



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE ARAGUAÍNA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA EM FÍSICA

ANNA KAROLLYNI LOPES SOUSA

**1ª LEI DA TERMODINÂMICA A PARTIR DO CONCEITO DE
ENTROPIA**

Araguaína/TO
2021

ANNA KAROLLYNI LOPES SOUSA

1ª LEI DA TERMODINÂMICA A PARTIR DO CONCEITO DE ENTROPIA

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Araguaína, Curso de Licenciatura em Física para obtenção do título de Licenciado em Física e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientadora: Prof.(a) Dr^a Érica Cupertino Gomes

Araguaína/TO
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

S725u Sousa, Anna Karollyni Lopes.
 1ª Lei da Termodinâmica a partir do Conceito de Entropia. / Anna
 Karollyni Lopes Sousa. – Araguaína, TO, 2021.
 27 f.

 Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
 Universitário de Araguaína - Curso de Física, 2021.
 Orientadora : Érica Cupertino Gomes

 1. 1ª Lei da Termodinâmica. 2. Entropia. 3. Gênese da Termodinâmica. 4.
 Revolução Industrial. I. Título

CDD 530

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO


ANNA KAROLLYNI LOPES SOUSA

1ª LEI DA TERMODINÂMICA A PARTIR DO CONCEITO DE ENTROPIA

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Araguaína, Curso de Licenciatura em Física para obtenção do título de Licenciada em Física e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 16 / 04 / 2021

Banca Examinadora



Profa. Dra. Érica Cupertino Gomes, UFT (orientadora)

Participação por videoconferência



Profa. Dra. Regina Lelis de Sousa, UFT

Participação por videoconferência



Prof. Ms. João Pedro Almeida Sales, SEDUC/TO

Participação por videoconferência

Araguaína -TO
2021

Dedico este trabalho a minha mãe e vó, seus cuidados e ensinamentos, sempre me incentivaram a lutar pelos meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

A Jeová Deus, pela minha vida e por me proporcionar perseverança durante toda minha trajetória acadêmica.

Aos meus pais Djane Lopes e Raimundo Sousa pelo apoio e incentivo que serviram de alicerce para as minhas realizações. A minha querida Vó Djanira por todo apoio e exemplo de mulher que ela é para a minha vida. A minha irmã Maria Eduarda pela amizade e incentivo que me deu mesmo não percebendo.

Ao meu bisavô Evaristo que não está mais presente entre nós, mas enquanto esteve vivo, me proporcionou e me ensinou muito sobre a vida. Me deu um exemplo de humildade e empatia que só ele tinha. Saudades de você meu vôzinho querido. A minha bisavó que me inspira e faz parte da criação e educação que eu tive. Meus tios e tias, primos (as) que sempre me apoiaram.

A minha professora orientadora Érica Cupertino Gomes pelas valiosas contribuições dadas durante todo o processo acadêmico, pelos conselhos e por ser essa profissional inspiradora. Espero que um dia eu possa ser um terço da profissional excelente, dedicada e preocupada com os seus alunos como você. Quero agradecer aos demais professores do colegiado do curso de Física, em especial ao professor Anderson Gomes e a professora Sheyse Martins pelas orientações e conselhos ao decorrer do curso.

A todos os meus colegas do curso de graduação que compartilharam dos inúmeros desafios que enfrentamos, sempre com o espírito colaborativo. Quero agradecer aos meus amigos e companheiros de turma Caio Matheus, Jonas Gomes e Stefânio Fernandes por estarem comigo todos os dias, sempre buscando formas de ajudar. Por me aguentar e mimar nos dias que eu estava muito estressada e cansada.

Agradecer ao meu amigo Jacó Junior por sempre estar ao meu lado. Vou sentir falta dos dias de estudos, era entre tapas e beijos. Nossa amizade vai além dos muros da UFT, estamos juntos nos melhores e piores momentos. Não menos importante agradeço a João Marcos, Suel Sousa, Thais Fernandes, Elivelton e Patrícia Brilhante pelo apoio e incentivo nessa jornada.

Agradecer aos meus amigos e companheiros de churrasco, Natália Almeida e Taynam Dias que sempre estão no meu pé para fazer comida para eles. Sempre estão ali presente para ajudar em qualquer situação. Amo vocês meus “carajás”.

