

S719i Souza, Claudivan Moreira

Investigação e interpretação do conceito de entropia na física e a evolução do seu conceito em outras áreas de conhecimento. Patos: UEPB, 2010. 42f.

Monografia (Trabalho de conclusão de Curso – TCC) - Universidade Estadual da Paraíba.
Orientador: prof. Dr. Pedro Carlos de Assis Junior

1. Ensino de Física 2. Didática, currículo e avaliação no Ensino de Física.

II. Assis Junior ,Pedro Carlos de

CDD 530.



Universidade Estadual da Paraíba
Campus VII – Patos
Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas
Curso de Licenciatura em Computação

ATA DE DEFESA DE TCC

Aos 07 dias do mês de dezembro do ano de 2010, às 19:50 horas, no laboratório de Informática, do Campus VII da Universidade Estadual da Paraíba, ocorreu a apresentação de Trabalho de Conclusão de Curso, requisito da disciplina TCC, do(a) aluno(a)

CLAUDIVAN MOREIRA DE SOUZA

tendo como tema "INV. E INT. DO CONCEITO DE ENTROPIA NA FÍSICA"

Constituíram a Banca Examinadora os professores: Professor(a)

Pedro Carlos de Amorim Júnior

(Orientador(a)), Professor(a)

Isoliana Rocha de Sousa

(Examinador(a)), Professor(a)

Valdene Carvalho Gomes

(Examinador(a)).

Após a apresentação e as observações dos membros da banca avaliadora, definiu-se que o trabalho foi Aprovado, com nota 10,0 (Dez).

Eu, Pedro Carlos de Amorim Júnior, Professor(a) – Orientador(a), lavrei a presente ata que segue assinada por mim e pelos demais membros da Banca Examinadora.

Pedro Carlos de Amorim Júnior
PROFESSOR(A) – NOME COMPLETO – ORIENTADOR(A)

Isoliana Rocha de Sousa
PROFESSOR(A) – NOME COMPLETO – EXAMINADOR

Valdene Carvalho Gomes
PROFESSOR(A) – NOME COMPLETO – EXAMINADOR

- E A EVOLUÇÃO DO SEU CONCEITO EM OUTRAS ÁREAS DO CONHECIMENTO.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E SOCIAIS APLICADAS
CAMPUS VII-GOVERNADOR ANTÔNIO MARIZ**

CLAUDIVAN MOREIRA DE SOUZA

**INVESTIGAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DO CONCEITO DE ENTROPIA NA FÍSICA
E A EVOLUÇÃO DO SEU CONCEITO EM OUTRAS ÁREAS DO CONHECIMENTO**

**PATOS - PB
2010**

CLAUDIVAN MOREIRA DE SOUZA

**INVESTIGAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DO CONCEITO DE ENTROPIA NA FÍSICA
E A EVOLUÇÃO DO SEU CONCEITO EM OUTRAS ÁREAS DO CONHECIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Licenciatura
Plena em Ciências Exatas da
Universidade Estadual da Paraíba,
Campus VII como pré-requisito para a
obtenção do grau de Licenciado em
Ciências Exatas.

ORIENTADOR: Dr. PEDRO CARLOS DE ASSIS JÚNIOR

**PATOS - PB
DEZEMBRO/2010**

CLAUDIVAN MOREIRA DE SOUZA

**INVESTIGAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DO CONCEITO DE ENTROPIA NA FÍSICA
E A EVOLUÇÃO DO SEU CONCEITO EM OUTRAS ÁREAS DO CONHECIMENTO**

Aprovada em _____ de _____ de _____

BANCA EXAMINADORA

Dr. Pedro Carlos de Assis Júnior - UEPB
Orientador

Prof. MSc. Valdenes Carvalho Gomes - UEPB
Examinador

Prof^a. MSc. Tatiana Rocha de Souza - UEPB
Examinadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Orientador Dr. Pedro Carlos de Assis Júnior que além de suas tarefas de orientações acadêmicas, sempre se mostrou preocupado com todos os seus alunos. Com o nosso crescimento pessoal e intelectual e, sobretudo com o nosso futuro. O considero um amigo!

A Prof.^a Jane Eyre Gabriel que além do conhecimento compartilhado me ensinou, através do seu próprio exemplo, muito sobre a vida. Obrigado, magnífica educadora.

A meus amigos e colegas de curso pelo companheirismo e ao mesmo tempo, desejo muito boa sorte e sucesso para todos na incessante busca pelos nossos objetivos.

Á Deus por me conceder a força, a saúde, a coragem e a dedicação para enfrentar os momentos difíceis nos quais se fizeram presentes em toda minha vida...

O fator decisivo para vencer o maior obstáculo é, invariavelmente,
ultrapassar o obstáculo anterior.

