelo o ar atmosférico sobre nós, determinada como pressão atmosférica, expressa em ‘atm’, sendo 1 atm equivalente a 101.325,0 Pa (YOUNG, 2008).

Para se obter a pressão decorrente de uma força aplicada sobre uma área, o autor Young (2008), nos informa a seguinte equação:

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

em que F (em N no SI) é a força peso, e o A (em m^2 no SI) é a área em que a força está sendo aplicada (YOUNG, 2008).

2.2.3.1 Pressão absoluta e pressão manométrica

Se a pressão no interior do pneu de um automóvel fosse igual à pressão atmosférica, o pneu ficaria arriado. A pressão interna do pneu deve ser maior do que a pressão atmosférica para que ele possa sustentar o peso do carro, logo a grandeza física importante nesse caso é a diferença entre a pressão interna e a pressão externa [...]. Quando dizemos que a pressão de um pneu é de '2 atm' queremos dizer que o ar no interior do pneu apresenta uma pressão total de 3 atm. O excesso da

pressão acima da pressão atmosférica denomina-se pressão manométrica, e a pressão total denomina-se pressão absoluta. Quando a pressão absoluta for menor do que a pressão atmosférica, como no caso de um recipiente onde existe um vácuo parcial, a pressão manométrica é negativa (YOUNG, 2008, p. 77).

O cálculo das respectivas pressões é obtido através das seguintes equações (YOUNG, 2008):

$$P = P_{atm} + \rho gh \quad (2)$$

$$P - P_{atm} = \rho gh \quad (3)$$

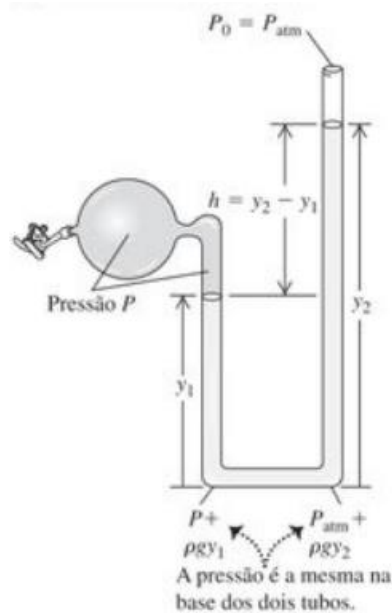
em que P é a pressão absoluta; P_{atm} é a pressão atmosférica; ρ é a densidade do fluido medida de acordo com o SI em kg/m^3 ; g é a constante gravitacional medida em m/s^2 segundo o SI, e h é a diferença de altura entre os fluidos medida em metros. A diferença expressa por: $P - P_{atm}$ determina a pressão manométrica (YOUNG, 2008, p. 77).

2.2.3.2 Medidores de pressão

- Manômetro: Equipamento utilizado para medir as diferenças de pressão (YOUNG, 2008).

O manômetro mais simples é o manômetro de tubo aberto que se pode ver na Figura 2 [...]. O tubo em forma de U contém um líquido de densidade ρ , geralmente mercúrio ou água. Uma das extremidades do tubo está conectada ao recipiente onde desejamos medir a pressão P , e a outra extremidade está aberta para a atmosfera a uma pressão $P = P_{atm}$, a pressão na base do tubo devida ao fluido da coluna da esquerda é expressa por: $P + \rho gy_1$, e a pressão na base do tubo devida ao fluido da coluna da direita é dada por: $P + \rho gy_2$. Como essas pressões referem-se ao mesmo ponto, elas são iguais [...] (YOUNG, 2008, p. 77).

Figura 2: Manômetro na forma de U



Fonte: YOUNG, 2008, p. 77.

2.3 Sistemas termodinâmicos

Quando se estuda a termodinâmica, estamos interessados especificamente nos sistemas termodinâmicos, que pode ser algo tão pequeno quanto uma célula do nosso organismo, ou o nosso próprio universo, e tudo que não está incluso ao sistema é definido como meio (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012). Segundo Halliday, Resnick e Walker (2012), existe basicamente três tipos de sistemas termodinâmicos, que são eles:

- sistema aberto: neste sistema ocorre tanto a troca de energia quanto de matéria com o meio;
- sistema fechado: neste sistema ocorre apenas a troca de energia, não sendo possível a troca de matéria;
- sistema isolado: neste sistema não ocorre nenhum tipo de troca, isso se considerarmos um sistema perfeitamente isolado.

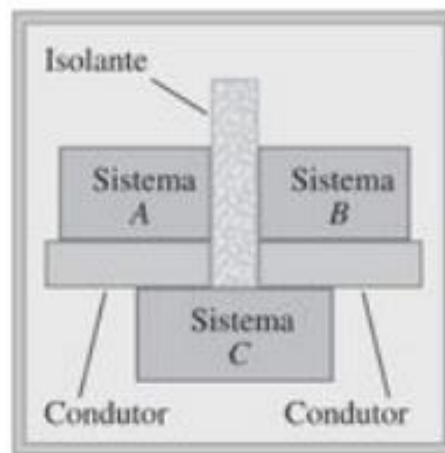
2.4 Lei Zero da Termodinâmica

A Lei Zero da Termodinâmica é a forma conhecida de entendermos a definição e conceito de temperatura, é a partir dela que podemos garantir a usabilidade do termômetro, sendo válido ressaltar que a importância dessa lei só foi reconhecida após a primeira e segunda lei serem enunciadas, mesmo sendo ela o princípio básico para a fundamentação das demais (YOUNG, 2008. p. 180-181).

Ainda em Young (2008, p. 180), ele afirma que: “Podemos descobrir uma propriedade importante do equilíbrio térmico considerando três sistemas A, B e C, que não estão inicialmente em equilíbrio térmico”, e continua:

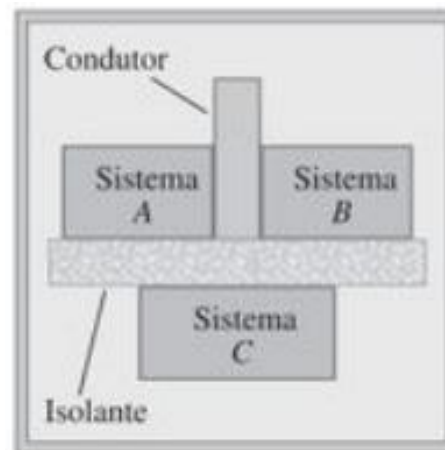
É inserido os sistemas no interior de uma caixa isolante ideal para que não possam interagir com o meio externo [...]. Separa-se A e B por meio de uma parede isolante ideal, porém é permitido que C interaja com A e B conforme apresentado na Figura 3 [...]. Essa interação ocorre porque as paredes entre C e A e entre C e B são constituídas por um material condutor térmico [...]. Espera-se até que o equilíbrio térmico seja atingido; então A e B estão simultaneamente em equilíbrio com C. Porém, será que o sistema A está em equilíbrio térmico com o sistema B? [...]. Para responder esta pergunta o sistema C é separado de A e de B por meio de uma parede isolante ideal e, a seguir, troca-se a parede isolante que existia entre eles por uma parede condutora que permite a interação entre A e B, representado na Figura 4 [...]. O que ocorrerá? A experiência mostra que nada ocorrerá; não haverá nenhuma intenção entre A e B. Concluimos, então, que: quando C está em equilíbrio térmico com A e com B, então A também está em equilíbrio com B. Esse fenômeno é conhecido como a Lei Zero da Termodinâmica (YOUNG, 2008, p. 180-181).

