



FACULDADE DE EDUCAÇÃO E MEIOAMBIENTE

GIVANILDO MACHADO DE BARROS

**ENTROPIA:
UMA ANÁLISE DE CONCEITOS E APLICAÇÕES PARA
ALUNOS DO ENSINO MÉDIO**

ARIQUEMES-RO

2011

GIVANILDO MACHADO DE BARROS

**ENTROPIA:
UMA ANÁLISE DE CONCEITOS E APLICAÇÕES PARA
ALUNOS DO ENSINO MÉDIO**

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Física da Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA, como requisito parcial a obtenção do título de licenciado em Física.

Prof. Orientador : Ms. Thiago Nunes Jorge.

ARIQUEMES-RO

2011

GIVANILDO MACHADO DE BARROS

**ENTROPIA:
UMA ANÁLISE DE CONCEITOS E APLICAÇÕES PARA
ALUNOS DO ENSINO MÉDIO**

Monografia apresentada ao curso de Graduação em FÍSICA, da Faculdade de Educação e Meio Ambiente-FAEMA, como requisito parcial a obtenção do título de licenciado.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Orientador: Ms. Thiago Nunes Jorge
Faculdade de Educação e Meio Ambiente - FAEMA

Prof. Ms. Gustavo José Farias
Faculdade de Educação e Meio Ambiente - FAEMA

Prof. Esp. Marcos Yuri Camparoto Silva
Faculdade de Educação e Meio Ambiente - FAEMA

Ariquemes, 04 de julho de 2011

A Deus, que é a razão da minha existência. “Porque dele, por ele e para ele são todas as coisas” (PAULO, aos Colossenses 1.16)

A minha mãe que embora não teve a oportunidade de estudar, mas sempre me deu incentivo e motivação.

Aos colegas da turma e simpatizantes da Física.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus que me fortalece.

Ao meu orientador prof. Ms. Thiago Nunes Jorge pelo esforço e dedicação em me auxiliar neste trabalho.

À prof^a. Dra. Rosani Aparecida Alves Ribeiro de Souza que sempre esteve ao meu lado motivando e dando apoio.

Aos familiares pela força e motivação, ao meu sobrinho Lucas pelo seu apoio.

Aos professores e colegas de curso, que de algum modo contribuiu em minha formação acadêmica. Em particular aos amigos: Ernandes do Amaral Gomes, Isaías Gomes Fernandes e Marco Aurélio de Jesus, que muito me ajudaram durante essa Jornada de formação acadêmica.

A entropia é tida por muitos pesquisadores do campo da física juntamente com a energia “como um dos princípios mais poderosos e gerais da ciência”. Pela qual nos fornece as leis de transformações de energia na Natureza

ANTÔNIO PIRES

RESUMO

É feita uma análise do conceito de entropia em livros de nível superior e médio. Pode-se verificar, através da comparação, qual obra de nível médio aborda melhor esse assunto. Essa análise envolve o conceito de entropia abordado de modo usual, isto é, sistema e vizinhança, sendo considerados alguns tópicos essenciais para defini-la, tais como: máquinas térmicas, processos reversíveis e irreversíveis. Tendo em vista que este tema fica meio esquecido nos planos de ensino do nível médio em algumas escolas públicas. No decorrer das análises, serão feitos também considerações históricas e a contextualização do assunto proposto com o cotidiano, salientando alguns exemplos gerais de aplicações, tanto restrita a um sistema isolado, como também do sistema global do universo.

Palavras - chaves: Termodinâmica, Entropia, Ensino Médio.

ABSTRACT

This study aims to analyze the concept of entropy in books of college and high school level. By comparison it can be verified what study of high school best addresses this issue. This analysis involves the concept of entropy discussed in the usual way, ie, system, and neighborhood some topics are considered essential to define it, such as heat engines, reversible and irreversible process. Since this topic is half-forgotten in the application of the high school level in some public schools. During the analysis, context and historical considerations of the matter proposed to the daily lives will also be considered highlighting some general examples of applications, both restricted to an isolated system, as well as the overall system of the universe.

Keywords: Thermodynamics, Entropy, High School.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Sistema mostrando um processo reversível.....	19
Figura 2 - Representação gráfica de um ciclo de Carnot em um diagrama P-V.....	19
Figura 3 – Gráfico T- S mostrando um ciclo termodinâmico.....	20
Figura 4 - Sistema mostrando um processo irreversível.....	26

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 METODOLOGIA	13
4 REVISÃO DE LITERATURA	14
4.1 Conceito de entropia em processos reversíveis	14
4.1.2 Conservação de energia	14
4.1.3 Trabalho	16
4.1.4 Máquinas térmicas	16
4.1.5 Máquinas de Carnot ou ciclos de Carnot	18
4.1.6 Rendimento de Carnot	21
4.2 PROCESSOS IRREVERSÍVEIS E ENTROPIA	23
4.2.1 Conceitos de entropia em processos irreversíveis.....	23
4.2.2 Sentido	23
4.2.3 Desordem, probabilidade e entropia	25
4.3 TERCEIRA LEI DA TERMODINÂMICA E ENTROPIA	28
4.4 CONTEXTUALIZAÇÕES DE ENTROPIA	29
4.4.1 Entropia sistema econômico e universo.....	30
4.5 ANÁLISE DE ENTROPIA EM LIVROS DIDÁTICOS DO ENSINO MÉDIO	32
4.5.1 Física no ensino médio, de Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga, editora: scipione, volume 2	32
4.5.2 Física básica, Nicolau Gilberto e Antônio Toledo, ed. Atual volume único ..	33
4.5.3 Física ciências e tecnologia, de Paulo César Penteado e Carlos Mágnio Torres	33
4.5.4 As faces da física, de Wilson Caron e Osvaldo Guimarães, editora Moderna, volume único	34
4.5.5 Física completa, de Regina Azenha Bonjorno, José Roberto Bonjorno, Valter Bonjorno e Márcio Ramos, editora FTD, volume único	34
CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
REFERÊNCIAS	36

INTRODUÇÃO

O termo “ENTROPIA” é usado para definir, dimensionar, ter melhor compreensão, medir o grau de desordem e definir os fenômenos físicos ocorridos em um sistema. É tida por muitos pesquisadores do campo da física juntamente com a energia, “como um dos princípios mais poderosos e gerais da ciência, pela qual nos fornece as leis de transformações de energia na Natureza”. (PIRES, 2008). A entropia, (na termodinâmica, é tida como seguimento da primeira lei), mais conhecida como a segunda lei, postulada segundo Clausius em 1865 definindo-a como sendo uma transformação ou processo irreversível, sendo representada, por convenção, pela letra S , a qual mede a variação de um processo, sempre considerando seu estado inicial e final ($S_i - S_f$). Em processos reversíveis ela permanece constante e para processos irreversíveis, ela sempre aumenta, afirmando que a entropia natural do universo tende a um máximo.