Henry Ford

RESUMO

O objetivo deste estudo é analisar o conceito de entropia na física do ensino básico e superior, sua aplicação em outras áreas da ciência e fazer uma abordagem crítico-pedagógica a respeito da forma como esse conceito é apresentado nos livros didáticos e concomitantemente a metodologia empregada pelos docentes ao lecionarem conteúdos que tratam deste importante conceito. Inicialmente foi realizada uma intensa pesquisa bibliográfica nas mais variadas fontes, como: livros, periódicos, artigos científicos, internet etc.. Posteriormente, foi feita uma análise dos livros de física, mais adotados em escolas públicas estaduais de nível básico e nas principais universidades públicas do estado com o intuito de observar com minúcia a maneira como tais fontes definem o conceito de entropia. Por fim, foi realizada uma pesquisa entre professores e alunos de escolas pública estaduais indagando questões referentes a definição do conceito de entropia, a metodologia de ensino utilizada na regência deste conteúdo e a aplicação do conceito de entropia em outras áreas do conhecimento. Os livros de física dão pouca ênfase ao conceito de entropia. Este é tratado como um parâmetro qualquer do sistema, não sendo consideradas suas relevantes aplicações nos mais diversos âmbitos da ciência. No ensino básico, este conceito é pouco difundido e em alguns casos nem mesmo é mencionado quando se estuda o conteúdo de termodinâmica. Muitos dos professores que atuam no ensino básico não estão aptos a desenvolverem competências que sejam capazes de sanar estas limitações presentes em nosso cenário educacional. Conclui-se, que é preciso dar uma atenção maior ao conceito de entropia tanto no nível de ensino básico quanto no nível superior, como também proporcionar uma discussão mais aprofundada a cerca do conceito, considerando toda esta problemática de ensino e promover um processo de conscientização dos professores para que busquem novas literaturas e se inteirem com o conhecimento atual que é trabalhado no mundo acadêmico.

Palavras-chave: Entropia; Multidefinições; Livro didático; Problemática de ensino.

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the entropy concept in the physics of the basic and superior teaching, his/her application in other areas of the science and to do a critical-pedagogic approach with regard to form as that concept is presented in the text books and simultaneously the methodology used by the teachers to the they teach contents that treat of this important concept. Initially an intense bibliographical research was accomplished in the most varied sources, as: books, newspapers, scientific goods, internet etc. Later, it was made an analysis of physics books more adopted at state schools of basic level and in the main public universities of the state with the intention of observing with detail the way as such sources define the entropy concept. Finally, a research was accomplished between teachers and public students of schools state investigating subjects regarding definition of the entropy concept, the teaching methodology used in the regency of this content and the application of the entropy concept in other areas of the knowledge. Physics books give little emphasis to the entropy concept. This, it is treated as any parameter of the system, not being considered their relevant applications in the most several extents of the science. In the basic teaching, this concept is little spread and in some cases not even it is mentioned when it is studied the thermodynamics content. Many of the teachers that act in the basic teaching are not capable develop her/it competences that are capable to cure these present limitations in our education scenery. It is concluded, that is necessary to give a larger attention to the so much entropy concept in the level of basic teaching as in the superior level. As well as to provide a discussion more deepened the about of the concept, considering this whole teaching problem and to promote a process of the teachers' understanding so that they look for new literatures and find out with the current knowledge that is worked in the academic world.

Key-word: Entropy; Multidefinitions; Text book; Teaching problem.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Análise da forma como está definido o conceito de entropia nos livros de ensino médio	28
Figura 2: Análise da forma como está definido o conceito de entropia nos livros de ensino superior	29
Figura 3: Percentual dos alunos que estudaram o conteúdo de termodinâmica	30
Figura 4: Definição do conceito de entropia pelos alunos da educação básica	31
Figura 5: Definição das leis da termodinâmica pelos estudantes da educação básica	32
Figura 6: Perfil da atualização dos livros didáticos	33
Figura 7: Perfil da definição do conceito de entropia nos livros do ensino médio analisados	33
Figura 8: Nível de escolaridade dos professores do ensino básico	34

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	12
1 INTRODUÇÃO	12
CAPÍTULO II	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 Evolução histórica do conceito de entropia	15
2.2 Entropia na termodinâmica	16
2.3 Entropia na mecânica estatística	18
2.4 Entropia na teoria da informação	19
2.5 Entropia na biologia e na química	21
2.5.1 Entropia na Biologia	21
2.5.2 Entropia na Química	21
2.6 Entropia na economia de sobrevivência	22
2.7 Generalização da entropia	23
2.8 Entropia como a flecha do tempo	24
CAPÍTULO III	25
3 METODOLOGIA	25
3.1 Pesquisa bibliográfica sobre as diversas interpretações do conceito de entropia	25
3.2 Análise de livros do ensino médio e superior com respeito à forma de como está definido o conceito de entropia	25
3.3 Pesquisa bibliográfica na área de ensino-aprendizagem	26
3.4 Divulgação do trabalho em eventos educacionais e científicos	26
3.5 Atividade com professores e alunos com enfoque central ao conceito de entropia	27
CAPÍTULO IV	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
4.1 Análise dos livros	28
4.2 Resultados da pesquisa com os professores e alunos de escolas públicas	30
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
REFERÊNCIAS	38
ANEXOS	40