Figura 3: Sistemas A e B separados por uma parede isolante ideal, e interagindo simultaneamente com C



Fonte: YOUNG, 2008, p. 181.

Figura 4: Sistema C separado por uma parede isolante ideal, e os sistemas A e B interagindo entre si



Fonte: YOUNG, 2008, p. 181.

2.4.1 Escalas e medição

“Antes de usar a temperatura como uma medida para saber se um corpo está quente ou frio, precisamos construir uma escala de temperatura. Para isso, podemos usar qualquer propriedade do sistema que dependa do fato de o corpo estar quente ou frio [...]” (YOUNG, 2008, p. 180).

“A Figura 5 mostra um conhecido sistema para medir temperatura. Quando o sistema se torna mais quente, um líquido (geralmente o etanol ou o mercúrio) se expande e sobe no tubo, e o valor de L aumenta [...]” (YOUNG, 2008, p. 180).

Figura 5: Representação de um sistema para medir a temperatura a base de etanol ou mercúrio



Fonte: YOUNG, 2008, p. 180.

“Para que o dispositivo com líquido da Figura 5 se transforme em um termômetro útil, é necessário marcar uma escala numérica sobre o vidro. Esses números são arbitrários, e historicamente muitos sistemas diferentes têm sido utilizados [...]” (YOUNG, 2008, p. 180), dentre eles:

- Escala celsius: é a escala mais utilizada para quantificar a temperatura no cotidiano, expressa em graus celsius pela simbologia $^{\circ}\text{C}$ (YOUNG, 2008, p. 181).
- Escala kelvin: escala absoluta de temperatura, determinada pelo Sistema Internacional de unidades expressa pela letra K. Portanto se faz necessário a conversão das demais escalas para que se possa utilizar de maneira correta em determinados cálculos, no caso da conversão de $^{\circ}\text{C}$ para kelvin, basta ser somado o número 273,15 a sua leitura de temperatura em graus celsius. Por exemplo: $31^{\circ}\text{C} + 273,15 = 304,15\text{ K}$ (YOUNG, 2008, p. 181-182).

2.5 Primeira Lei da Termodinâmica

A Primeira Lei da Termodinâmica é uma expressão da conservação da energia, relacionando a energia interna de um sistema com calor e trabalho, sendo expressa como (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012):

$$E_{int} = Q - W \quad (4)$$

Onde Q é a energia líquida transferida na forma de calor para o sistema, e W é o trabalho realizado pelo sistema, ou seja, a variação da energia interna de um sistema é proporcional à transferência de energia térmica para este e inversamente proporcional ao trabalho realizado, ambos os termos são expressos por 'J' (joules) unidade de medida para quantificar energia no SI. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

2.6 Lei dos Gases Ideais

A Lei dos Gases Ideais é a equação de estado do gás ideal, nesta lei pode-se observar uma gama de relações entre o volume, a temperatura e a pressão de um respectivo gás. Um dos comportamentos termodinâmicos mais simples pode ser encontrado nos gases, sendo bastante fácil de se verificar que para os fluidos homogêneos, um estado termodinâmico é basicamente determinado por um par destas propriedades termodinâmicas (volume, temperatura e pressão). Isso significa que a terceira propriedade é função das outras duas nos dando uma função do tipo (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012):

$$f(P, V, T, n) = 0 \quad (5)$$

Existe também uma quarta grandeza, n , que caracteriza o número de mols do gás. Ela não apresenta relação direta com as demais, porém foi comprovado que é de extrema importância para o desenrolar das equações, após ser percebido através de experimentos que o número de mols quando alterado, interfere no restante das propriedades. Logo podemos perceber que os parâmetros da equação (5) são dependentes, e quando se modifica um dos valores, os demais são modificados também (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

Após a realização de pesquisas a respeito do comportamento dos gases de acordo com os parâmetros acima, foi possível analisar que existe uma correlação entre eles, gerando um gráfico a partir das quatro propriedades, verificou-se uma reta com específica declividade R , o que nos dá esta razão (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012):

$$R = \frac{P V}{n T} \approx 8,314 \frac{J}{Kg \cdot K} \quad (6)$$

sendo R a constante universal dos gases reais ou perfeitos e tem como unidade $J/Kg \cdot K$ de acordo com o SI (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

E finalmente temos a equação de estado para um gás ideal (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012):

$$PV = nRT \quad (7)$$

esta equação descreve a relação entre pressão, volume, temperatura e o número de mols de um gás com comportamento ideal (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

Isolando R na equação (7), observa-se que o valor é constante, logo temos a equação geral dos gases ideais (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012):

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} \quad (8)$$

2.7 Processos gasosos

2.7.1 Processo isotérmico

Robert Boyle realizou uma espécie de experimento com tubos manométricos, e verificou que nas colunas de mercúrio em contato com o ar em um processo isotérmico, a temperatura permanece constante, ou seja: a temperatura final é igual a inicial, além disso, foi considerado que o gás não varia sua quantidade de matéria (número de mols), significando assim que os dois parâmetros não são alterados de um estado inicial para um estado final, sendo assim, a partir da equação geral dos gases ideais, tem-se que somente

a pressão e o volume varia, o que implica na lei de Boyle-Mariotte, ou lei de Boyle expressa como (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012):

$$PV = cte \quad (9)$$

Assim, para processos a temperatura constante, temos que (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012):

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \quad (10)$$

Sendo o trabalho realizado por um gás neste tipo de processo dado por (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012):

$$W = n R T \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \quad (11)$$

em que as propriedades com sobrescrito 1 correspondem ao estado inicial e com sobrescrito 2, ao estado final do processo.

2.7.2 Processo adiabático

Denomina-se adiabático, o processo em que não ocorre a transferência de calor entre o sistema com o meio externo. Isso ocorre, quando o sistema está muito bem isolado, ou até mesmo quando o processo é realizado tão rapidamente que não há tempo para que ocorra uma troca considerável de energia. Logo, tem-se pela Primeira Lei da Termodinâmica que (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012):

$$E_{int} = -W \quad (12)$$

2.7.3 Processo isobárico

Partindo da equação geral dos gases ideais, Jacques Charles definiu que em um processo a pressão constante apenas o volume e a temperatura do gás variam, em uma

relação diretamente proporcional, assim como mostra a lei de Charles (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012):

$$\frac{V}{T} = cte \quad (13)$$

Logo temos que (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012):

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (14)$$

em que as propriedades com sobrescrito 1 correspondem ao estado inicial e com sobrescrito 2, ao estado final do processo.