A escolha deste tópico tão importante da termodinâmica se deve pela pouca atenção que recebe no ensino de Física na 2ª série do Ensino Médio, onde o conteúdo sobre entropia é carente na maioria desses livros. (MONTEIRO, 2008). Até o momento, as observações sobre planejamentos anuais, dos planos de aula e do exercício da docência levam a conclusão de que a entropia é vista como um item da termodinâmica que pode ser deixado à margem dos conteúdos considerados essenciais. Contudo, o próprio conceito de entropia é essencial para a compreensão de fenômenos naturais, funcionamento de um sistema e do equilíbrio do universo, definida como propriedade de estado de um sistema, na qual o funcionamento das máquinas térmicas são dispositivos essenciais para demonstração deste fenômeno considerando os processos reversíveis. Assim, essa lei afirma que: “Para qualquer processo espontâneo, a entropia de um sistema pode apenas aumentar ou permanecer igual, mas nunca diminuir”. (HINRICH E KLEINBECH, 2010, p.137). E ainda, tem-se que “a entropia é considerada como uma espécie de flecha do tempo, unidirecional, irreversível nos processos naturais”. (HALLIDAY, 2010, p.248).

Tendo em vista que, a entropia é presente nos processos naturais de nosso “universo” e que, muitas vezes, passa despercebida e esquecida nos planos de ensino do nível médio em algumas escolas públicas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é proporcionar um conhecimento mais contextualizado e abrangente, conceituado sobre Entropia e fazer análise deste conteúdo em livros do segundo grau, bem como propor ideias claras e consistentes para serem aplicadas no ensino médio.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conceituar o termo Entropia com base nos processos reversíveis e irreversíveis;
- Analisar o conceito de Entropia em livros de nível superior, artigos e periódicos que trata sobre o assunto;
- Demonstrar que a Entropia é contextualizada e está presente nos fenômenos ocorridos naturalmente no cotidiano do estudante;
- Analisar o conteúdo de Entropia em livros de ensino médio;
- Fundamentar teoricamente o conteúdo, buscar artifício de estudo e aplicação do tema em sala de aula.

3. METODOLOGIA

Para o estudo deste tema, será imprescindível considerar como a literatura específica de Física trata o conceito de Entropia. Para isso, serão consultadas obras de grandes autores da ciência em nível superior, artigos, dissertações e periódicos com o intuito de dar fundamentação teórica ao conteúdo, bem como buscar artifício de estudo e aplicação do tema em salas de aula.

Também será feita análise em livros de nível médio, buscando artifício de estudo e aplicação em sala de aula, deixando explicitamente que não se trata de uma análise da obra completa, mas, apenas do tema em foco neste trabalho, Entropia. No tópico de análise de livros, serão apresentados alguns livros que foram utilizados neste trabalho, sendo considerados tais critérios em pauta: contextualização, ilustração, conceitos, exercícios, interdisciplinaridade e linha teórica.

Estudo que será feito, sempre preocupado em buscar fundamentos de associar estes conceitos teóricos, contextualizando ao cotidiano do estudante conforme sugerem os Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN de Física.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 CONCEITOS DE ENTROPIA EM PROCESSOS REVERSÍVEIS

A maioria das literaturas de Física, que abordam a entropia, considera este fenômeno através de dois tipos de processos: reversíveis e irreversíveis, os quais serão tratados nas sessões seguintes deste trabalho. Vários enunciados de entropia, em sistema fechado, são baseados nesses dois tipos de processos, mas, o primeiro à ser tratada entropia em processos reversíveis é mostrado de forma mais precisa através da teoria do rendimento de máquinas térmicas. Dentre os vários enunciados da segunda lei da termodinâmica, “estes dois são os mais importantes para conceituar entropia”. (LUIZ, 2007, p.39). Entretanto, antes de falar das máquinas térmicas, será necessário abordar um pouco de conservação ou transformação de energia na realização do trabalho (w), pois de acordo com a primeira Lei da termodinâmica energia interna (U_{int}) de um sistema é fundamental para tal compreensão.

4.1.1. Conservação de energia

Quando um sistema produz energia ou realiza trabalho fala-se que houve um deslocamento ou transformação de energia, daí a famosa frase: “Energia não se cria nem se perde, mas se transforma”. (OLIVEIRA, 2005, p13). Por exemplo, o motor de automóvel faz transformação da energia do combustível em energia térmica ou calor e realiza trabalho mecânico, um gerador pode transformar a energia potencial da água em energia elétrica; então a “soma das energias em que entra no sistema com a que sai, poderá ser igual ou maior, igual ou menor, dependendo da quantidade que fica dentro dele” e este fenômeno está diretamente de acordo com o princípio de conservação de energia.

Conforme a primeira lei, em um sistema termodinâmico em repouso, a variação de energia interna é nula, mas se realizarmos as medidas dessa energia, com este dispositivo ligado, pode-se observar uma variação de energia, que é definida pela equação:

$$U = U_f - U_i \quad (1.1)$$

Mas também se sabe que, quando há variação de energia interna de um sistema, naturalmente ocorre realização de trabalho.

4.1.2 Trabalho

A realização de trabalho em um sistema, seja termodinâmico ou não, trata-se de uma força imprimida a uma determinada massa, em um período de tempo, em que houve um deslocamento (x). Seja levantamento de peso, expansão ou compressão de um gás, estiramento elástico, deslocamento de um corpo entre outros, teremos a realização de trabalho definida pela seguinte equação.

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} \quad (1.2)$$

Ou

$$W = \int_i^f \vec{F} \cdot d\vec{x}, \quad (1.3)$$

Onde a integração nos fornece um trabalho infinitesimal, sendo (W) dados em Joule(J), força em Newton (N) e o deslocamento em metros (m). Por exemplo, seja um sistema composto por um gás ideal, no qual é fornecida energia através de uma fonte de calor, espontaneamente a energia interna (energia do sistema) irá aumentar, o gás vai se expandir realizando trabalho de um ponto A até um ponto B. De acordo com o princípio de conservação de energia este fenômeno é calculado pela variação de energia interna entre os pontos A e B, dada por:

$$\Delta U = U_B - U_A, \quad (1.4)$$

Então,

$$\Delta U = Q - W, \quad (1.5)$$

Onde Q é o calor trocado entre os pontos e W é o trabalho realizado pelo sistema. Tomando o caminho inverso tem-se:

$$\Delta U = Q + W \quad (1.6)$$

Portanto temos o calor como sendo positivo quando é absorvido pelo sistema e negativo quando cedido pelo mesmo, sendo que, o trabalho é positivo quando realizado pelo sistema e negativo quando consumido por ele.

Este princípio de transformação de energia foi elaborado com a contribuição de vários cientistas experimentais, entre os quais se destacam James Prescott Joule, estabelecendo que o trabalho possa ser convertido em outra forma de energia ou dissipado sob a forma de calor, efeito este que ficou conhecido como efeito Joule (J). Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz estende este princípio a uma constituição microscópica, onde a conservação de energia mecânica se dá através da energia cinética dos átomos. Portanto, Helmholtz e outros cientistas, estabeleceram que, “a teoria cinética da matéria e o calor estão associados aos movimentos microscópicos dos átomos”. (OLIVEIRA, 2005, p.13).