Com muito carinho, gostaria de agradecer a minha família adotiva do Tocantins, chefiada pela matriarca Maria Lucilene Moura, que me acolheu, me adotou e cuidou de mim em todos os momentos de necessidade. Por todos os conselhos, puxões de orelha, pelos momentos de afeto e carinho, pelos almoços e jantas, pelo alojamento nos fins de semana. As minhas irmãs Rafa, Ray e Anne pela companhia e companheirismo.

Agradeço imensamente ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), Programa Institucional de Monitoria (PIM), Programa de Apoio ao Discente Ingressante (PADI), Residência Pedagógica (RP) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela contribuição que esses programas tiveram na minha construção profissional e acadêmica. Também quero agradecer à Universidade Federal do Tocantins e o seu corpo docente que demonstrou estar comprometido com a qualidade e excelência do ensino.

RESUMO

Para a maioria das pessoas é impossível não se deparar, no cotidiano, com aplicações da termodinâmica. Além de ser um conteúdo que estudamos nas escolas, estamos rodeados de fenômenos térmicos, através de dispositivos e aplicações das leis da termodinâmica. O objetivo inicial é a realização de um levantamento histórico abordando os experimentos que levaram à formulação da primeira lei da termodinâmica. O segundo objetivo é deduzir a 1ª lei da termodinâmica a partir do conceito de entropia. Normalmente não tratamos a primeira lei da termodinâmica dessa forma, mas é de relevância observar como as leis da termodinâmica possuem interdependência. Para realização do trabalho foi utilizado a metodologia de pesquisa bibliográfica exploratória e o método dedutivo. Pode-se perceber que a 1ª lei permanece válida sob a perspectiva adotada.

Palavras-chaves: 1ª Lei da Termodinâmica; Entropia; Revolução Industrial.

ABSTRACT

For most people, it is impossible not to encounter, in daily life, applications of thermodynamics. In addition to being a content that we study in schools, we are surrounded by thermal phenomena, through devices and applications of the laws of thermodynamics. The initial objective is to carry out a historical survey addressing the experiments that led to the formulation of the first law of thermodynamics. The second objective is to deduce the 1st law of thermodynamics from the concept of entropy. We do not normally treat the first law of thermodynamics in this way, but it is relevant to note how the laws of thermodynamics are interdependent. To carry out the work, the methodology of exploratory bibliographic research and the deductive method were used. The 1st law remains valid from the perspective adopted.

Key-words: 1st Law of Thermodynamics; Entropy; Industrial Revolution.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Ilustração da máquina de Savery	16
Figura 2: Ilustração do motor de Newcomen	17
Figura 3: Ilustração do experimento de Joule.....	18
Figura 4: Associação da Entropia com processos termodinâmicos.....	20

LISTA DE ABREVIATURAS

SI	Sistema Internacional de medida
UFT	Universidade Federal do Tocantins

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>E</i>	Energia
<i>V</i>	Volume
<i>S</i>	Entropia
<i>T</i>	Temperatura
<i>P</i>	Pressão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. GÊNESE DA TERMODINÂMICA	16
3. ENTROPIA E 1ª LEI DA TERMODINÂMICA	20
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
REFERÊNCIAS	27

1. INTRODUÇÃO

Para a maioria das pessoas é impossível não se deparar no seu dia a dia com aplicações da termodinâmica. Além de ser um conteúdo que vemos nas escolas, estamos rodeados de fenômenos térmicos, através de dispositivos e exemplos das leis da termodinâmica no nosso meio. A aplicação da termodinâmica está presente nas máquinas térmicas, na meteorologia, com a medição de temperatura, pressão e umidade do ar. Está presente no funcionamento dos automóveis, através do processo de combustão, onde há uma grande liberação de energia e calor que é aproveitada para realizar o trabalho mecânico. Também na secagem de alimentos, com os secadores solares que “do ponto de vista da Termodinâmica, [...] são exemplos de um sistema aberto uma vez que permite a transferência de massa através da superfície de controle.” (COSTA et al.,2019). Outra aplicação da termodinâmica é na engenharia espacial no funcionamento dos motores dos foguetes. Existe outras inúmeras aplicações da termodinâmica no nosso cotidiano, porém não seria o caso colocar todas neste trabalho.