O trabalho realizado por um gás em um processo isobárico é dado por (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012):

$$W = P \cdot (V_2 - V_1) \quad (15)$$

2.7.4 Processo isocórico

Baseado nos estudos de Jacques Charles, Joseph Gay-Lussac publicou a lei de Gay-Lussac, onde o volume do sistema é constante, da seguinte maneira (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012):

$$\frac{P}{T} = cte \quad (16)$$

Portanto, volume constante, tem-se que (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012):

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (17)$$

em que as propriedades com sobrescrito 1 correspondem ao estado inicial e com sobrescrito 2, ao estado final do processo.

Uma vez que a variação de volume é necessária para que ocorra a realização de trabalho, em um processo isocórico seu valor é zero (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

2.8 Entropia e Segunda Lei da Termodinâmica

Entropia foi a forma encontrada mais aceita para medir do grau de desordem de um sistema, sendo uma medida da indisponibilidade da energia, essa grandeza física está relacionada diretamente com a Segunda Lei da Termodinâmica, e tende a aumentar naturalmente (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

A Segunda Lei da Termodinâmica nos informa que a quantidade de entropia de algum sistema isolado tende a aumentar com o tempo, até alcançar um valor máximo, e também determina as condições em que as transformações termodinâmicas podem ser realizadas através da entropia, sendo matematicamente expressa pela equação (18), na qual, S é a entropia, e dt é o infinitésimo de tempo (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

$$\frac{dS}{dt} \geq 0 \quad (18)$$

2.9 Ciclos termodinâmicos e o ciclo de Carnot

Define-se como ciclos termodinâmicos uma repetição em sequência de transformações físicas proporcionadas por um sistema com finalidade de realizar trabalho. Estes ciclos são tomados como base para funcionamento de motores de calor (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

Um dos sistemas encontrados no estudo de termodinâmica é uma massa de gás confinada em um cilindro com um pistão móvel. Sadi Carnot (1796-1832) um físico e engenheiro francês, em 1824 propôs um motor térmico ideal capaz de converter a energia térmica em trabalho a partir do que ele denominou como Ciclo de Carnot (CARNOT, 1890).

O ciclo de Carnot funciona entre duas transformações isotérmicas e duas adiabáticas alternadamente, permitindo assim, uma menor perda de energia na forma de

calor para o meio externo. Desta forma temos as seguintes etapas descritas por Halliday, Resnick e Walker (2012):

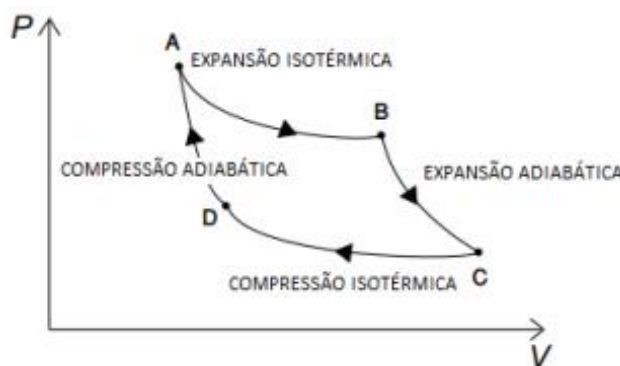
I) Processo isotérmico reversível, onde o calor é transferido do reservatório de alta temperatura;

II) Processo adiabático reversível, onde a temperatura do fluido de trabalho de um reservatório a alta temperatura diminui até o outro reservatório;

III) Processo isotérmico reversível, onde o calor é transferido do reservatório de baixa temperatura;

IV) Processo adiabático reversível, em que a temperatura do fluido de trabalho vai aumentando desde o reservatório de menor temperatura até o outro reservatório.

Figura 6: Representação dos processos do Ciclo de Canort em um diagrama P-V baseado em modelos



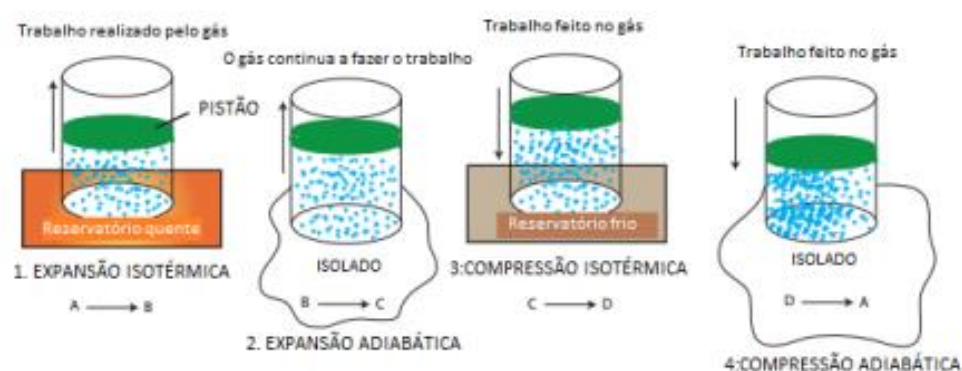
Fonte: Autoria própria.

A Figura 6 ilustra um diagrama PV (pressão x volume) do ciclo de Carnot, com o sentido sendo representado pelas setas.

Agora suponha que um conjunto pistão-cilindro contendo um determinado gás em seu interior seja colocado em contato com um recipiente em elevada temperatura, a pressão do gás aumenta de tal forma que este se expande realizando trabalho sobre o pistão, deslocando-o para uma nova posição, conforme mostra o passo 1, na Figura 7. Este processo ocorre a temperatura constante, conforme representado pela trajetória A – B no ciclo de Carnot ilustrado na Figura 6. Se isolarmos o cilindro do recipiente ainda quente, o gás continuará a expandir, portanto é um processo adiabático em que o gás continua a realizar trabalho, e na medida que o gás vai se expandindo, sua temperatura diminui; a curva adiabática que representa o passo 2 é mostrada na Figura 7 pelo caminho

B – C. No passo seguinte, o cilindro é colocado em contato com um recipiente em baixa temperatura, e calor do reservatório é transferido para o conjunto pistão-cilindro, diminuindo assim sua energia, como a temperatura permanece constante, este também é um processo isotérmico e é mostrado na Figura 8 a partir da trajetória C – D. Por fim, se isolarmos o cilindro em baixa temperatura, o gás continuará a reduzir o seu volume, e como nenhum calor é adicionado ou retirado do sistema, esta é uma compressão adiabática. O caminho D – A na Figura 7 descreve esse processo e assim, completa o ciclo de Carnot, mostrado no diagrama pV da Figura 6 (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

Figura 7: Demonstração das diferentes etapas do ciclo de Carnot baseada em modelos

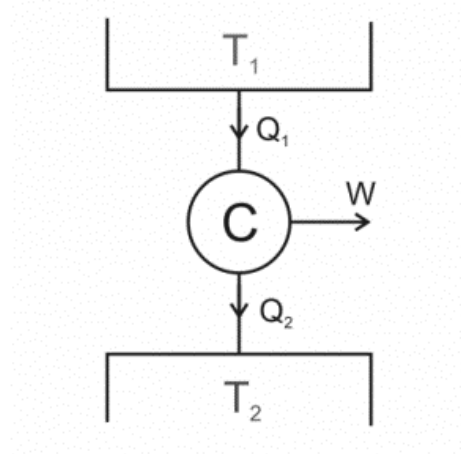


Fonte: Autoria própria.