Agora que já se conhece um pouco sobre conservação de energia, trabalho e efeito Joule, pode-se voltar ao assunto proposto inicialmente com o propósito de entender sobre o funcionamento das máquinas térmicas e associá-la com a entropia.

4.1.3 Máquinas térmicas

As máquinas térmicas são instrumentos que de uma maneira prática, serve para compreender a segunda lei da termodinâmica, pois trabalha com processos reversíveis quase estáticos, onde observa que a variação de energia interna ΔU , em cada ciclo é igual a zero, ou seja,

$$\Delta U = 0.$$

Conforme Serway (2011, p.635), “As máquinas térmicas são dispositivos que transformam a energia interna em outras formas de energia úteis,” como exemplo: a queima de carvão ou de outro combustível para produção de energia elétrica ou mecânica. De um modo geral, essas máquinas fazem com que o trabalho seja realizado periodicamente, ou seja, em ciclos, conhecidos como processos reversíveis sempre voltando ao estado inicial. Esse fenômeno ocorre como o processo de transferência de energia térmica, isto é, o calor é transferido de um corpo de maior temperatura para um de menor temperatura. Elas realizam o trabalho

sempre impulsionando calor de uma fonte de temperatura elevada (T_q) para uma fonte de temperatura fria (T_f). Assim, como as demais leis da física são sempre comprovadas experimentalmente, também a segunda lei pode ser comprovada experimentalmente, com base nos funcionamentos das máquinas térmicas, onde vários enunciados foram elaborados por grandes físicos e cientistas entre os quais se podem destacar: William Thompson (Lord Kelvin), Max Planck e Clausius. Sendo que o enunciado de Kelvin-Planck diz: “É impossível construir uma máquina térmica que opera em ciclos termodinâmicos que produz trabalho e troca de calor em uma única fonte térmica”. (VAN WYLEY, 1995, p.141).

Dessa forma, um trabalho termodinâmico só pode ser realizado em níveis de diferentes temperaturas. Em conformidade, Clausius descreve que: “É impossível construir um dispositivo que opera em ciclos, e que não produza outros efeitos, além da transferência de calor de um corpo frio para um corpo quente”. A este enunciado, relaciona-se a bomba de calor e o refrigerador, que funciona com ajuda da realização de trabalho externo.

Para tanto, estes postulados estão perfeitamente de acordo entre si, quando se fala nas máquinas térmicas reais, explicando a segunda lei de termodinâmica, que estabelece a impossibilidade de se construir um dispositivo térmico com eficiência de 100%. Uma máquina térmica que opere com eficiência total, seria um motor perfeito, ou seja, a máquina dos sonhos de todos os cientistas. Em um processo reversível ideal que opera em ciclos completos, não se perceberia vestígios no sistema ou meio, isto é, não consegue transformar totalmente a energia fornecida em trabalho e trabalho em energia, devido alguns fatores que influenciam como, a perda da energia na forma de calor, dentre outros fatores dissipativos. Dos grandes inventores dos dispositivos térmicos destacam-se: Robert Stirling, James Watt, mas queremos analisar uma das principais, que é chamada máquina de Carnot, por ter conseguido a maior eficiência no seu rendimento para realização de trabalho líquido em um sistema.

4.1.4 Máquinas de Carnot ou Ciclos de Carnot

Através das informações sobre as máquinas térmicas sabe-se que, de acordo com a segunda lei, é impossível construir um dispositivo com rendimento de 100%, vamos então analisar particularmente a chamada máquina de Carnot que levou este nome em homenagem ao jovem cientista e engenheiro, o francês Sadi Carnot que em 1824 imaginou este dispositivo. Carnot analisou este desempenho antes mesmo que a primeira lei da termodinâmica e os conceitos de entropia fossem formulados Halliday (2009). Sabe-se que as máquinas térmicas funcionam em ciclos, ou seja, processos reversíveis, isto é, onde as perdas pelas transferências de energia causadas por efeitos como atrito, turbulência entre outros, são mínimos para realização quase estática e, durante cada ciclo, há realização de trabalho. Estes dispositivos opera em ciclos através das transferências de calor, com uma temperatura T_1 de uma fonte superior Q_1 até uma fonte de calor inferior Q_2 com uma temperatura T_2 mais baixa, ambas de forma constante.

Para entender como funciona um ciclo de Carnot nas máquinas térmicas, pretende-se mostrar através de um diagrama ou gráfico (P-V), no qual será apresentado a seguir, onde Tipler e Mosca (2006) citam alguns passos fundamentais em sistemas reversíveis:

- ✓ Absorção isotérmica quase estática de um reservatório quente;
- ✓ Uma expansão adiabática quase estática com abaixamento de temperatura ao reservatório frio;
- ✓ Rejeição isotérmica quase estática para um reservatório frio;
- ✓ Compreensão adiabática até o estado inicial.

A figura (1) representa os quatro passos dos processos reversíveis.

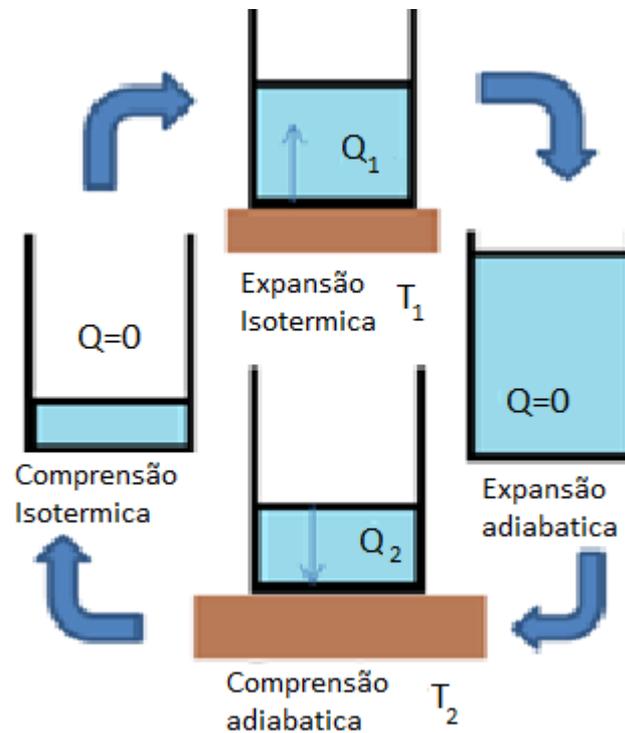


Figura (1) - Sistema mostrando um processo reversível (Iniciando em Q_1 se expande de forma isotérmica e adiabática até Q_2 de Q_2 se comprime de forma isotérmica e adiabática fechando o ciclo em Q_1)

A representação gráfica do ciclo de Carnot em um diagrama p-V é representada na figura (2).