Esses aspectos motivaram a realização e elaboração de uma análise do contexto histórico da primeira lei da termodinâmica, outro fator que influenciou este trabalho foi o interesse por fazer uma abordagem diferente da dedução da primeira lei da termodinâmica. O objetivo deste trabalho é fazer uma pesquisa bibliográfica da parte histórica abordando os experimentos que levaram a construção da primeira lei da termodinâmica. O segundo objetivo é deduzir a 1ª lei da termodinâmica a partir do conceito de entropia. O presente trabalho baseia-se em uma pesquisa exploratória. Segundo Gil (1999, p.27), “pesquisas exploratórias têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores.” Seguindo essa perspectiva foi realizado um levantamento bibliográfico, com fontes secundárias sobre a primeira lei da termodinâmica.

Este trabalho está estruturado em três capítulos que foram organizados com o objetivo de atingir uma melhor compreensão dos assuntos abordados. O primeiro capítulo dispõe de uma introdução contendo a relevância do trabalho, justificativa, a motivação e as aplicações da primeira lei da termodinâmica. O segundo capítulo aborda a parte histórica e os experimentos que levaram à formulação da primeira lei. No terceiro capítulo encontra-se uma dedução matemática da primeira lei, a partir do conceito de entropia, após as pesquisas feitas na literatura brasileira, podemos concluir que essa dedução é inédita. Utilizamos o método dedutivo neste capítulo, que segundo Gil (1999, p.8), “parte de princípios reconhecidos como verdadeiros e

indiscutíveis e possibilitam chegar a conclusões de maneira puramente formal, isto é, em virtude unicamente de sua lógica.”

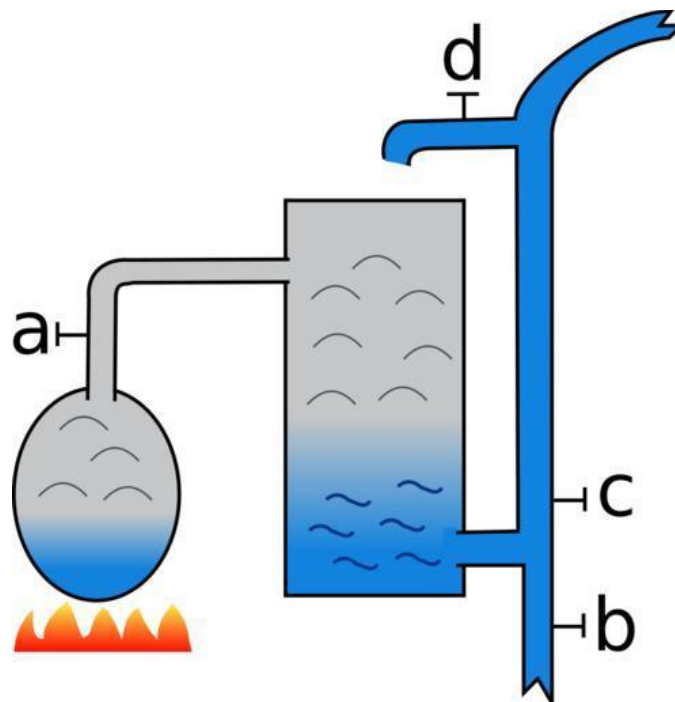
Portanto “o processo lógico-dedutivo está presente na ciência sobretudo na sua matematização, pois a matemática é a sua linguagem por excelência e a matemática é uma linguagem lógico-dedutiva.” (SEVERINO, p.105)

Enfim, no último capítulo estão as considerações finais, no qual está realizada uma análise dos objetivos que foram propostos no trabalho.

2. GÊNESE DA TERMODINÂMICA

No século XVIII teve início, na Inglaterra, a revolução industrial. “A revolução industrial constituiu-se, sem dúvida, em um dos principais fatores externalistas para o desenvolvimento da física e, em particular, da termodinâmica nos séculos XVIII e XIX.” (BALDOW; MONTEIRO p.04). Essa revolução deu início a substituição da energia humana pela energia motriz. Dos trabalhos braçais e os trabalhos dos animais, pelas máquinas. Desta forma, começa a surgir as primeiras máquinas térmicas, especialmente em função da grande necessidade de tirar a água que inundava as minas de carvão. Esse trabalho era feito por bombas de extração impulsionadas por cavalos e foi superado com a tecnologia desenvolvida. Em função dessa necessidade, foi desenvolvido o primeiro motor a vapor em 1698 pelo mecânico inglês Thomas Savery (1650-1715), que está ilustrado na figura 1. Esse equipamento trouxe melhoria na eficiência nas produções das minas naquela época.

Figura 1: Ilustração da máquina de Savery.