2.9.1 Funcionamento e eficiência da máquina de Carnot

Na Figura 8 é utilizada a energia (Q) e a temperatura (T), para demonstrar que durante cada ciclo do motor térmico, o fluido de trabalho absorve a energia na forma de calor de um reservatório térmico em temperatura constante e libera a energia na forma de calor para um outro reservatório mantido a uma temperatura abaixo do anterior (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

Figura 8: Representação esquemática da máquina de Carnot baseada em modelos



Fonte: Autoria própria.

Um exemplo real é a locomotiva a vapor, a caldeira da locomotiva representa o reservatório de temperatura mais elevada, sendo retirado o calor a partir dele, uma parcela desta energia térmica é chamada de energia útil, sendo convertida em trabalho mecânico, já outra parcela desta energia, é chamada de energia dissipada, sendo liberada para a atmosfera, que no caso é a fonte fria (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

Sabemos que nas máquinas térmicas se tem o interesse em saber quanto de energia na forma de calor será convertida em energia para a realização de trabalho útil. representando o quanto determinada máquina é eficiente. para a máquina de Carnot, a eficiência térmica η é dada pela equação (19), na qual W é a quantidade de trabalho produzido e Q a quantidade de energia fornecida na forma de calor (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012):

$$\eta = \frac{W}{Q} \cdot 100\% \quad (19)$$

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho teve seu início a partir do questionamento acerca dos experimentos laboratoriais presentes na disciplina de Laboratório de Ondas e Termodinâmica, uma vez que o intuito desta disciplina é mostrar representações práticas dos conteúdos abordados na disciplina de Ondas e Termodinâmica, para que os discentes absorvam melhor o conteúdo ministrado em sala de aula.

Após fazer um levantamento dos experimentos presentes na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Campus Caraúbas), constatou-se a ausência de um experimento que abrangesse de forma mais completa o estudo dos gases, que como se sabe, é um dos temas de suma importância para os alunos destinados aos cursos de Engenharia Química e Mecânica.

O próximo passo foi buscar referências através de experimentos publicados em artigos, e em seguida adquirir os materiais e métodos necessários para que o experimento pudesse ser desenvolvido, de forma que englobasse o estudo do comportamento dos gases.

Sendo assim, foi tomado como base para a elaboração e confecção deste trabalho, o artigo publicado por Jackson e Laws (2006), onde são apresentados diversos experimentos de física, utilizando seringas de vidro, verificando inclusive os princípios da termodinâmica.

3.1 Elaboração do experimento

Partindo das fundamentações teóricas apresentadas anteriormente e de modelos experimentais observados no artigo mencionado; para a confecção do experimento proposto se fez necessário a utilização dos seguintes materiais, apresentados nas figuras 9 a 16:

- uma seringa de vidro de 20ml;
- um frasco de vidro para o armazenamento de ar de 100ml;
- um sensor de pressão modelo MPX5700DP;
- um módulo ESP32 com display;
- dois termômetros digitais (PT-03) e (WT-1);
- tubos flexíveis e “T” para conexões;

- dois recipientes de 350ml abertos para o armazenamento de água;
- isolantes térmicos (poliestireno expandido);
- um peso de massa conhecida (42,4g).

Figura 9: Seringa de vidro 20ml



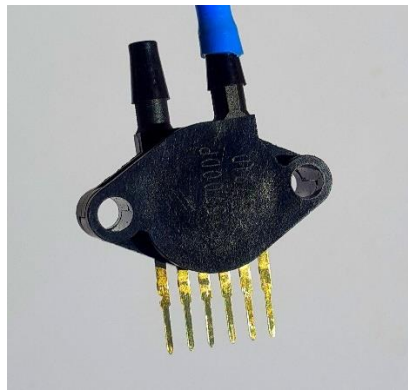
Fonte: Autoria própria.

Figura 10: Frasco de vidro para o armazenamento de ar 100ml



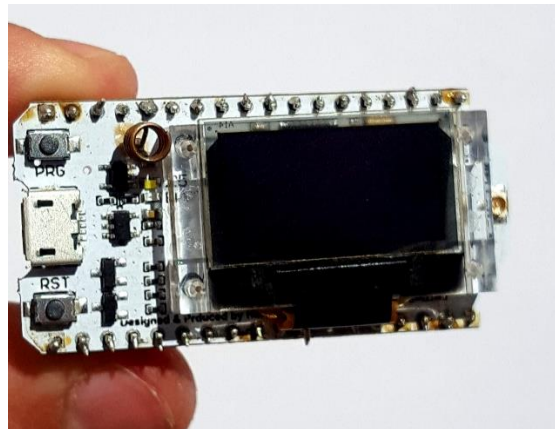
Fonte: Autoria própria.

Figura 11: Sensor de Pressão Diferencial - MPX5700DP



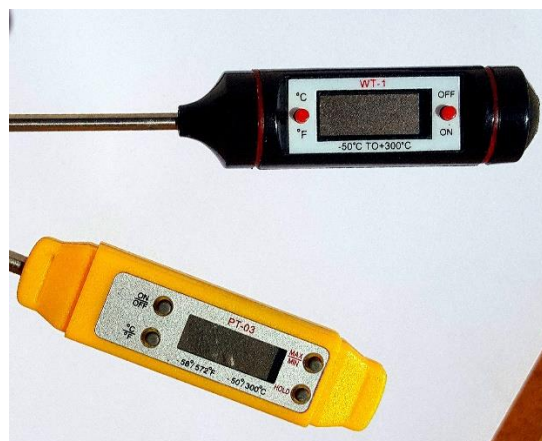
Fonte: Autoria própria.

Figura 12: Módulo ESP32



Fonte: Autoria própria.

Figura 13: Termômetros digitais



Fonte: Autoria própria.

Figura 14: Tubos flexíveis e “T” para conexões



Fonte: Autoria própria.

Figura 15: Recipientes abertos para comportar água quente e água gelada isolados parcialmente



Fonte: Autoria própria.

Figura 16: Peso de massa conhecida



Fonte: Autoria própria.

3.2 Montagem do aparato experimental

Para a montagem do aparato experimental se fez necessário a confecção de uma plataforma de madeira que comportasse os itens descritos anteriormente. Logo em seguida ocorreu a montagem propriamente dita nos seguintes passos em ordem de execução:

- 1°. Foi conectado um tubo flexível ao bico da seringa de vidro, em seguida, ela foi fixada a uma aste vertical presa sobre a base da plataforma de madeira;
- 2°. o sensor de pressão diferencial teve um de seus terminais de leitura manométrica conectado a um tubo flexível e posteriormente a conexão intermediária do “T”. Também foi realizada a conexão dos seus terminais elétricos ao o módulo Esp32;
- 3°. o frasco de vidro teve sua abertura vedada por massa Epoxi, juntamente a um tubo flexível para que o ar contido no respectivo frasco, escapasse apenas pela abertura do tubo;
- 4°. a seringa, e o frasco foram conectados junto ao sensor a partir das conexões restantes do “T”;
- 5°. os recipientes abertos e parcialmente isolados, foram dispostos sobre a plataforma, logo em seguida, os termômetros digitais tiveram suas astes de leitura introduzidas individualmente nos recipientes.