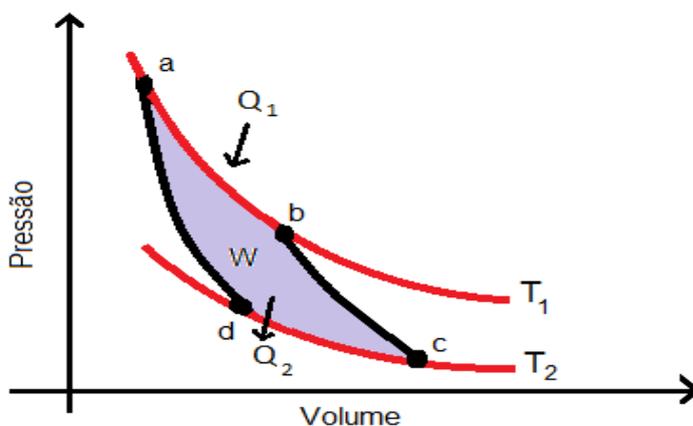


Figura (2) - Representação gráfica de um ciclo de Carnot em um diagrama P-V. (Os ramos a-b e c-d representam as isotérmicas à temperatura T_1 e T_2 respectivamente. Os ramos b-c e d-a representam as curvas adiabáticas)

Entende-se que esses ciclos ocorrem no sentido horário, em que o sistema seja composto de um gás ideal com êmbolo que se movimenta livremente. O trabalho é dado pela área representada na figura. Então a transferência do calor para realização do trabalho ocorre em isotérmicas, a-b (T_1) e c-d (T_2). Dessa forma os pontos que liga as duas isotermas, b- c e d- a correspondem as temperaturas Q_1 e Q_2 respectivamente. Acontecendo de forma adiabática, ou seja, sem as trocas de calor.

De forma lógica no qual o êmbolo comprime no sistema (pontos a - b - c) o trabalho é positivo e quando o êmbolo sobe (pontos c-d-a) o trabalho está se comprimindo e é negativo, de acordo com o ciclo de Carnot o trabalho é representado pelas áreas dos pontos (a-b, b-c, c-d e d-a). De acordo com a segunda lei, onde a variação de entropia em processos reversíveis é nula $\Delta S = 0$, podemos também calcular o trabalho realizado em uma máquina de Carnot, usando apenas as duas fontes de temperaturas em um diagrama (**TS**) onde ocorrem as transferências de energia, pois como o processo é reversível a variação de entropia é sempre nula, conforme mostra o gráfico (TS) da figura (3).

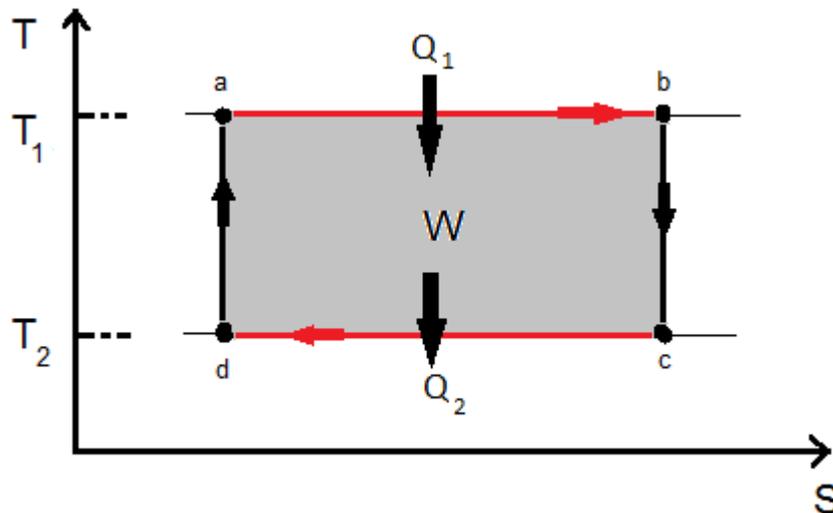


Figura (3)-Gráfico TS mostrando um ciclo termodinâmico (O ciclo de Carnot mostrado na fig. 3 Diagrama T-S os ramos a-b e c-d a temperatura permanece constante, nos ramos b-c e d-a, a entropia permanece constante)

$$\Delta S = \Delta S_i + \Delta S_f = \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} \quad (1.6)$$

Como o trabalho é dado por uma máquina de Carnot na forma de ciclos, o trabalho líquido, fica conforme a primeira lei de energia interna;

$$W = Q_1 - Q_2 \quad (1.7)$$

$$T_1 > T_2$$

$$Q_1 > Q_2$$

Comparando que $T_1 > T_2$ e $Q_1 > Q_2$, vamos usar as duas equações para definir eficiência máxima em um ciclo de Carnot.

4.1.5 Rendimento máximo de Carnot

Na prática isso equivale dizer que o objetivo no funcionamento de uma máquina térmica, é transformar em trabalho, isto é, em energia útil, a maior parte possível, da energia fornecida em forma de calor. Chegamos a esta definição, usando a seguinte equação:

$$\eta_{m\acute{a}x} = \frac{E_{\acute{u}til}}{E_{fornecida}} = \frac{W}{Q} \quad (1.8)$$

Contudo, para a máquina imaginária de Carnot podemos usar a equação (1.8) para reescrever a equação (1.7), portanto,

$$\eta_c = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}, \quad (1.9)$$

Onde: η_c = Rendimento de Carnot, W = Trabalho em (watts), Q_1 e Q_2 são as fontes quentes e frias de calor respectivamente em Joule (J). Se comparando a eq.(1.9) com a (1.6) tem-se:

$$\eta_c = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (1.10)$$

Onde as temperaturas T_1 e T_2 são dadas em Kelvin. Como $T_2 < T_1$, a máquina de Carnot também tem rendimento por unidade menor que 100%, conforme a equação (1.9). Isto nos informa que apenas parte da energia fornecida em forma de calor é útil para realizar trabalho, e não existe a máquina real e perfeita. A vontade de criar a máquina perfeita está na mente dos cientistas e inventores preocupados constantemente em reduzir a quantidade de energia desperdiçadas a zero e construir máquinas capaz de transformar toda energia fornecida totalmente em trabalho líquido. Temos um teorema que diz o seguinte: se esta máquina fosse real, os navios poderiam extrair calor das águas oceânicas, os automóveis extrairiam energia mecânica do ar para se movimentar, tudo isso sem uso de combustível. (HALLIDAY, 2009). Isto equivale dizer na prática um rendimento máximo de 100%, por unidade, mas para satisfazer esta possibilidade só seria possível com T_1 tendendo ao infinito, ou se $T_2 = 0$. Condições estas impossíveis de ser alcançadas no mundo real, pelo menos por enquanto.

Conforme a segunda lei da termodinâmica, não existe ainda a máquina térmica perfeita, pois nenhuma desta operando em ciclo é capaz de converter toda energia fornecida totalmente em trabalho útil, assim sendo nenhuma máquina na realidade tem melhor ou igual desempenho, comparando com a máquina imaginária de Carnot, conforme apresentada na eq.(1.9), todas as demais têm eficiência menor, conforme estes exemplos apresentados por, Halliday (2009). Se os automóveis que usamos trabalhassem de acordo com o ciclo de Carnot, teria rendimento de aproximadamente, 55% enquanto na prática se aproxima da ordem de 25%. Para tanto, a teoria de Carnot nos fornece alguns teoremas em destaque Nussenzveig (2002):

- ✓ Nenhuma máquina térmica que trabalhe entre duas fonte de calor é superior em rendimento à máquina de Carnot.
- ✓ Todos dispositivos de Carnot operando nessas mesmas fontes de temperaturas terão o mesmo rendimento.