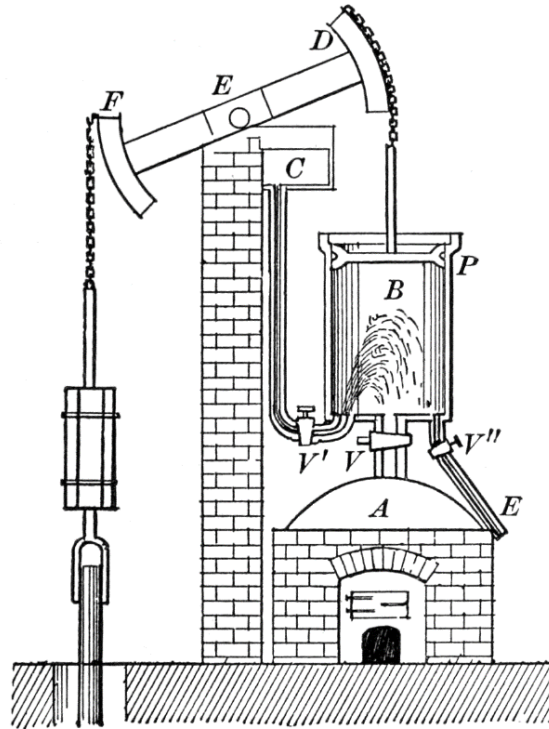


Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Engine_savery.svg

A máquina de Savery tinha um problema, ela precisava de vapor em uma pressão alta para funcionar, devido essa necessidade essa máquina poderia explodir a qualquer momento. Por essa razão Thomas Newcomen (1663 – 1729) construiu uma outra máquina que está ilustrada na figura 2, na qual usava uma pressão mais baixa. Porém a máquina de Newcomen

ainda não era totalmente eficaz, pois toda vez que reiniciava seu processo, o vapor de condensação inserido no cilindro era aquecimento novamente, com isso havia uma perda de calor grande.

Figura 2: Ilustração do motor de Newcomen.



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Newcomen6325.png>

Somente em 1765 James Watt, conserta a máquina de Newcomen, modificando-a, separando a condensação do vapor, colocando agora um recipiente frio e outro quente. Esse processo melhorou a eficácia da máquina e economizou tempo durante o processo.

“Nesse sentido o interesse técnico pelas máquinas despertou o interesse do contexto acadêmico, visto que era comum as universidades receberem nos departamentos de engenharia, essas máquinas, para que os pesquisadores orientassem no conserto.” (SILVA; ERROBIDART, p. 82). Desta forma, a invenção dessas máquinas e o entendimento de como funcionava foi uma base para a determinação da teoria do calor.

Nessa época, a teoria do calórico era a vigente para tratar fenômenos térmicos na comunidade científica. “Esta teoria explicava que o calor era uma substância fluida, que permeava os corpos e que era indestrutível e que não podia ser criada.” (BALDOW; MONTEIRO JÚNIOR, 2010). Entretanto essa teoria foi contestada por estudiosos da época.

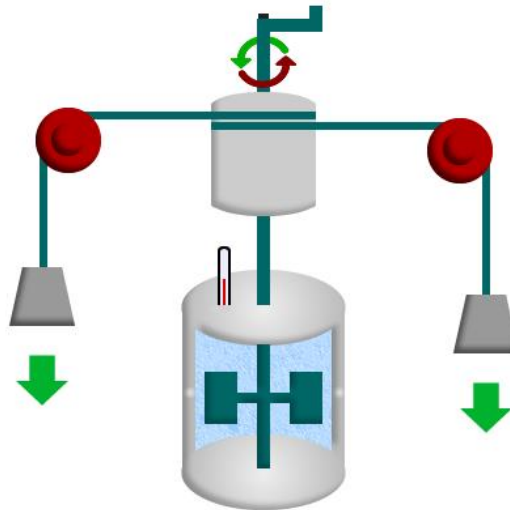
O primeiro a questionar essa teoria foi Benjamin Thompson (1753-1814), conhecido como conde Rumford. Ele observou que o calor era uma forma de movimento mecânico e observou, através dos seus trabalhos com canhões, que a liberação do calor com o desgaste do cano dos canhões não estava associado com a perda de calórico, mas sim com o trabalho feito sobre os canhões.

Só em 1842 que a teoria mecânica do calor foi enunciada por Julius Robert Von Mayer, na qual ele exprimiu que o calor e trabalho eram equivalentes.