Figura 17: Experimento após a montagem



Fonte: Autoria própria.

3.3 Verificação da leitura manométrica através do sensor de pressão

Antes de se realizar os procedimentos do experimento em si, com o propósito de garantir resultados com maior exatidão, se fez necessário a validação da leitura de pressão obtida no display do módulo Esp32. Para isso, inicialmente foi calculado matematicamente, a pressão que o peso do êmbolo da seringa exerce sobre o ar contido no sistema confeccionado, sendo utilizada a Equação (2), juntamente aos dados necessários, que são eles: a massa do embolo igual a 0,0311kg (obtida através de uma balança (Figura 18), o raio do êmbolo igual a 0,009875m (obtido através de um paquímetro, conforme mostrado na Figura 19) com resolução de um centésimo de centímetro e a aceleração gravitacional aproximadamente 9,81 m/s² (informada por Hlliday, Resnick e Walker (2012)). Então temos que:

$$P = \frac{0,0311kg \cdot 9,81m/s^2}{\pi \cdot (0,009875m)^2} \quad (20)$$

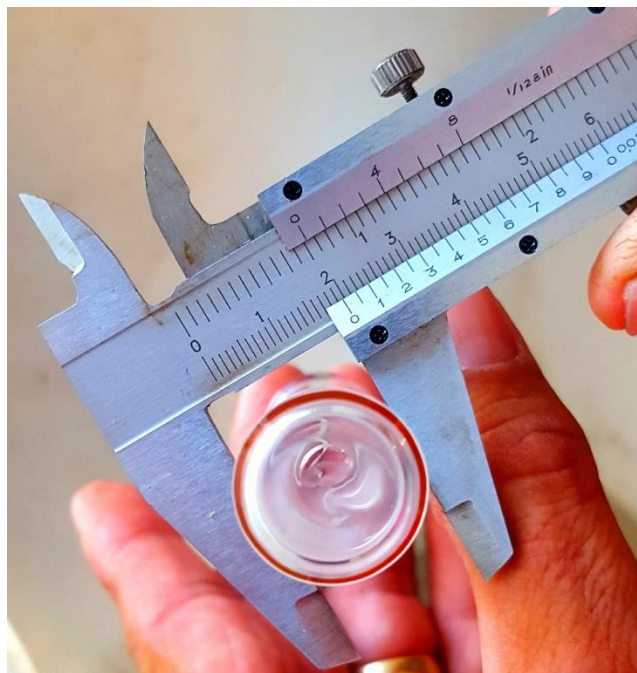
resultando em 0,995876112 kPa $\approx$ 1kPa. Utilizaremos mais tarde este valor, para comparar com a leitura apresentada no display do Esp32.

Figura 18: Pesagem do êmbolo da seringa



Fonte: Autoria própria.

Figura 19: Medição do diâmetro do êmbolo da seringa



Fonte: Autoria própria.

3.4 Execução do experimento

Com o aparato experimental devidamente montado, o próximo passo foi executá-lo, Realizando uma série de procedimentos e etapas, de forma a garantir que seja possível a coleta de diferentes dados que serão utilizados posteriormente para se discutir os resultados do presente trabalho.

É importante ressaltar que o gás confinado no sistema, utilizado em todos os procedimentos, é o ar atmosférico na temperatura ambiente local, e também, que o volume a ser considerado para a obtenção dos resultados, será apenas o da leitura da seringa.

3.4.1 Esquema para verificar experimentalmente o trabalho realizado em um processo isobárico por um gás confinado

Para realizar este procedimento, foi necessário um dos recipientes parcialmente isolado, afim de comportar água quente, o peso com massa de 42,4g, e o sistema pistão-cilindro com o ar confinado já apresentado na Figura 17, seguido das seguintes etapas:

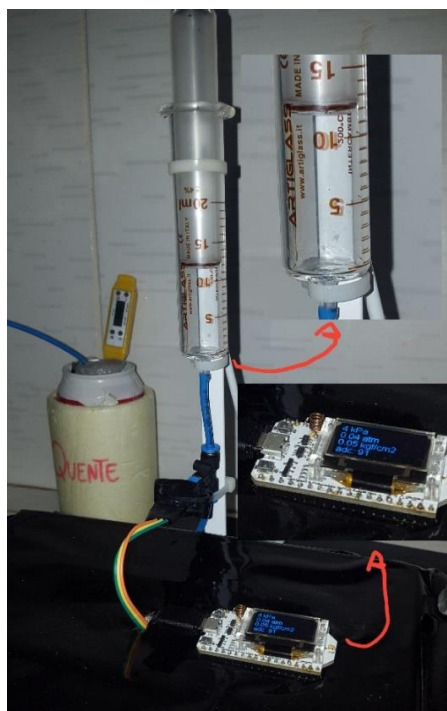
- 1°. Posicionou-se o peso sobre o êmbolo da seringa;
- 2°. foram registrados os valores iniciais da pressão e volume do sistema, respectivamente 3kPa e 4ml conforme mostrado na Figura 20;
- 3°. o frasco de vidro foi introduzido no reservatório quente, podendo se observar, que a pressão aumentou de 3kPa para 4kPa sem variar o volume, e então com a pressão estabilizada, o volume variou a pressão constante;
- 4°. foram registrados os valores finais da pressão e volume do sistema, respectivamente 4KPa e 12ml (Figura 21).

Figura 20: Obtenção dos valores iniciais de pressão e volume



Fonte: Autoria própria

Figura 21: Obtenção dos valores finais de pressão e volume



Fonte: Autoria própria.

3.4.2 Esquema para a representação experimental de um ciclo termodinâmico

Para executar o aparato experimental de forma a operar segundo um ciclo termodinâmico, além dos itens citados nos procedimentos anteriores, foi utilizado dois recipientes maiores para comportar água e os dois termômetros para registrar as temperaturas das fontes térmicas. Para isso, as seguintes etapas foram realizadas:

- A. Inicialmente registraram-se os valores da temperatura , pressão, e volume do sistema, com o frasco de vidro imerso no recipiente com água fria;
- B. Em seguida, posicionou-se o peso sobre o êmbolo da seringa com o frasco de vidro ainda no reservatório frio, com objetivo de obter uma compressão adiabática. Logo após, registrou-se os valores da temperatura, pressão e volume do sistema;
- C. O frasco de vidro foi transferido para o reservatório quente ainda com a massa sobre o êmbolo da seringa, observando-se a variação do volume a pressão constante. Em seguida registrou-se os valores da temperatura, pressão e volume do sistema;

- D. Retirou-se a massa de 42,4g que estava sobre o êmbolo da seringa, com o frasco de vidro ainda no reservatório quente, mostrando-se uma redução na pressão e aumento do volume. Logo após, se é registrado os valores da temperatura, pressão, e volume do sistema;
- E. O frasco de vidro foi transferido ao reservatório frio, observando-se uma diminuição no volume a pressão constante. Logo após, é registrado os valores da temperatura, pressão, e volume do sistema.