4.2 PROCESSOS IRREVERSÍVEIS E ENTROPIA

4.2.1 Conceitos de entropia em processos irreversíveis

Nas sessões anteriores foram tratados alguns enunciados de entropia em sistema fechado baseado em processos reversíveis, a seguir trata-se de outro enunciado baseando-se o conceito de entropia em processos irreversíveis. Para compreendermos sobre entropia é necessário saber que existem duas situações fundamentais deste fenômeno acontecer: Como foi mencionado anteriormente em processos reversíveis, também serão destacados os processos irreversíveis, que é um tópico essencial e relevante do trabalho, no entanto para esta fundamentação é importante analisar alguns fenômenos que são indispensáveis para tal compreensão. Como direção ou sentido do processo, desordem e probabilidade de ocorrência; e estes fenômenos podem ser analisados tanto em corpos macroscópicos como em corpos microscópicos, com grandes números de partículas envolvidas, onde esses cálculos são sempre probabilísticos, mas pretende-se atentar de modo mais geral em situações macroscópicas.

4.2.2 Sentido

Sempre se ouve apelos para que se conserve energia e evite desperdício, isso parece um tanto sem sentido quando se estuda a primeira lei, e esta informa que energia sempre se conserva ou se transforma também se sabe que alguns tipos de energia são mais úteis e apropriadas para o consumo. No entanto, “A possibilidade ou não de se aproveitar energia é objeto da segunda lei”. (TIPLER E MOSCA, 1993, p. 664).

Outro fator interessante de se observar é que todos os processos naturais ocorrem num único sentido e que a transferência de calor acontece sempre do corpo com maior energia para o de menor energia, estabelecendo-se o equilíbrio térmico entre ambos os corpos, e que esta compreensão facilita o entendimento nos processos térmicos, pois conforme Cindra (2004), em seu artigo em titulado: Discussão conceitual para equilíbrio térmico, considera como sendo um dos assuntos mais difíceis de ser formulados por pensadores e cientistas no decorrer do tempo.

Em uma primeira situação, na qual é comum no cotidiano, sempre alguns fenômenos são presenciados como processos que fluem em uma única direção como, por exemplo: um copo que cai ao chão se quebra. Jamais se vê este filme ao contrário, os cacos do copo se ajuntar e voltar ao estado inicial. Um dos objetos da física é se preocupar em explicar o sentido desses fenômenos naturais e espontâneos, usando uma grandeza de estado chamado entropia, então não é as mudanças de energia de um sistema fechado que determina o sentido dos processos, e sim a variação de entropia ΔS , que ocorre sempre um sentido e nunca em outro inverso, ou seja, a entropia versa sobre os processos físicos sempre em uma direção e não em outra. Então se pode analisar como exemplo: os refrigeradores, as câmaras frias entre outras, que retira calor de uma fonte fria interna e lança na parte externa mais quente, só que, neste caso o calor reversível na transformação deste processo e vice versa faz com que se questionem esta teoria.

Entretanto, o fenômeno só ocorre com ajuda externa de energia fornecida pelo motor, portanto se for considerada essa transformação da energia mecânica do motor em energia térmica, o calor cedido para o meio externo, pode-se observar que a entropia do “universo” sistema mais a vizinhança será sempre positiva com $\Delta S > 0$.

De acordo com este enunciado seria um espanto ver estes fenômenos acontecendo de maneira inversa. Um exemplo bem prático citado por Serway e Jewett (2011), é quando se observa uma bola de borracha em queda livre, ao tocar o chão, ela repete esse movimento por varias vezes até dissipar toda energia potencial e mecânica, transformando em energia térmica no contato com o chão, e nunca se vê o inverso disso acontecer, a bola adquirir energia em contato com o chão e começar a se movimentar. Portanto a entropia diferentemente de energia que em um sistema fechado sempre se conserva, a variação de entropia é conhecida como “seta do tempo” e é sempre positiva, matematicamente falando $\Delta S > 0$, ou seja, nunca diminui.

Existem dois importantes postulados da entropia. O primeiro diz que: “É impossível que um sistema remova energia de um reservatório e reverta totalmente em trabalhos sem que haja mudanças no (universo) sistema e vizinhança”. (TIPLER E MOSCA, 2006, p.666). Já o segundo, vem descrito por Halliday (2009, p. 248): “Se um processo irreversível ocorre em um sistema fechado, a entropia sempre aumenta, ou seja, é sempre positiva $S > 0$ ”.

O princípio de aumento de entropia deixa bem claro, é considerado em processos naturais, ou seja, espontâneo e isolado, isto é irreversível Nussenzveig (2002, p. 230).

4.2.3 Desordem, probabilidade e entropia

Sabe-se que entropia se preocupa com função de estado das partículas em um sistema termodinâmico, então ao analisar um sistema com um gás qualquer ligada a uma fonte de calor, as moléculas deste gás irão agitar e conseqüentemente a desordem irá aumentar consideravelmente, ou ainda, se este sistema for dividido por paredes adiabáticas e abrir uma pequena passagem para o outro lado, este gás irá espontaneamente fluir de um lado para outro, adquirindo grau de desordem das moléculas cada vez maior, mesmo sem influência do calor, mas nunca poderá ocorrer no sentido contrário, ou seja, as moléculas voltando ao estado original. Assim a entropia, que é uma medida de desordem de um sistema esta relacionada à probabilidade de estado que pode ocorrer: Dessa maneira um estado ordenado está relacionado com baixa probabilidade, e um estado muito desordenado a uma alta probabilidade. Portanto, em um processo “irreversível o universo passa de um estado de baixa probabilidade para um estado de alta probabilidade”. (TIPLER, MOSCA, 2006, p.692). E a essa variação de entropia pode ser calculada com seguinte definição:

$$\Delta S = S_f - S_i = \int \frac{dQ}{dT} \quad (1.11)$$

Onde dQ = calor, correspondente a energia cedida ou absorvida pelo sistema durante o processo e dT = variação de temperatura, dada em Kelvin; Assim sendo, a variação de entropia depende tanto da energia transferida como da temperatura na qual ocorre a transferência. Conforme mostra a figura (4) a seguir.