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o avanço da sociedade nos últimos tempos, em virtude da evolução tecnológica e outros fatores, a educação passa por um momento de transformação no que diz respeito a teorias pedagógicas que visam atender as necessidades deste novo complexo social em que vivemos. Como sabemos, os órgãos responsáveis pela educação mantêm uma constante atualização dos planos curriculares na educação básica e superior, com a perspectiva de formar cidadãos cada vez mais influentes e dinâmicos capazes de participar ativamente do crescimento social. Nos últimos anos com a introdução dos conceitos básicos da física moderna no ensino médio, ocorreu um importante avanço na aprendizagem da física. Isto representou mudanças consideráveis no nível de conhecimento que os alunos detêm ao ingressarem no ensino superior, além de mostrar um novo paradigma na educação básica. Outros importantes conceitos da física que poderiam ser trabalhado no ensino básico, dando um maior suporte intelectual aos secundaristas, passam despercebidos pelos nossos estudantes devido à n fatores que implicam na dificuldade da realização deste fato.

Um dos termos científicos que ganhou grande relevância na atualidade é o conceito de entropia que representa um ícone das pesquisas atuais de física por suas proposições interdisciplinares que levam a relações objetivas e de fundamental importância para compreensão de um contexto global relacionado a diversos fenômenos físicos e químicos que acontecem na natureza. Este conceito vem sendo estudado em diversas áreas do conhecimento tais como: na teoria da informação (ANDRADE et al, 2003); na economia (PRADO, 1999); na física estatística (SALINAS, 1999); na física do meio ambiente (SANTOS & ALCOFORADO, 2007); na biologia (SOUZA et al, 1999); na química (ASCHERI, 2007) etc. A conceituação de entropia torna-se cada vez mais complexa, em razão das Multidefinições que se adequam as mais diversas áreas da ciência (HERSCOVICI, 2005). Parece fundamental abrir uma discussão sobre as interpretações da entropia, esclarecer ainda mais o seu significado, uma vez que sua utilização tem sido aceita nos mais diversos âmbitos da ciência. Outro ponto importante dessa discussão é deixar claro que todos os conceitos de entropia definidos até o momento continuam sendo

válidos em todos os seus níveis de compreensão, desde que sejam mantidas todas as características particulares dos sistemas físicos considerados. Segundo Ernesto P. Borges, “a formulação do conceito de entropia foi uma das grandes realizações da ciência. Contribuiu diretamente na formação do corpo teórico da termodinâmica de equilíbrio, da mecânica estatística e da teoria da informação”.

Nos cursos de graduação em física e nas engenharias é possível que seja dado um pouco mais de ênfase a esse conceito, para que ocorra uma maior assimilação do conhecimento, já que, muitos pesquisadores do ensino de ciências, a exemplo de Bem-Zvi e Sichau, 1999, consideram a física térmica, especialmente no que se refere às leis da termodinâmica, como sendo um tópico discreto entre os estudantes e difícil de trabalhar, por tratar fenômenos em que a matemática que os exprimem aparecem dissociados do cotidiano vivenciado por estes indivíduos.

Muitas questões ficam em aberto quanto à maneira de se apresentar esse conceito, visando abranger toda essa temática moderna. Uma sugestão pertinente é o uso dos pressupostos metodológicos da teoria da aprendizagem significativa defendida por David P. Ausubel para o ensino de física no geral e especificamente ao se trabalhar o conceito de entropia. Para MOREIRA & MASINE, (1982) “a aprendizagem significativa é um processo no qual uma nova informação se relaciona com um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo”. Talvez, se desde o ensino básico, já houvesse uma pré-introdução sobre entropia, sendo esta, associada a aspectos importantes da vida do aluno proporcionando uma boa compreensão do conceito fosse mais fácil dedicar um capítulo de um livro de nível superior exclusivamente para o conceito de entropia, a exemplo do que se faz com as leis da termodinâmica.

O conceito de entropia no ensino básico nem sempre é mencionado e quando é não apresenta grande relevância sendo apenas visto como um parâmetro qualquer a mais do sistema. Fazer relações com respeito à biologia no processo de evolução, a economia de sobrevivência quanto à questão ambiental considerando aspectos como: demanda de energia; poluição; crescimento populacional, a química quando observamos o resultado final de uma reação que caminha para uma variação no grau de liberdade reacional e com isso a variação de entropia ou a matemática ao se definir o grau de dificuldade de um determinado problema, nos parece ser de fundamental importância no entendimento deste conceito. Mas como mencionar sobre tudo isso se não existem profissionais capazes e que possuam o

conhecimento acadêmico necessário para fazer a junção entre as componentes curriculares do ensino básico. Todos esses fatos poderiam despertar maior interesse sobre o assunto, motivando o processo de ensino-aprendizagem no ensino básico e superior, com isso, ficaria bem mais fácil de abordar essa teoria em um nível mais aprofundado do conhecimento.