“Sua inspiração a essa suposição de equivalência veio da observação de um cavalo suando enquanto puxava uma carga morro acima. Ele deduziu que o cavalo estava com calor não porque estivesse se movendo, mas por causa do trabalho físico que tinha que executar para gerar o movimento.” (CHEMELLO, 2006, p. 01)

Mas Mayer não recebeu muito créditos pelos seus experimentos e por ter sido o primeiro a enunciar essa teoria. Os créditos foram para James Prescott Joule (1818-1889). Ele realizou um experimento em 1845 que comprovou o princípio da equivalência do calor e trabalho. Em seu experimento, constituído de uma roda de pás colocada em um recipiente com água, como está ilustrado na figura 3.

Figura 3: Ilustração do experimento de Joule.



Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Experi%C3%A2ncia_de_Joule.png

“O movimento das palhetas da roda lhes era comunicado por um molinete que, quando girava, promovia a queda de dois pesos, de quatro libras cada. Estes caíam de uma altura de cerca de doze jardas, a uma velocidade de um pé por segundo – uma velocidade de queda relativamente lenta, visto que havia uma grande resistência da água às palhetas da roda. A queda dos dois pesos arrastava então as palhetas, por meio do molinete, e a fricção gerada pelo

movimento das palhetas na água da cuba deveria aquecer a água (a temperatura se elevaria, pois, a água efetuava um trabalho ao resistir ao movimento das palhetas).” (CHEMELLO, 2006, p. 02)

Esse experimento foi muito importante para a termodinâmica. Em homenagem a Joule, após sua morte, seu nome foi atribuído à unidade de medida energia no Sistema Internacional de Unidades (SI), que tem como símbolo “J”.

Embora Thomas Savery tenha desenvolvido o primeiro motor a vapor em 1698, apenas em 1824 que o engenheiro Sadi Carnot (1796-1832) deduziu e publicou as ideias sobre a máquina a vapor, no seu livro “Reflexões sobre a Força Motriz do Fogo”. Nesse livro “Carnot afirmava que o motor térmico que trabalhava em ciclos tinha que ter temperaturas diferentes e cuja diferença iria indicar seu rendimento. O calor produziria trabalho se tivesse uma fonte mais quente e uma mais fria.” (BALDOW; MONTEIRO JÚNIOR, 2010). Assim Carnot idealizou uma máquina térmica reversível que operava entre duas fontes, essa máquina ficou conhecida como máquina de Carnot e o ciclo que a máquina faz é chamado de ciclo de Carnot.

Carnot influenciou bastante o Físico Rudolph Clausius (1822-1888). Observando o funcionamento da máquina, ele pode chegar à conclusão de que o calor gerado na máquina não se transformava em trabalho, mas sim era perdido. Percebeu também que parte do calor era constante. Dessa forma, Clausius definiu, a partir dessas observações, uma nova função de estado que é denominada por ele de Entropia. Com base nessa nova descoberta Clausius enunciou a 2ª lei da termodinâmica. “Da mesma forma que a 1ª lei da termodinâmica corresponde à existência da energia interna U como função de estado, a 2ª lei corresponde à existência da entropia.” (MOYSÉS, p.221, 2002).

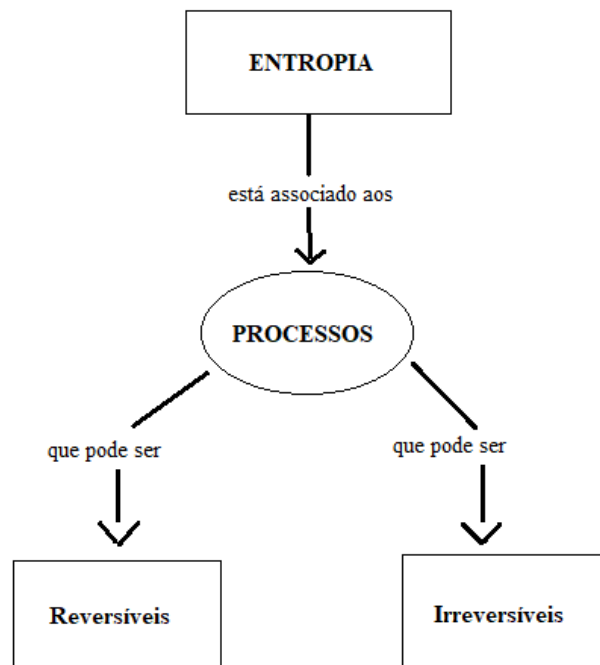
Embora tenha ocorrido avanços, a termodinâmica só veio a se consolidar como ciência em 1850. O processo de desenvolvimento foi bem lento e obteve contribuições de vários cientistas.