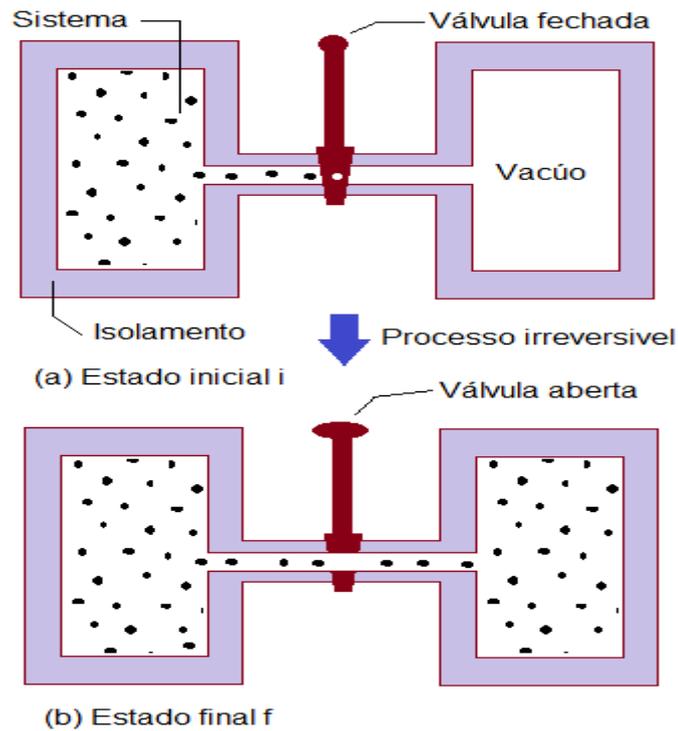


Figura 4- Sistema mostrando um processo irreversível. (A expansão livre de um gás ideal na figura (4a) o gás está confinado no lado esquerdo de um recipiente isolado por uma válvula fechada. Na (4b), quando a válvula é aberta, o gás ocupa todo o recipiente. Este processo é irreversível, ou seja, não ocorre no sentido inverso, com o gás espontaneamente voltando a se concentrar no lado esquerdo do recipiente. (HALLIDAY, 2010, p. 249)

Outra maneira prática de ter uma relação macroscópica com a microscópica é fornecida pela famosa equação de Ludwig Boltzmann para um sistema com energia, volume e número de partículas constante, definida pela seguinte forma:

$$S = K \ln W \quad (1.12)$$

Onde o número de estados microscópico deste sistema é representado por W e define a possibilidade deste sistema passar de um estado para outro em si próprio, onde W será sempre maior, e $K = 1,38 \times 10^{-23} \text{JK}^{-1}$ é a constante de Boltzmann. Da interpretação da desordem e entropia do sistema, se segue a colocação de Borges (1999, p.456). “Quando se coloca ordem na casa, cada coisa deverá ser guardada em seu lugar, seguindo o princípio que existe um lugar para cada objeto”, isto quer dizer que, todos estes microestados são possíveis, mas a probabilidade de ocorrência é pequena que pode ser desconsiderada e tudo isto

está relacionado com a irreversibilidade. A transformação de energia nos fenômenos ocorridos de forma espontânea é tida sempre de uma desordem nas organizações das partículas de forma considerável, tanto no sistema como também em sua vizinhança, dessa forma entende-se que a entropia do universo sempre aumenta juntamente com a desordem, para obter essas medidas são usados cálculo probabilísticos. Assim “a entropia é uma grandeza associada com um grau de liberdade de um sistema qualquer, seja termodinâmico, mecânico, ambiental social, etc”. (LENO 2004, p.13). E Pires (2008) descreve: Embora as leis físicas descrevam completamente o comportamento dos átomos em um sistema, seja ele sólido, líquido ou gasoso, esse conhecimento não é preciso em sistema microscópico complexo, então se faz necessário para um grande número de partículas, a aplicação de um método estatístico ou probabilístico.

Para tanto, “a variação de entropia de um sistema somado com variação da vizinhança, ou seja, a variação da entropia do universo é sempre positiva”. (LUIZ, 2002, p.42). Este enunciado concorda que em todos os processos irreversíveis a lei é determinada “o sistema e sua vizinhança se dirigem para o estado menos ordenado”. (TYIPLLER E MOSCA, 2006, pag.683). Dessa maneira o postulado sobre a segunda lei da termodinâmica conforme Rudolf Clausius e John Thomson, em 1854 estabelecem que, “todos os processos naturais levam a um aumento da entropia de um sistema interno envolvido”. (ARAGÃO, 2006, Pag. 47). Onde Clausius já havia declarado que: o princípio de aumento de entropia em processos naturais e desordem do sistema estão diretamente ligados com indisponibilidade de energia que foi degradada na realização de trabalho, ou seja, a entropia é uma grandeza apropriada para medir o grau de desordem e degradação de energia nos processos irreversíveis, Luz e Álvares (2005).

4.3 TERCEIRA LEI DA TERMODINÂMICA E ENTROPIA

A terceira lei da Termodinâmica, lei esta descrita por escritores físicos, como ela é considerada dos cientistas, entre os quais, Max Plank declarou que: a entropia de algumas substâncias cristalinas tende a zero, quando a sua temperatura se aproxima do zero absoluto, mais conhecida como zero Kelvin, onde os movimentos cinéticos das partículas se anulam, este fenômeno caracteriza a terceira lei. Embora “O zero Kelvin nunca pode ser atingido. (LUIS, 2007, p.42)”. Lei que recebeu seus primeiros enunciados um pouco superficial por Nernst em 1906, conforme a historiadora da Física Aragão (2006), esta lei recebeu uma reformulação mais completa feita por Planck, foi quando ele comparou os trabalhos de eficiência de Carnot reversível independente da substância ou propriedade, como também fora vista por Lorde Kelvin.

De acordo com este enunciado entende-se, o porquê do zero Kelvin ser o limite para a temperatura de um corpo. Luz e Álvares (2005) descrevem: embora alguns cientistas tenham conseguido obter temperatura aproximada do 0 K, eles jamais alcançarão este prodígio, pois se isso acontecesse de fato, poderia ser usada como fonte fria de Carnot $T_2 = 0$, e chegaria ao rendimento dos sonhos que é 100% por unidade. Princípio que contraria a segunda lei da Termodinâmica.

4.4 CONTEXTUALIZAÇÕES DE ENTROPIA

Ouve muito falar do termo contextualização, e esta é, na verdade, uma teoria que, segundo a maioria dos educadores é de suma importância no processo ensino aprendizagem, pois atualiza o estudante dentro do mundo real, ou pelo menos se aproxima a teoria com a realidade vista no seu cotidiano. Pois também, os PCN+ de Física em acordo com os PCNEM, propõem que o ensino da Física no ensino médio possa ter sentido. Tem como objetivo, formar uma visão de acordo com a Física que possa estar voltada a formar cidadão contemporâneo, que possa ser atuante e solidário; Com recursos para compreender, interferir e atuar na realidade.

Com este pensamento, mesmo aqueles estudantes, que após concluir o ensino médio, não venha ter mais nenhum contato com a escola, mesmo assim eles terão adquirido um aprendizado necessário para compreender e atuar no universo em que vivem. Assim sendo, a Física deixa de ser apenas objeto de estudo, passando a ser entendida como um instrumento para compreensão do universo, fazendo o jovem entender que a Física não veio apenas informá-lo da sua existência, mas mostrar a ele que este conhecimento adquirido possa tornar como uma ferramenta a mais transformando sua maneira de pensar e agir (BRASIL, 2000).