Tendo em vista a grande evolução do conceito de entropia na ciência de um modo geral e o crescente avanço dos problemas causados pelas ações antrópicas, o presente projeto de pesquisa objetiva analisar aspectos educacionais a respeito do conceito de entropia em nível básico e superior de forma a alertar os corpus institucionais com a perspectiva de difundir o conceito referido, considerando que o mesmo pode contribuir significativamente para a elaboração de planos de combate a sérios problemas que vivenciamos atualmente. Paralelamente, tal projeto de pesquisa terá como objetivos específicos: fazer uma investigação dos livros de física (mais adotados) do ensino médio e superior buscando verificar a presença e a forma como é apresentado o conceito de entropia; investigar a evolução do conceito de entropia e a interpretação dada ao mesmo em outras áreas do conhecimento; proporcionar um maior aprofundamento do conceito de entropia apresentado na termodinâmica do ensino médio; alertar, dando ênfase maior ao conceito de entropia no ensino superior, para que não passe despercebido junto a outros conceitos da termodinâmica; enfatizar a importância do conceito de entropia junto a outras áreas do conhecimento; proporcionar uma discussão sobre os conteúdos dos livros de física do ensino médio que não tem se mantido atualizado com o processo de evolução científica; alertar para outros conceitos da física que também são esquecidos no ensino médio, como por exemplo, o conceito de difusão.

CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Evolução histórica do conceito de entropia

A primeira definição do conceito de entropia surgiu por volta de 1865, com Rudolf Clausius, como sendo a medida de irreversibilidade de um sistema físico. Um pouco mais tarde, em 1887, a entropia é interpretada com uma nova visão matemática por Ludwig Boltzmann, dando origem a mais uma de suas interpretações científicas. Boltzmann definiu a entropia a partir das propriedades microscópicas de um sistema físico, passando a ser interpretada como sendo a medida da desordem desse sistema. O Callen em 1985 postulou os axiomas da entropia do ponto de vista da termodinâmica de equilíbrio. O quarto postulado da entropia perde sua veracidade na mecânica estatística, sendo logo introduzido às correções quânticas.

Em 1988, o cientista Constantino Tsallis, propõe uma nova explicação para a entropia, onde ele a chamou de entropia generalizada, com o intuito de contemplar outros sistemas físicos na natureza. É introduzido um parâmetro entrópico q que expressa a medida da não extensividade dos sistemas físicos. Essa teoria deu origem a uma nova ciência chamada estatística não extensiva. Por volta de 1948, Claude Shannon introduz o conceito de entropia na teoria da informação. Shannon propôs uma forma de medição quantitativa da informação fornecida por um evento probabilístico, baseada na tradicional expressão de entropia de Boltzmann presente na termodinâmica e física estatística (FIELDMAN,1998). Em seu modelo de comunicação, a quantidade de informação transmitida em uma mensagem é função de previsibilidade da mensagem. A noção de entropia está ligada ao grau de desorganização existente na fonte de informação. Quanto maior a desordem, maior o potencial de informação desta fonte. Uma fonte que responda com uma única e mesma mensagem a toda e qualquer pergunta não transmite informação, já que não há redução de incerteza (ANDRADE et al, 2003). A partir daí diversas áreas da ciência tem se beneficiado dessa definição que se comporta como uma ótima ferramenta para quantizar e contabilizar informação de inúmeras situações e fenômenos que já foram estudados e outros que serão dando cada vez mais ao termo entropia um caráter multidisciplinar entre as ciências da atualidade.

2.2 Entropia na termodinâmica

O conceito de entropia surgiu pela primeira vez no âmbito da termodinâmica, na metade do século XIX, impulsionada pelo advento das máquinas térmicas. Naquela época havia duas teorias conflitantes para explicar a obtenção de trabalho. Uma delas era baseada no princípio de Carnot-Kelvin, que estabelecia que o trabalho produzido dependia da diferença de temperatura entre uma fonte quente e uma fonte fria (HALLIDAY et al, 2002). Dizia-se que o trabalho dependia da qualidade (propriedade intensiva). A outra visão adotava o princípio de Mayer-Joule, que estabelecia que o trabalho produzido fosse proporcional ao calor, o chamado equivalente mecânico do calor e, portanto o trabalho dependia da quantidade (propriedade extensiva). Estas duas visões foram unificadas por Clausius, em 1850, quando ele formulou o conceito de entropia (BORGES, 2003). Clausius criou a seguinte frase: *A energia do mundo é constante. A entropia do mundo tende ao máximo*. Estas expressões correspondem respectivamente, a primeira e segunda lei da termodinâmica. A equação que define a entropia como sendo a medida de perda de energia em uma transformação física é,

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \quad (1)$$

onde S é a entropia do sistema, ΔQ representa ganho ou perda de calor e T é a temperatura do sistema.