Com o desenvolvimento da tecnologia as ciências avançam. Entretanto, os acontecimentos citados, do século XIX, foram os fomentadores da Termodinâmica. As leis explicitadas são válidas, aplicadas e utilizadas atualmente além de serem interdependentes. O próximo capítulo demonstra essa interdependência por meio de uma demonstração dedutiva matemática da primeira lei da termodinâmica utilizando os conceitos de entropia.

3. ENTROPIA E 1ª LEI DA TERMODINÂMICA

A Entropia é a medida da irreversibilidade de processos físicos. “A entropia S é uma propriedade de estado do sistema; ou seja, ela depende apenas do estado do sistema e não da maneira pela qual o sistema alcança esse estado” (HALLIDAY, p.260). A segunda lei da termodinâmica consiste na extensão da existência da entropia, na qual afirma que a variação da entropia do universo, após algum processo, aumenta ou permanece constante. Na figura 4 temos um mapa conceitual que mostra como a entropia está associada com alguns processos.

Figura 4: Associação da Entropia com processos termodinâmicos.



Fonte: próprio autor

Pode-se definir a Entropia considerando-se um processo termodinâmico, que inicia em um estado I (inicial) e chega a um estado final F. Segundo Borges (1999), temos que,

“A termodinâmica interpreta a entropia como uma medida da irreversibilidade dos processos físicos. Imaginemos um processo no qual um sistema vai de um estado inicial I a um estado final F, enquanto troca matéria e energia sob as formas de calor e trabalho com as vizinhanças. Se for reversível, poderá ser operado de modo inverso (F-I), e as quantidades de matéria, calor e trabalho no processo inverso serão as mesmas, em sentido contrário. Já um processo irreversível que não pode ser operado de modo inverso ou, se puder, as quantidades de matéria, calor e trabalho não se compensarão - uma parte da energia sob a forma de trabalho é transformada em energia sob a forma de calor, e com isso ocorre uma perda definitiva (irreversível) da capacidade do sistema produzir trabalho.” (BORGES, p. 455, 1999)

Considerando um sistema que depende das variáveis energia (E) e volume (V), a Entropia (S) será uma função tanto da energia (E) quanto do volume (V), $S = S(E,V)$, da seguinte forma: (TONG, 2012)

$$S(E,V) = k_b \log \Omega(E,V) \quad (3.0)$$

k_B se trata da constante de Boltzmann's e vale, aproximadamente $1,381 \times 10^{-23} \text{ J/K}^{-1}$ e $\Omega(E)$ é o número de estados com energia E , e o número de estados é da ordem de $\Omega(E) \sim e^N$. Assim a entropia é proporcional ao número de partículas no sistema, $S \sim N$.

Em um sistema com muitas partículas os níveis de energia podem ser tratados como um continuum. Assim, quando consideramos que $\Omega(E)$ é o número de estados com energia E , significa que $\Omega(E)$ possui o número de estados com energia entre E e $E + \delta E$, onde δE é pequeno. Analisando que: “Para um sistema isolado em equilíbrio, todos os microestados acessíveis são igualmente prováveis” (TONG, p.4, 2012), é razoável considerar que todos os estados possuem mesma energia E , o que equivale a todos os estados poderem ser alcançados em função de pequenas perturbações no sistema, ou seja, a probabilidade de que o sistema esteja em um estado de energia diferente de E é zero ($E' \neq E = 0$). Essa distribuição de probabilidade, relevante para sistemas com energia fixa, é conhecida como conjunto microcanônico. (TONG, 2012).

O fato de a entropia ser proporcional ao número de partículas N no sistema resulta em ela ser uma quantidade aditiva. Cogitando dois sistemas que não interagem e tem energias E_1 e E_2 . O número total de estados desses sistemas é dado por:

$$\Omega(E_1, E_2) = \Omega_1(E_1) \Omega_2(E_2) \quad (3.1)$$

E a entropia dos sistemas será:

$$S(E_1, E_2) = S_1(E_1) + S_2(E_2) \quad (3.2)$$

Considerando a entropia de um sistema composto em função da energia e do volume temos,

$$S(E_1, V_1) = S_1(E_1, V_1) + S_2(E_2, V_2) \quad (3.3)$$

ou seja, é extensiva e significa que todos os parâmetros extensivos do sistema são multiplicados por uma constante lambda λ , e a entropia é multiplicada por essa mesma constante $S(\lambda E, \lambda V) = \lambda S(E, V)$. (CALLEN, 1960)

$$S(\lambda E, \lambda V) = \lambda S(E, V) \quad (3.4)$$

$$S(\lambda E, \lambda V) = \frac{\partial S}{\partial(\lambda E)} \frac{\partial(\lambda E)}{\partial E} + \frac{\partial S}{\partial(\lambda V)} \frac{\partial(\lambda V)}{\partial V} \quad (3.5)$$