Dessa maneira, com o assunto colocado em pauta a entropia, também não é diferente, podendo ser associado ao ensino, e que isso esta, diretamente ligado, como por exemplo: no trabalho com certas máquinas, na rua observando os automóveis, nas residências com aparelhos domésticos, enfim também pode ser observados nos fenômenos naturais que acontece espontaneamente, como objetos que cai, explosões de pequeno porte, assim sucessivamente. E também as catástrofes naturais que tem acontecido com grande intensidade, onde frequentemente os jornais relatam: tempestades, terremotos, maremotos, onde tem causados danos naturais, físicos e econômicos, que em conformidade com a segunda lei, são unidirecionais e causam desordem no sistema, “universo” de forma irreversível. Outro fator também, muito interessante de aplicação da entropia está associado ao sistema econômico no universo.

4.4.1 Entropia sistema econômico e universo

Entropia aplicada ao sistema econômico é um assunto com filosofia e que tem ganhado espaço em literaturas de física. De maneira sucinta, serão apresentadas explicações plausíveis e que merece toda atenção. Vários artigos e textos, correspondente ao assunto, fazem associações deste tópico, na maior parte com a geração de energia que está diretamente ligada com o tema entropia e que tem sido uma preocupação global por parte de cientistas e governante, onde se investem bilhões de na tentativa de amenizar o problema e gerar energia, produzindo desenvolvimento e renda.

Este desenvolvimento teve um início mais marcante, de acordo com historiadores por volta dos séculos XVIII e XIX, os chamados de séculos das luzes. Foi quando começou a surgir às famosas máquinas térmicas, dando início à revolução industrial, onde o capitalismo se fortaleceu impulsionando a economia global. Conforme Ferreira, (1997) em seu artigo: Entropia, economia e desenvolvimento social, ele relata: estas máquinas térmicas em funcionamento tornam em excelentes geradores de entropia no universo, em seguidas surgem também os automóveis, navios, trem de ferro e outras que contribuem, cada vez mais, eliminando energia no meio ambiente, provocando desequilíbrio ambiental e conseqüentemente um aumento desordenado da entropia no universo.

Um tema abordado por alguns cientistas, no qual Clausius, já em sua época, declarou que, a entropia do universo tenderia para um máximo. Atualmente, vários escritores da Física, relatam o assunto com relevância, entre os quais Luz e Álvares (2005), destaca: a tendência de todos os processos naturais como: fluxo de calor, misturas difusão. É de acarretar uma uniformidade de temperatura, pressão e composição em todo o sistema participante do processo, com indisponibilidade de energia aumentando a entropia, na qual todo o universo chegará a uma uniformidade absoluta. Caso este fenômeno seja alcançado, os processos físicos, químicos e biológicos cessarão. Este é um destino, no qual se parece caminhar, conhecido como a morte térmica do universo. Esta teoria entra em conformidade com as leis da termodinâmica, que tem se tornado cada vez mais um assunto popular em varias obras literárias e filosóficas.

Segundo Aldeia (2004), tudo isto parece simultaneamente um tanto poético e pouco científico, particularmente, devido ao empenhamento pós-moderno nas novas práxis, mas não deixa de merecer um olhar atento.

Embora, muitos cientistas contestam esta teoria alegando, ser o nosso universo como não sendo um sistema isolado, condições inadequadas a termodinâmica. “Existem muitos fenômenos misteriosos e concernentes ao nosso universo, tornando esta situação com muitas especulações”. (PENTEADO E PENTEADO, 2005, p.93)

4.5 ANÁLISSE DE ENTROPIA EM LIVROS DIDÁTICOS DO ENSINO MÉDIO

Esta fase de levantamento bibliográfico e análise dos conceitos e aplicações da entropia em livros didáticos do ensino médio é uma oportunidade de se verificar como os principais autores desse segmento tratam o assunto, pois as observações dos Parâmetros Curriculares Nacionais - PCN e PCN+ de física mostram que é relevante e sugerem que o ensino deste conteúdo deve ser tratado no ensino médio. (BRASIL, 2000) Portanto, essa análise é de extrema importância, visto que, alguns professores seguem rigorosamente o livro didático adotado, sem retirar ou acrescentar nenhum assunto.

Dessa forma, é possível verificar qual livro melhor aborda a entropia e, se essa obra não for o livro padrão adotado pela escola, pode ser utilizado como material de apoio no ensino. Pois, Monteiro (2008, p.176) cita em seu artigo em titulado: "Proposta de atividade para abordagem do conceito de entropia", menciona que, ao contrário da primeira lei, onde os aspectos quantitativos e qualitativos de conservação de energia são comuns em materiais didáticos, com uma quantidade razoável de atividades didáticas para abordagem de ensino e discussões em sala, a segunda lei é carente na maioria dos livros didáticos, apresentando poucas atividades que permita interações entre professor e aluno. Esta situação, aliada com a abstração dos conceitos irreversíveis de entropia, se transforma em obstáculo para abordagem do assunto com alunos de ensino médio. Tendo em vista, a solicitação do Ministério da Educação - MEC, que no ano de 2008 disponibilizou livros de Física aos professores para que fizessem suas escolhas, este material procura dar suporte, deixando explicitamente que não se trata de uma análise da obra completa, mas apenas do tema em foco. Em seguida, serão apresentados alguns livros que foi usado em análise.

4.5.1 Física no ensino médio, de Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga, editora: Scipione, volume 2. (2005).

A análise deste se justifica por ser o livro de escolha usado nas escolas públicas de Ariquemes. De um modo geral é um livro com excelente contextualização, abrangendo desde os relatos históricos ao cotidiano do aluno

concernente o assunto, possui ilustrações diversas com gráficos, imagens inteiramente ligadas aos conteúdos. Ótima conceituação, distribuindo bem os aspectos de entropia em várias situações, deixando as definições de forma explícita, com muitos exercícios, em vários níveis e grau de dificuldades, e exemplos resolvidos; faz boas interações com a história, textos bem definidos, com formas matemáticas suficientes para as resoluções, todas com uma ótima interação com os conceitos físicos. No caso deste tema, mostra uma visão geral tanto em processos reversíveis como nos irreversíveis de um sistema e universo. Sua linhagem teórica como já mencionamos, é diversificada, contextualizada dando bom suporte a construção do conhecimento, exigindo muito empenho e dedicação do leitor em sua pesquisa.

4.5.2 Física básica, Nicolau Gilberto e Antônio Toledo, editora: Atual, volume único, (2004)

Neste livro, a entropia é abordada de forma muito resumida relatando breves textos de forma simples e direta, deixando muito a desejar sobre conceitos importantes e com um tópico quase relapso em máquinas de Carnot. Possui contextualização limitada, bem ilustrado com figura e gráfico, mas muito simplificado, poucos exemplos e exercícios com grau de dificuldade regular, sua linguagem teórica se apresenta de forma direta e simplificada.