A segunda lei da termodinâmica em termos de entropia refere-se ao caráter de irreversibilidade dos sistemas físicos, pois em qualquer processo termodinâmico que ocorra de um estado de equilíbrio para outro, a entropia do sistema somada a entropia da vizinhança permanece constante ou aumenta. Nos processos reversíveis, $\Delta S = 0$, a entropia permanece inalterada, pois a variação de entropia do sistema é positiva e a da vizinhança negativa e de igual valor, resultando numa variação total nula. Nos processos irreversíveis, $\Delta S \geq 0$, analogamente em todos os processos naturais, a entropia total (sistema mais vizinhança) deve crescer. É possível que a entropia do sistema decresça, mais a entropia da vizinhança sofre sempre um aumento de maior grandeza, de modo que a variação total da entropia é sempre positiva. Nenhum processo natural pode resultar em decréscimo da entropia total. Nos três enunciados da termodinâmica (zero-ésima, primeira e segunda lei) há afirmação da existência e utilidade de uma nova variável termodinâmica, a entropia

(HALLIDAY et al, 1996).

Herbert B'. Callen (1985) em seu trabalho *Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics* (New York: John Wiley & Sons) apresenta a abordagem axiomática da entropia no âmbito da termodinâmica de equilíbrio. Os postulados são:

POSTULADO I – Existem estados particulares (chamados Estados de Equilíbrio) de sistemas simples que, macroscopicamente, são completamente caracterizados pela energia interna U , volume V , e números de moles N_1, N_2, \dots, N_r dos r constituintes ou componentes que formam estes sistemas

Nesse postulado podemos entender que ao assumimos que o sistema estar completamente caracterizados pelos parâmetros externos U, V, N , as suas propriedades também devem ser independentes de sua historia. O problema maior é determinar o estado de equilíbrio inicial do sistema. Talvez sejam necessárias outras variáveis termodinâmicas.

POSTULADO II – Existe uma função (chamada de entropia - S) dos parâmetros extensivos de qualquer sistema composto, definida para todos os estados de equilíbrio e tendo a seguinte propriedade: os valores assumidos pelos parâmetros extensivos na ausência de vínculos internos são aqueles que maximizam a entropia sob a variedade de estados de equilíbrio.

Nesse postulado, ficou explicito a não existência da entropia nos estados fora do equilíbrio, ou seja, ela só existe no estado de equilíbrio. Uma vez conhecido $S(U, V, T)$ toda a informação sobre este sistema é determinável.

POSTULADO III – A entropia de um sistema composto é aditiva com relação aos subsistemas constituintes. A entropia é função contínua e diferenciável com relação a todos os parâmetros extensivos e, no tocante à energia, ela é também, monotonicamente crescente.

Conseqüências imediatas:

- A entropia de um sistema simples é uma função homogênea de primeira ordem dos parâmetros extensivos.

- A entropia de um sistema composto satisfaz a propriedade da aditividade, ou seja, para um sistema formado de dois subsistemas a entropia é $S = S_A + S_B$.

- Propriedade mono tônica: $\left(\frac{\partial S}{\partial U}\right)_{V, N_1, \dots, N_r} > 0$ (2)

- As propriedades, continuidade, diferenciabilidade e mono tonicidade da entropia, implicam que ela pode ser invertida com relação à energia, ou seja:

$$S = S(U, V, N_1, N_2, L, N_r) \Rightarrow U = U(S, V, N_1, N_2, L, N_r) \quad (3)$$

onde U é uma função unívoca, contínua e diferenciável.

- A extensividade implicam em escalonamento. Para um sistema simples de um único constituinte isto pode ser ilustrado da seguinte maneira:

$$S(U, V, V) = NS\left(\frac{U}{N}, \frac{V}{N}, 1\right) = Ns(u, v) \quad (4)$$

onde, $s = S/N$, $u = U/N$ e $v = V/N$ são a entropia, energia interna e volume molares, respectivamente.

POSTULADO IV – A entropia de qualquer sistema se anula no estado para o qual

$$\left(\frac{\partial S}{\partial U}\right)_{V, N_1, \dots, N_r} = 0 \quad (5)$$

isto é, à temperatura zero.

Este último postulado é uma extensão, devido a Planck, do postulado de Ernest ou terceira lei da termodinâmica. Historicamente, foi o último postulado a ser definido. Alguns desses postulados axiomáticos da entropia não possuem veracidade na mecânica estatística.

2.3 Entropia na mecânica estatística

A entropia é uma variável macroscópica associada ao estado geral de um sistema e pode ser calculada a partir das grandezas associadas a este estado geral. Todas as variáveis macroscópicas em termodinâmica têm uma grandeza microscópica correspondente (por exemplo, a temperatura, grandeza macroscópica, corresponde à energia cinética molecular média, grandeza microscópica). Se fizermos algumas suposições a respeito das propriedades microscópicas do sistema, será possível relacionar grandezas macroscópicas e microscópicas. No caso da temperatura de um gás, essas suposições incluem um modelo mecânico

para as moléculas e suas interações, assim como uma distribuição estatística das energias moleculares. Por volta de 1887, o austríaco Ludwig Boltzmann definiu a entropia a partir das propriedades microscópicas de um sistema físico, passando a ser interpretada como a desordem desse sistema. A expressão matemática da entropia criada por Boltzmann é,

$$S = K_B \ln W \quad (6)$$

onde S é a entropia, K_B é uma constante e W é um número de micro-estados acessíveis ao sistema.