Como E e V não dependem de λ , temos a seguinte relação:

$$S(\lambda E, \lambda V) = \frac{\partial S}{\partial(\lambda E)} E + \frac{\partial S}{\partial(\lambda V)} V \quad (3.6)$$

A equação (3.6) deve valer para qualquer valor de λ , fazendo $\lambda = 1$, temos:

$$S(E, V) = \frac{\partial S}{\partial E} E + \frac{\partial S}{\partial V} V \quad (3.7)$$

De forma diferencial escrevemos a equação (3.7), assim temos:

$$dS = \frac{\partial S}{\partial E} dE + \frac{\partial S}{\partial V} dV \quad (3.8)$$

Utilizando a definição estatística da temperatura, temos em (3.9):

$$\frac{1}{T} = \frac{\partial S}{\partial E} \quad (3.9)$$

A validade da equação 3.9 pode ser verificada com uma análise dimensional. Tendo que:

$$S = \left[\frac{\text{Joule}(J)}{\text{Kelvin}(K)} \right] \text{ e } E = [\text{Joule}]$$

Teremos,

$$\frac{S}{E} = \left[\frac{J/K}{J} \right] = \left[\frac{1}{K} \right] = \frac{1}{T}$$

A pressão é definida, na física estatística, pela equação 4.0.

$$p = T \frac{\partial S}{\partial V} \quad (4.0)$$

Usando também análise dimensional, podemos demonstrar a validade dessa equação 4.0.

Considerando

$$S = \left[\frac{\text{Joule}}{\text{Kelvin}} \right] \text{ e } V = [m^3]$$

Temos:

$$T \cdot \frac{S}{V} = \left[K \cdot \frac{J/K}{m^3} \right] = \left[\frac{J}{m^3} \right]$$

Mas $J = \left[Kg \cdot \frac{m^2}{s^2} \right]$. Substituindo o equivalente a Joule na análise, teremos,

$$T \cdot \frac{S}{V} = \left[Kg \cdot \frac{m^2}{s^2} \cdot \frac{1}{m^3} \right] = \left[\frac{Kg}{s^2 \cdot m} \right]$$

E pela definição mais simples, a pressão em um determinado ponto é a razão entre a força aplicada sobre uma determinada área, ou seja, $p = \frac{F}{A}$, logo:

$$p = \left[\frac{N}{m^2} \right] = \left[\frac{Kg \cdot m/s^2}{m^2} \right] = \left[\frac{Kg}{s^2 \cdot m} \right]$$

Comprovamos, por análise dimensional, que $p = T \frac{\partial S}{\partial V}$.

Retornando à equação 3.8 para o segundo termo teremos pela equação 4.0:

$$\frac{\partial S}{\partial V} = \frac{p}{T} \quad (4.1)$$

Substituindo na equação (3.8), as equações (3.9) e (4.1), temos:

$$\begin{aligned} dS &= \frac{1}{T} dE + \frac{p}{T} dV \\ dS &= \frac{1}{T} (dE + p dV) \\ T dS &= dE + p dV \\ dE &= T dS - p dV \end{aligned} \quad (4.2)$$

Utilizando a relação da entropia com o calor transferido temos que a variação de entropia dS (é uma diferencial exata), entre dois estados, oriunda do calor transferido $d'Q$ (é uma diferencial inexata do calor), dividido pela temperatura do sistema T , é:

$$dS = \frac{d'Q}{T} \quad (4.3)$$

Substituindo equação (2.3) em (2.2), temos:

$$\begin{aligned} dE &= T \frac{d'Q}{T} - p dV \\ dE &= d'Q - p dV \end{aligned} \quad (4.4)$$

$p dV$ é o trabalho realizado pelo sistema $d'W$. Dessa forma, podemos reescrever a equação (4.4)

$$dE = d'Q - d'W \quad (4.5)$$

As diferenciais $d'Q$ e $d'W$ são não exatas ou inexatas pois não representam variações de calor e trabalho, respectivamente, entre dois estados. Elas representam a dependência, de tais parâmetros, do processo termodinâmico envolvido. Por exemplo, é necessário saber se o processo termodinâmico é isobárico, adiabático, isocórico ou outro, para o cálculo das quantidades $d'Q$ e $d'W$. Por outro lado, a quantidade dE é uma diferencial exata, pois representa a variação da energia interna do sistema entre dois estados e é independente do processo termodinâmico.