3.5 Questionário com os discentes

3.5.1 Elaboração do questionário

Após a confecção, dois questionários foram elaborados, sendo eles destinados aos alunos, e ex-alunos da disciplina Ondas e Termodinâmica, do curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Campus Caraúbas).

O primeiro questionário, teve o intuito de averiguar-se qualitativamente, a dificuldade dos discentes em compreender o estudo dos gases e dos ciclos termodinâmicos, sendo composto por duas perguntas, cada uma com índices de avaliação de 0 a 5, como pode ser verificado no apêndice “A”.

O segundo questionário também foi elaborado com o mesmo objetivo, mas neste caso foi avaliada a contribuição para o ensino de uma possível prática sobre os conteúdos discutidos, e da nova prática desenvolvida acerca dos conteúdos mencionados anteriormente (ver apêndice “A”). Logo após a elaboração dos questionários, partiu-se para a aplicação.

3.5.2 Aplicação dos questionários

A aplicação dos questionários foi realizada em duas turmas da disciplina de Ondas e Termodinâmica, semestre 2019.1 do curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, e também com ex-alunos da mesma disciplina.

Inicialmente, os questionários foram distribuídos para os discentes, que responderam o primeiro questionário, e a primeira pergunta do segundo questionário. Então foi realizada a apresentação da prática desenvolvida no presente trabalho, e em seguida, disposto para os discentes terminarem de responder ao segundo questionário.

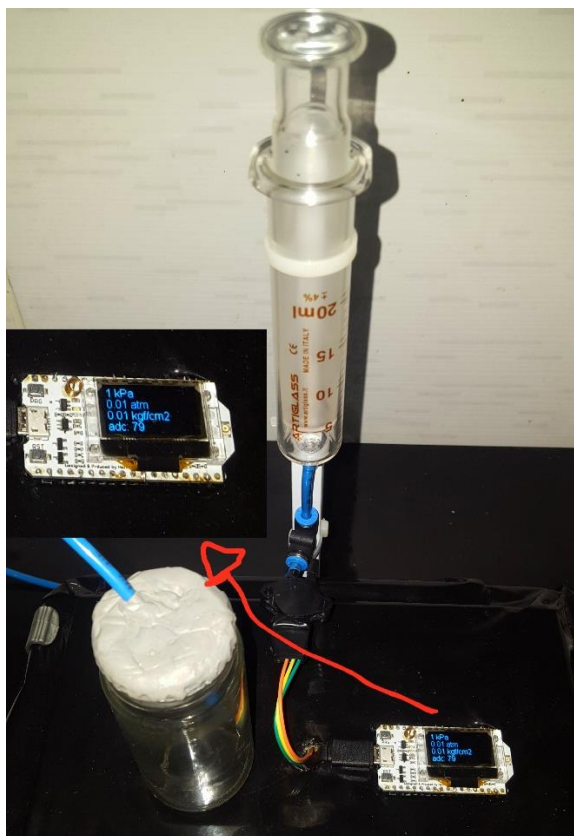
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Desenvolvimento do experimento

Uma das dificuldades enfrentadas para a realização deste trabalho foi validar o sensor de pressão manométrica digital, afim de garantir que os resultados apresentados condissessem com a pressão real no sistema. É fato que através do referencial teórico apresentado, a prática desenvolvida poderia ter como verificador de pressão um simples manômetro em ‘U’. Mas como o intuito era de simplificar a representação, optou-se pelo sensor digital.

Com o resultado obtido no tópico “*Verificação da leitura manométrica através do sensor de pressão*”, e da leitura apresentada na Figura 22, pode se observar que é válida a utilização do sensor digital, uma vez que o valor apresentado no display, e o valor calculado matematicamente, são aproximadamente iguais. Podendo assim, concluirmos que é apenas uma questão de arredondamento por parte do display de leitura, afim de mostrar valores mais simplificados.

Figura 22: Esquema para obter a leitura de pressão exercida sobre o gás confinado no sistema

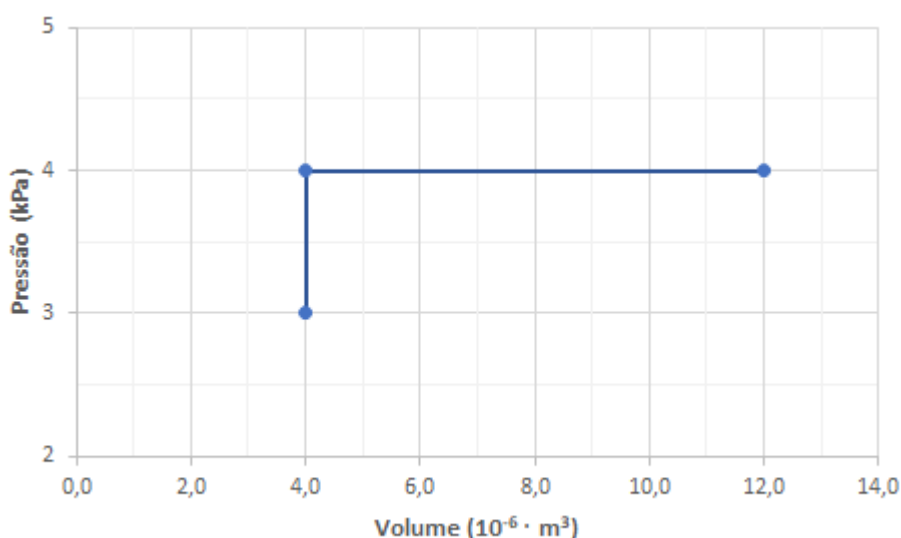


Fonte: Autoria própria

4.2 Trabalho realizado por um gás em uma expansão isobárica

A partir do procedimento descrito no subtópico “Esquema para verificar experimentalmente o trabalho realizado em um processo isobárico por um gás confinado”, e dos valores obtidos no mesmo, foi possível a geração do Gráfico 1, afim de viabilizar uma discussão acerca do comportamento do gás confinado no sistema, em um processo isobárico, conforme descrito no subtópico (2.7.3).

Gráfico 1: Diagrama pressão versus volume



Fonte: Autoria própria

Ao analisar o gráfico acima, podemos concluir não só apenas que o procedimento realizado obteve o resultado de representar um processo isobárico, mas também um processo isocórico (2.7.4).

De posse dos resultados obtidos, iremos calcular apenas o trabalho realizado na expansão isobárica, uma vez que no processo isocórico o volume não varia, sendo o trabalho realizado igual a zero.

Utilizando a equação (15), temos que o trabalho realizado no processo isobárico representado, é igual a:

$$W = 4000Pa \cdot (1,2 \cdot 10^{-5}m^3 - 4 \cdot 10^{-6}m^3) = 0,032 J$$

4.3 Representação de um ciclo termodinâmico

Através dos valores e observações, decorrentes dos procedimentos realizados no subtópico “*Esquema para a representação experimental de um ciclo termodinâmico*”, com os dados obtidos, vamos calcular a média e o desvio padrão para cada ponto.