A grandeza microscópica relacionada à entropia é a probabilidade relativa das diferentes maneiras de repartir as moléculas do sistema. Numa expansão livre, por exemplo, permite-se que as moléculas de um gás, confinadas na metade de uma caixa, ocupem todo o recipiente aumentando o valor de W da equação (6). Considerando esta caixa em duas circunstâncias: primeiro, quando as moléculas estão confinadas na metade e a divisória é removida; segundo, quando as moléculas enchem toda a caixa. A primeira condição corresponde a um estado de probabilidade muito baixa. É muito pouco provável que o sistema por si só fosse capaz de se dividir desta maneira. A segunda condição corresponde a um estado de alta probabilidade. Isto é, dados todos os modos possíveis de repartir as moléculas aleatoriamente dentro da caixa, um grande número de casos mostra uma distribuição de moléculas bastante uniforme, enquanto um pequeno número mostra uma distribuição não uniforme. A expansão livre, em que há um aumento de entropia, é uma forma de relacionar a função de probabilidade com a função de entropia e pode então ser considerado microscopicamente como a transformação de um estado de probabilidade muito baixa num de probabilidade muito alta. No exemplo apresentado, o sistema passou espontaneamente de um estado de baixa probabilidade para um de alta probabilidade. Essa transformação é um processo irreversível caracterizado por um aumento de entropia do sistema.

2.4 Entropia na teoria da informação

Em 1948, Claude Shannon motivado pelo problema de transmitir uma mensagem de forma eficiente através de um canal de comunicação, criou uma teoria da informação, introduzindo uma forma probabilística e revolucionária de analisar a comunicação. O conceito de Shannon refere-se a incerteza de uma distribuição de

probabilidade e a medida que propôs, destinava-se a quantificar essa incerteza (SHANNON, 1948). Na verdade, o conceito de incerteza é mais geral, podendo-se falar basicamente em três tipos de incerteza: a incerteza determinística, em que não são conhecidos os estados que um sistema pode assumir; a incerteza entrópica, em que são conhecidos os estados possíveis, mas não as chances de ocorrências de cada um deles; e a incerteza probabilística, em que são conhecidos não só os estados possíveis, mas também a distribuição de probabilidade para eles, entretanto, não se pode determinar qual irá ocorrer com certeza. A entropia na teoria da informação corresponde à incerteza probabilística associada a uma distribuição de probabilidade. Cada distribuição reflete certo grau de incerteza e diferentes graus de incertezas estão associados a diferentes distribuições, embora diferentes distribuições possam refletir o mesmo grau de incerteza (BRILLOUIN, 1954). De um modo geral, quanto mais “espalhada” a distribuição de probabilidades, mais incerteza ela irá refletir. Uma importante característica da entropia na teoria da informação ou incerteza probabilística, é que ela está diretamente associada ao grau de similaridade entre as probabilidades de uma distribuição. Este aspecto confere uma importante versatilidade a essa noção de entropia que lhe permite ser entendida e adaptada, enquanto conceito, a várias outras disciplinas (MATOS & VEIGA, 2002)

Shannon determinou a seguinte equação para entropia no contexto da incerteza probabilística:

$$S = -K_B \sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i \quad (7)$$

onde p_1, \dots, p_N são as probabilidades de ocorrência dos eventos relacionados a transmissão de informação numa mensagem. A medida introduzida por Shannon para quantificar entropia em teoria da informação também se presta a quantificar diversos conceitos de interesse em outras disciplinas. Se ao invés de distribuição de probabilidades, tratar-se de distribuições de proporções, como a distribuição intersetorial do produto industrial ou a distribuição espacial à ocupação residencial é possível utilizar-se de modo interessante às medidas de entropia desenvolvidas na teoria da informação. Nesta perspectiva estas medidas servem para medir igualdade, espalhamento, similaridade, diversidade, complexidade de sistemas e outros conceitos que aparecem em diversas áreas do conhecimento (MATOS & VEIGA, 2002)