4.5.3 Física ciências e tecnologia, de Paulo César Penteado e Carlos Mágnio Torres. 3 ed. Editora Moderna. V. 2, (2005)

O critério de escolha para análise desta obra foi em virtude de fazer parte do Plano Nacional de livro do Ensino Médio - PNLEM. Sendo o livro adotado como segunda opção de escolha pelos professores de física nas escolas públicas de Ariquemes. É um livro muito atrativo ao estudante, pois chama atenção em virtude de suas ótimas ilustrações, com figuras e gráficos dando suporte necessário as explicações teóricas dos conteúdos. Embora não se disponha de longos textos, possuem boas explicações físicas com relatos bem definidos, conceituando de forma

direta e precisa, fundamentando bem os princípios de entropia com uma linhagem teórica coerente. Bons exemplos desenvolvidos, com um número significativo de exercícios distribuídos sobre o conteúdo, de modo que apresenta bem a segunda lei da termodinâmica. É também um bom material a ser usado no processo ensino aprendizagem, comparando com os demais livros estudados neste contexto, deixando um pouco a desejar no quesito contextualização, sendo apenas inferior ao livro do Antônio Máximo e da Beatriz Alvarenga.

4.5.4 As faces da física, de Wilson Caron e Osvaldo Guimarães, 3 ed. Editora: Moderna, volume único, (2006)

A opção de escolha para análise desta bibliografia se deve ao fato dele fazer parte do Plano Nacional de Ensino Médio – PNLEM, também é um material contemporâneo. Seus conceitos são bem formulados com exemplos desenvolvidos, muitos exercícios disponíveis, a maioria deles é de vestibular, tem ilustrações com figuras e gráficos que representa bem o assunto, mas apesar de ser uma literatura atualizada, deixa a desejar no quesito da interdisciplinaridade, sendo restritamente físico e dentro do tema analisado. Seu foco é breve e direto tratando apenas dos processos com base nas máquinas de Carnot, omitindo os demais conceitos de entropia com base nos processos irreversíveis, que também é muito importante para compreensão do aumento de entropia do universo como um todo, ou seja, sistema e vizinhança.

4.5.5 Física completa, de Regina Azenha Bonjorno, José Roberto Bonjorno, Valter Bonjorno e Márcio Ramos, editora: FTD, volume único, (2001)

Nessa obra percebe-se um material que segue os padrões tradicionais de ensino aprendido, pouquíssimos conceitos, onde os exemplos são diretos, colocados sempre acompanhados de formulas matemáticas. Sobre entropia, é muito resumido, textos simplificados e diretos, mas no quesito exercícios é excelente, com ótimos e variados níveis. Talvez isso explica o fato dele ser bem requisitado e utilizado pelos professores em sala de aula.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a ideia inicialmente e os objetivos proposto neste trabalho, de buscar e encontrar suporte didático e fundamentação teórica, para os conceitos de entropia, dentro dos processos reversíveis e irreversíveis, sendo estes os mais relevantes para compreensão da segunda lei da termodinâmica. O presente estudo mostrou que este assunto é de fundamental importância para que o aluno contextualize seu cotidiano com as transformações de energia nos fenômenos ocorridos, e associe este conhecimento ao universo em que vivem. Onde os PCN+ de física dá ênfase à contextualização, e que esta proposta deve ser aplicada no processo ensino aprendizagem.

Após a análise dos conceitos de entropia em livros de ensino médio, foram confirmadas as observações que alguns estudiosos apresentaram em artigos relacionados ao tema, onde foi possível observar que poucos destes livros dão um suporte necessário ao professor para aplicação dos conceitos de entropia em sala de aula. Com isso, exige-se desse profissional, um empenho muito maior de percepção e de pesquisa para que este tema seja tratado de forma satisfatória, conforme proposto neste contexto e também como sugerem os PCNEM de Física.

REFERÊNCIAS

ALDEIA, João Augusto. **Economia e (de) Crescimento: Pura economia**. 2004. Disponível em: <<http://puraeconomia.blogspot.com/2004/11/entropia-e-decrescimento.html>>. Acesso em 13/mai/2011.

ARAGÃO, Maria José. **Física: História da física**. 1ªed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

BONJORNO, Regina Azenha. et.al.. **Física completa: ensino médio**. 2ª ed. São Paulo: FTD, 2001.

BORGES, Ernesto P. Irreversibilidade, desordem e incerteza. **Revista Brasileira do ensino de Física**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 4. p. 453-463, Dez, 1999. Disponível em:<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v21_453.pdf>. Acesso em: 15/ Abril/ 2011.

BRASIL, Ministério da Educação; **Parâmetros curriculares Nacionais do Ensino Médio - Física**. Brasília, DF, 2000.

CARON, Wilson; GUIMARÃES, Osvaldo. **As Faces da Física: Física no Ensino Médio**. 3 ed. São Paulo: Moderna, 2006.

CINDRA, José Lourenço. Discussão conceitual para o equilíbrio térmico. **Caderno Brasileiro ensino de Física**. Florianópolis, v.21, p.176-193, Ago 2004 Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6431/5947>> Acesso em: 10/Mai/2011.

FERRARO, Nicolau Gilberto e TOLEDO, Antônio. **Física básica: Física no Ensino Médio**. 2 ed. São Paulo: Atual, 2004.

FERREIRA, Omar Campos. **Entropia: Economia e Desenvolvimento**. Ed. Eletrônica. Minas Gerais. n. 2, Mai/1997. Disponível em:<<http://www.ecen.com/content/eee2/entropia.htm>>. Acesso em, 13/Mai/2011.

HINRRICHS, Roger A, KLEIBACH, Merlin. **Energia e meio ambiente** . 4 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

LENO, Gilberto; NEGRO, Luiz. **Termodinâmica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

LUÍZ, Adir Moysés. **Termodinâmica v. 2: Teoria e problemas**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

MONTEIRO, Marco Aurélio Alvarenga. et. al.. Proposta de Atividade Para Abordagem do Conceito de Entropia. **Caderno Brasileiro ensino de Física**. Florianópolis, v. 26, n. 2. p. 367- 378, Ago, 2009.
Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/view/9816/12753>>.
Acesso em: 10/Mai/2011.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de física básica v. 2: fluidos, ondas e calor**. 4 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

OLIVEIRA, Mário José de. **Termodinâmica**. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

PENTEADO, Paulo César M; PENTEADO, Carlos Magno A. Torres. **Física - Ciências e Tecnologia v. 2: Componente Curricular Física**. 1 ed. São Paulo: Moderna, 2005.

PIRES, Antônio S. T. **Evolução das ideias da Física**. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

SERWAY, Raymond A; JEWETT, John W. Jr. **Princípios de Física: Movimento Ondulatório e Termodinâmica**. 3 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

TYPLER, Paul Alan; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros v. 1: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

VAN WYLEN, Gordon John; SONNTAG, Richard E; BORGNAKKE, Clus. **Fundamentos da Termodinâmica Clássica**. 4 ed Americana. São Paulo: Edgard Blücher, 1995.