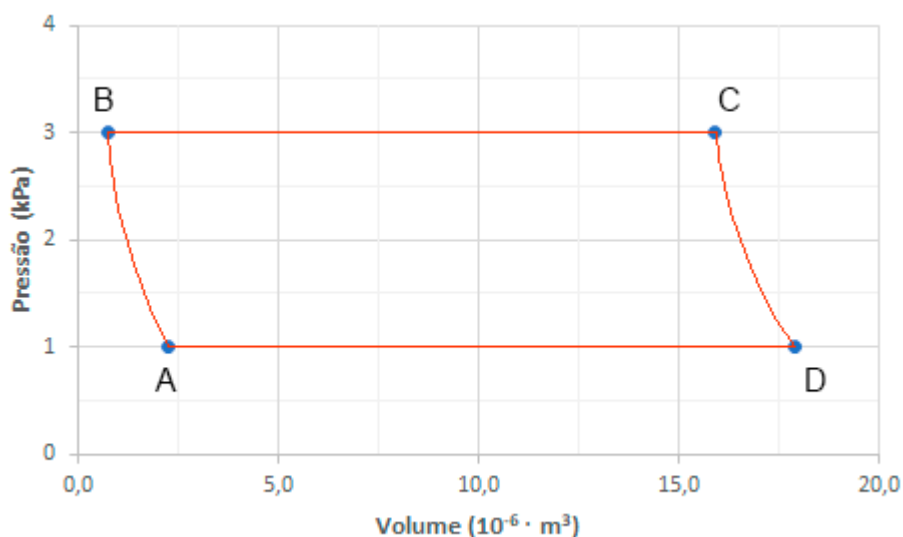
Tabela 1: Resultados experimentais do ciclo termodinâmico

	Pressão (kPa)	Volume (ml)	Temperatura (°C)
Ponto “A”	1,0	$2,25 \pm 0,25$	$4,57 \pm 0,26$
Ponto “B”	3,0	$0,75 \pm 0,25$	$4,57 \pm 0,26$
Ponto “C”	3,0	$15,87 \pm 0,74$	$68,17 \pm 0,59$
Ponto “D”	1,0	$17,87 \pm 0,74$	$68,17 \pm 0,59$

Fonte: Autoria própria

Ao analisar a Tabela 1, podemos validar o uso das médias obtidas, uma vez que tivemos um desvio padrão de cada amostra bastante pequeno. Portanto as amostras estão concentradas próximas da média. E a partir dos valores da mesma tabela, foi gerado o gráfico abaixo, e assim poderemos discutir os resultados do ciclo representado.

Gráfico 2: Diagrama pressão versus volume



Fonte: Autoria própria.

Pode-se perceber que o procedimento realizado reproduziu dois processos isotérmicos, e dois processos isobáricos, mas, não reproduziu fielmente os conceitos descritos no primeiro parágrafo do tópico “*Ciclos termodinâmicos e o Ciclo de Carnot*”.

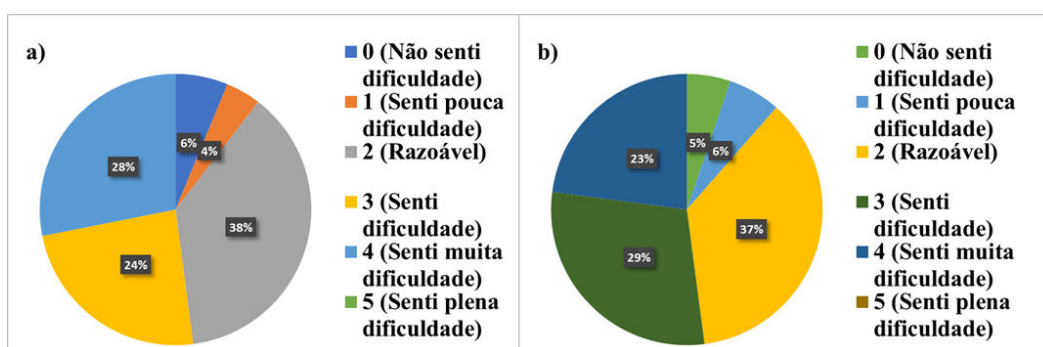
A representação em questão conseguiu voltar ao mesmo volume inicial do ciclo, mas a temperatura da isoterma não foi a mesma (ver Tabela 2). Todavia, é possível verificar uma aproximação do experimento realizado com um ciclo ideal.

Sendo assim, mesmo que o ciclo não tenha sido verdadeiramente representado, verifica-se possível através dos dados obtidos, calcular os trabalhos termodinâmicos realizados em cada um dos processos demonstrados, conforme as concepções descritas no tópico “Processos gasosos”. Entretanto, não abordaremos os respectivos cálculos no presente trabalho, uma vez que o objetivo do procedimento apresentado é apenas a representação de um ciclo termodinâmico.

4.4 Verificação na melhoria da compreensão acerca dos assuntos abordados, por meio da prática desenvolvida.

Diante das avaliações obtidas nos questionários presentes no apêndice “A”, é possível obter os seguintes resultados exibidos nos seguintes gráficos:

Gráfico 3: Resultados obtidos através do primeiro questionário



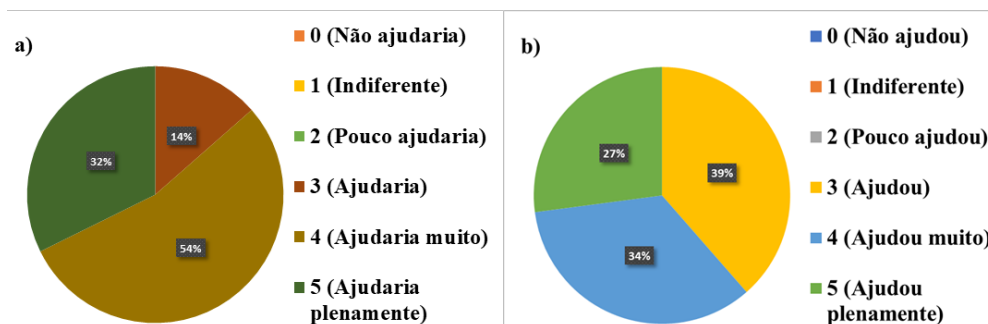
a) Dificuldade em compreender o comportamento dos gases, b) Dificuldade em compreender os ciclos termodinâmicos.

Fonte: Autoria própria.

No Gráfico 3, encontram-se as respostas referente ao primeiro questionário aplicado entre alunos e ex-alunos, totalizando 96 discentes. Em ‘a’ percebe-se os resultados referentes a dificuldade predominante, onde a maioria afirmou sentir muita

difficuldade e plena dificuldade, as outras notas sendo a maioria razoável, em seguida sentiram pouca dificuldade e não sentiram dificuldade. Já no gráfico ‘b’ também há a predominância de dificuldade entre os discentes.

Gráfico 4: Resultados obtidos através do primeiro questionário



a) Ajuda na compreensão dos assuntos de uma possível prática, b) Ajuda na compreensão dos assuntos da prática apresentada.

Fonte: Autoria própria.