2.5 Entropia na biologia e na química

2.5.1 Entropia na Biologia

Alguns cientistas vão a desencontro com a teoria da evolução, alegando que essa teoria transgride duas leis fundamentais da natureza: a primeira e a segunda lei da termodinâmica. A primeira por que os processos naturais não são quantitativamente conservados e a segunda por que os processos naturais não são qualitativamente degenerados. Contudo, considerando que estamos de acordo com a outra parcela de cientistas que acreditam na teoria evolutiva, então em um sistema biológico a energia sobre a forma de entropia tende sempre a diminuir se tornado um sistema cada vez mais organizado. A organização molecular dos sistemas vivos torna-se mais complexa, evoluindo para outro sistema mais organizado que consequentemente possuem maior valor de entropia (SOUZA et al, 1999). Esses sistemas se comportam como empresas que quanto mais reduzem sua entropia mais lucros adquirem se tornando cada vez maiores. No caso dos seres vivos esse processo chegará a um final que será alcançado com a sua morte, quando eles atingirem o máximo de entropia. A respeito da mutação dos sistemas biológicos notamos que essas ocorrem devido à falta de informação no gene, surgindo assim novos compostos. Como a entropia esta relacionada com o grau de informação de uma mensagem (teoria de informação), é fácil perceber que ela contribui também com a evolução dos sistemas biológicos.

No processo de evolução natural das plantas, a fotossíntese converte energia solar em energia potencial nas moléculas elevando a ordem de organização do sistema. Nos animais as mitocôndrias armazenam moléculas de açúcares para formar moléculas altamente ordenadas e estruturadas. A princípio, parece que houve uma violação da segunda lei da termodinâmica já que no processo de evolução natural o sistema sempre evolui para o estado de maior desordem. Não existe violação da 2ª lei, pois o sistema se organiza realizando trabalho. A ordem ocorre às custas de energia produzida pelo sistema biológico.

2.5.2 Entropia na Química

A entropia pode ser observada de várias maneiras. Com respeito à ordem molecular dos elementos, ela parte dos sólidos para os gases indicando uma direção

natural para desordem. Um sólido se apresenta com uma estrutura molecular extremamente organizada, enquanto que um líquido já não possui a mesma ordem molecular de um sólido. Nos gases, as moléculas possuem uma desordem bem maior comparada com a dos líquidos e sólidos e conseqüentemente apresenta o maior valor de entropia. Então, o caminho natural da entropia crescente segue dos sólidos para os gases. Outra situação em que se pode identificar o conceito de entropia na química é a respeito das transformações que ocorrem nas reações químicas. Suponha a seguinte reação química: $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$ antes que ela ocorra temos seis átomos e duas moléculas, após a reação ficamos com os mesmos seis átomos e apenas uma molécula. Caso ela aconteça, a entropia diminui, pois o grau de liberdade do sistema diminui, pois ficamos apenas com uma molécula (ASCHERI, 2007).

2.6 Entropia na economia de sobrevivência

Diante do cenário da crise energética que se instalou no mundo desde 1970, com ênfase ao petróleo, as leis da termodinâmica passaram a despertar a curiosidade dos economistas do mundo inteiro. A idéia inicial era o temor à falta dos recursos energéticos básicos advindos dos combustíveis fósseis, atualmente a preocupação está no uso exagerado desses recursos, elevando o grau de degradação do planeta (MUELLER, 1999). A destruição do meio ambiente pode ser claramente entendida como sendo um conjunto de processos termodinâmicos irreversíveis, ou seja, são transformações físicas que não mais retornam as suas condições iniciais e de acordo com a física provocam um aumento da entropia no meio considerado. Daí nota-se o elo que liga a entropia com a degradação do meio ambiente. Pela segunda lei da termodinâmica, o uso da energia implica degradação de sua qualidade (THOMSON, 2007). Como consequência da lei da conservação da massa, os resíduos energéticos (principalmente na forma de calor), somados aos resíduos de matéria, alteram a qualidade do meio ambiente, visto que a tendência natural de qualquer sistema, como um todo, é o de aumento de sua entropia (grau de desordem) e, portanto, são do equilíbrio entre os elementos população, recursos naturais e poluição, que dependerá o nível de qualidade de vida no planeta (BRAGA et al, 2005).

Precisamos gerar energia sem agredir o meio ambiente, sem dúvida um

desafio extremamente complexo. O economista Nicholas Georgescu-Roegen publicou em 1971 um artigo intitulado “*The Entropy Law and Economic Process*” no qual ele afirma que cada vez menos dispomos de energia utilizável num processo irreversível e que os recursos naturais de baixa entropia estão sendo transformados em resíduos de alta entropia e sem valor. Os dejetos advindos do petróleo, dos fertilizantes agrícolas dos esgotos domésticos e industriais, dos plásticos, dos metais pesados, dos compostos sintéticos e etc. devem ser reduzidos ao máximo para que os sistemas continuem sua evolução seguindo trajetórias reversíveis e que não sejam geradas bifurcações que aumente o grau de liberdade desse sistema, conduzindo a trajetórias irreversíveis.

Os efeitos globais da poluição ambiental, detectados mais recentemente, como o efeito estufa e a redução da camada de ozônio, ainda não são bem conhecidos, mas podem trazer consequências que afetarão o clima e o equilíbrio global do planeta. É importante um esforço conjunto e sem precedentes para que se possa conhecer esses efeitos e controlá-los de modo eficaz (BRAGA et al, 2005). O conceito de entropia empregado na análise destas questões pode significar possibilidades de desenvolver um trabalho consistente a respeito do conhecimento e ações que levem a este controle.