A equação (4.5) representa a 1ª lei da termodinâmica quando um sistema sofre uma variação infinitesimal do seu estado, onde há uma quantidade pequena de transferência de calor e uma pequena variação do trabalho.

A variação da energia interna do sistema $\Delta E = E_f - E_i$, equivale à variação da quantidade de calor absorvido pelo sistema e o trabalho realizado. A equação (4.6) é a primeira lei da termodinâmica para processos finitos.

$$\Delta E = \Delta Q - \Delta W \tag{4.6}$$

Podemos concluir que a equação (3.8), é uma combinação do primeiro e segundo princípio da termodinâmica.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho propôs expor uma análise diferenciada da primeira lei da termodinâmica, e para tanto fizemos uma pesquisa bibliográfica sobre como foi o processo de formulação dessa lei, o que estava acontecendo no mundo nessa época e o que levou os cientistas a fazer esse estudo. O trabalho também trouxe uma forma não muito usada de deduzir a primeira lei da termodinâmica, utilizando os conceitos de entropia. Essa dedução é considerada inédita, pois constatamos, através das pesquisas bibliográficas, que a dedução realizada não é encontrada dessa forma na literatura brasileira.

Seguindo essa linha de pensamento realizamos a conclusão do primeiro objetivo que é abordar os experimentos e as causas que fez com que fosse formulada a primeira lei. Chegamos à conclusão que foi a necessidade de tecnologia, impulsionada com a revolução industrial que instigou o interesse pelo assunto, pois com o desenvolvimento das máquinas a vapor e a necessidade de melhoria delas, os cientistas tiveram mais apoio para fazer suas pesquisas sobre o assunto. Assim foi iniciado e desenvolvido, através de vários experimentos e estudos, as teorias sobre a termodinâmica.

O segundo objetivo era deduzir a primeira lei da termodinâmica a partir do conceito de entropia. Esse objetivo foi concluído, usando definições de derivadas parciais e as definições de temperatura e pressão. Mostrou-se que a partir do conceito de entropia, chegar à primeira lei da termodinâmica. Normalmente não tratamos essa lei dessa forma, mas é de grande relevância observar como as leis da termodinâmica possuem interdependência e que a 1ª lei permanece válida sob a perspectiva adotada. Fundamentado na demonstração realizada, é possível observar que as grandezas do estado termodinâmico (pressão, volume e temperatura) estão articuladas independentemente da forma como nós as analisamos.

REFERÊNCIAS

BORGES, E. P. Irreversibilidade, Desordem e Incerteza: Três Visões da Generalização do Conceito de Entropia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 21, n. 4, p. 453-463, dezembro, 1999.

CALLEN, Herbert. B. **Thermodynamics and an introduction to thermostatistics**. ed. Of: Thermodynamics, 1960.

CHEMELLO, E. Calor é uma forma de energia! Química Virtual, outubro (2006). Disponível em <www.quimica.net/emiliano>. Acesso em: 01/04/2021

COSTA, Nancy Lima et al. **Uma aplicação da primeira e da segunda lei da termodinâmica em secadores solares**. Anais IV CONAPESC Campina Grande: Realize Editora, 2019. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/57288>>. Acesso em: 01/04/2021

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

HALLIDAY, D. RESNICK, R. WALKER, J. **Fundamentos de Física. Volume 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica 2: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**, 4 ed. Editora Edgard Blücher, 2002.

BALDOW R., MONTEIRO JR, F. N. Os Livros Didáticos de Física e Suas Omissões e Distorções na História do Desenvolvimento da Termodinâmica. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v.3, n.1, p.3-19, maio 2010.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do Trabalho Científico**. São Paulo: Cortez, 2013.

SILVA, G. R., ERROBIDART, N. C. G. Termodinâmica e Revolução Industrial: Uma abordagem por meio da História Cultural da Ciência. **História da Ciência e Ensino construindo Interfaces**, vol. 19, p. 71-97, 2019.

TONG, David. **Statistical Physics**. University of Cambridge. UK. Preprint. 2012.