No Gráfico 4, situa-se as respostas referente ao segundo questionário aplicado entre os mesmos alunos e ex-alunos, encontramos no gráfico ‘a’ os resultados relacionados a ‘ajudaria’ são dominantes onde parte afirmaram ajudaria plenamente, em seguida responderam ajudaria muito e por fim replicaram ajudaria. Logo após no gráfico ‘b’ também há os resultados relacionados a ‘ajuda’ dominantes entre os discentes, o que também é uma decorrência benéfica para a pesquisa, onde a maioria afirmou ajudou muito ou ajudou plenamente em seguida de ajudou.

Diante dos resultados do Gráfico 3 não se pode afirmar de maneira geral que os alunos que cursam ou cursaram a disciplina de Ondas e Termodinâmica na UFERSA (Campus Caraúbas), possuem alta dificuldade na compreensão dos assuntos discutidos. Entretanto é perceptível um grau de dificuldade parcialmente elevado entre os discentes questionados. Dando continuidade, a partir dos resultados do Gráfico 4 acerca da melhoria na compreensão dos assuntos abordados, observa-se que todos os alunos responderam positivamente a avaliação do trabalho.

Tendo em vista os resultados, vemos que este aparato experimental tem grande potencial para ser inserido em meio pedagógico, assim auxiliando os docentes a instruir de uma forma mais prática, este assunto que diante dos resultados é considerado difícil entre os alunos, e para estes, tem-se a vantagem de ver em prática o comportamento dos gases e de ciclos termodinâmicos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista os aspectos observados, conclui-se que os objetivos do presente trabalho foram alcançados, levando em consideração que foi confeccionado um experimento capaz de representar o comportamento de um gás em um simples sistema termodinâmico, permitindo calcular o trabalho realizado e verificar de forma simples e prática as diferentes variações ocorridas no sistema. É fato que a representação de um ciclo termodinâmico não teve seu objetivo totalmente atingido, porém analisando o Gráfico 2, percebe-se que houve uma proximidade relevante dos conceitos apresentados neste trabalho.

Além disso, todos os discentes questionados na realização deste trabalho atribuíram notas entre 3 e 5, com respeito a contribuição da prática apresentada para a melhoria da compreensão nos assuntos abordados (que segundo a maioria apresenta um nível de dificuldade considerável, através dos resultados obtidos no Gráfico 3), onde 3 corresponde a ‘ajudou’ e 5 a ‘ajudou plenamente’ (Gráfico 4).

Em virtude das considerações mencionadas, sugere-se para os futuros trabalhos, o aprimoramento do isolamento térmico dos recipientes, como por exemplo, o uso de reservatórios elétricos (para que as temperaturas se mantenham constantes), e também um termopar inserido ao frasco contendo o ar, gerando uma leitura mais precisa da temperatura do gás.

Assim, realizando os aprimoramentos necessários e implementando-se a prática em laboratório, os discentes serão capazes de debater, comparar dados, interpretar ainda melhor o comportamento dos gases em sistemas termodinâmicos reais, calcular o trabalho total realizado, o calor introduzido ao sistema, bem como a sua eficiência térmica, contribuindo assim para um melhor aprendizado do conteúdo abordado, que é de extrema importância para algumas engenharias, de forma que os alunos terminem a disciplina de Ondas e Termodinâmica com um melhor aproveitamento prático e teórico, tornando-os ainda mais capacitados.

REFERÊNCIAS

CARNOT, Sadi; Thurston, Robert Henry (editor and translator) (1890). **Reflections on the Motive Power of Heat and on Machines Fitted to Develop That Power**. New York: J. Wiley & Sons.

CLAUSIUS, Rudolf. **Über die bewegende kraft der wärme und die gesetze, welche sich daraus für die wärmelehre selbst ableiten lassen**. Annalen der Physik 155.3 (1850): 368-397.

CNE. Resolução CNE/CES 11/2002. Diário Oficial da União, Brasília, 9 de abril de 2002. Seção 1, p. 32.

FRANCHI, Regina H. de O. L. **Enfrentando as falhas na formação básica dos alunos ingressantes**. Cobenge, Santa Bárbara D'oeste, p.1-8, 2003.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física**, Vol. 2, 9ª Edição, LTC, 2012.

JACKSON, David P.; LAWS, Priscilla W. Syringe thermodynamics: The many uses of a glass syringe. **American journal of physics**, v. 74, n. 2, p. 94-101, 2006. Disponível em: <<https://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.2162547>>. Acesso em 4 ago. 2019.

KLOOSTER, John W. **Icons of invention: the makers of the modern world from Gutenberg to Gates**. ABC-CLIO, 2009.

LEE, Jhon F.; FRANCIS, Weston Sears. **Termodinâmica**. Ao Livro Técnico, 1969.

MIRANDA, A. A. et al. **Fundamentos de matemática: uma análise das dificuldades apresentadas pelos ingressantes nos cursos de engenharia oferecidos na cidade de ouro branco-mg**. In: Congresso Brasileiro De Engenharia E Ciência Dos Materiais, 22., Natal. CBECiMat. Natal RN: Cbecimat, 2016. p. 1-9.

SACKHEIM, G.I. **Química e Bioquímica para Ciências Biomédicas**. Barueri: Manole, 1998.

SAVERY, Thomas. **The miner's friend; or, an engine to raise water by fire, described and of the manner of fixing it in mines. With an account of the several other uses it is applicable unto; and an answer to the objections made against it**. S. crouch, 1702.

YOUNG, Hugh D. **Física II: Termodinâmica e Ondas** / Young e Freedman; [colaborador A. Lewis Ford]; tradução Cláudia Santana Martins; revisão técnica Adir Moysés Luiz. — 12. ed. — São Paulo: Addison Wesley, 2008.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIOS PARA OS DISCENTES

Questionário 1

De 0 a 5 quanto você sentiu dificuldade em compreender o estudo do comportamento dos gases?

- ☐ 0 (Não senti dificuldade)
- ☐ 1 (Senti pouca dificuldade)
- ☐ 2 (Razoável)
- ☐ 3 (Senti dificuldade)
- ☐ 4 (Senti muita dificuldade)
- ☐ 5 (Senti plena dificuldade)

De 0 a 5 quanto você sentiu dificuldade em compreender o estudo dos ciclos termodinâmicos?

- ☐ 0 (Não senti dificuldade)
- ☐ 1 (Senti pouca dificuldade)
- ☐ 2 (Razoável)
- ☐ 3 (Senti dificuldade)
- ☐ 4 (Senti muita dificuldade)
- ☐ 5 (Senti plena dificuldade)

Questionário 2

De 0 a 5 quanto você acha que um experimento em laboratório ajudaria a melhorar a compreensão dos assuntos citados no questionário anterior?

- ☐ 0 (Não ajudaria)
- ☐ 1 (Indiferente)
- ☐ 2 (Pouco ajudaria)
- ☐ 3 (Ajudaria)
- ☐ 4 (Ajudaria muito)
- ☐ 5 (Ajudaria plenamente)

De 0 a 5 quanto você acha que o experimento apresentado ajudou para melhorar a compreensão dos assuntos citados no questionário anterior?

- ☐ 0 (Não ajudou)
- ☐ 1 (Indiferente)
- ☐ 2 (Pouco ajudou)
- ☐ 3 (Ajudou)
- ☐ 4 (Ajudou muito)
- ☐ 5 (Ajudou plenamente)