2.7 Generalização da entropia

Em 1988, Constantino Tsallis (TSALLIS, 1988), propôs uma nova definição para o conceito de entropia, denominando de entropia generalizada. Esta nova explicação para a entropia contempla outros sistemas físicos que até então não era estudado pela termodinâmica clássica. A entropia generalizada proposta Tsallis, viola a aditividade (parte do terceiro postulando de Callen). Considerando um sistema composto por dois outros subsistemas independentes (A) e (B), o terceiro postulando estabelece que a entropia do sistema composto é dada pela soma das entropias de cada subsistemas:

$$S^{AUB} = S^A + S^B \quad (8)$$

Na formulação de Tsallis, um sistema composto apresenta entropia generalizada, isto é,

$$S_q^{(A+B)} = S_q^A + S_q^B + (1-q)S_q^A S_q^B \quad (9)$$

onde, q é o índice entrópico que caracteriza a generalização. Para o caso de $q = 1$, é recuperada a aditividade. Outras variáveis, além da entropia, também são generalizadas por Tsallis: Se $q < 1$ o sistema é super-aditivo e se $q > 1$ o sistema é sub-aditivo. A violação da aditividade representa o rompimento com um conceito básico na termodinâmica, o de sistema isolado. Um sistema isolado é aquele que não troca matéria, nem energia, nem informação com suas vizinhanças. Pelas equações (4) e (5) percebe-se que antes do sistema composto ser formado os subsistemas já sentiam um ao outro, e não eram, portanto isolados. A não aditividade de Tsallis expressa a impossibilidade de se separar completamente sistemas inter-agentes (BORGES, 1999).

2.8 Entropia como a flecha do tempo

É a variação da entropia que nos explica por que os sistemas evoluem naturalmente num sentido e no outro não. A segunda lei da termodinâmica ($\Delta S > 0$) implica no fato de a entropia nunca diminuir, ou sua variação é nula ou aumenta. Por exemplo, suponha uma cachoeira, em termos de energia cinética e potencial, tanto faz a sua água descer, convertendo energia potencial em cinética, quanto subir, convertendo energia cinética em potencial. Porém ninguém nunca presenciou a água de uma cachoeira subir! Se pensarmos na entropia envolvida no processo, poderemos observar que o grau de agitação das moléculas ao final da queda livre da água é bem maior que a agitação das moléculas no ponto inicial de queda livre da água, ou seja, houve um aumento da entropia e esse é o caminho preferencial ou natural para esse fenômeno (NUSSENZUEIC, 2004). É nesse sentido que a entropia é dita como sendo a flecha do tempo. Os fenômenos naturais sempre buscam essa direção. Apenas ao custo energético (trabalho, W) é que podemos inverter tais fenômenos. O freezer é um bom exemplo para mostrar a inversão desse caminho preferencial da entropia (YOUNG & FREDMAN, 2003)

CAPÍTULO III

3 METODOLOGIA

3.1 Pesquisa bibliográfica sobre as diversas interpretações do conceito de entropia

Nossa pesquisa consiste em fazer uma análise conceitual e evolutiva da entropia em outras áreas da ciência. Num primeiro momento fizemos um estudo conceitual das diversas interpretações da entropia no âmbito da física clássica (termodinâmica e física estatística). Esta fase inicial foi de buscar informações gerais sobre o conceito de entropia. Num segundo momento, nos aprofundamos na utilização dos conceitos de entropia em outras áreas do conhecimento: informática, biologia, química e economia. Acreditamos que existem outras áreas que também já se beneficiam desse conceito. Num terceiro momento, analisamos como é definido e apresentado o conceito de entropia nos livros de física, mais adotados no ensino médio. Constatamos que em algumas bibliografias não havia sequer definido o conceito de entropia. Num quarto momento, analisamos alguns dos livros mais usados e adotados nos cursos de graduação em física da UEPB, UFCG e UFPB. Num quinto momento, realizamos uma atividade direcionada a alunos e professores do ensino médio das escolas públicas. Esta atividade busca mostrar o que os alunos sabem sobre essa problemática e qual a importância dada pelos professores a esse conceito. Num sexto momento, promoveremos a divulgação do conceito de entropia, definindo de forma mais didática e cotidiana, alertando sobre sua importância.

3.2 Análise de livros do ensino médio e superior com respeito à forma de como está definido o conceito de entropia

Fez-se uma análise qualitativa sobre a forma como está sendo definido e apresentado o conceito de entropia nos livros de física do ensino médio e superior, considerando aqueles mais adotados pelos professores atualmente (mais adotados naquelas escolas em que foi realizada a pesquisa). Esta etapa consistiu em analisar a forma como vem sendo abordado o conceito de entropia, considerando aspectos como: coerência conceitual com a segunda lei da termodinâmica; descrição e

clareza na apresentação das informações relevantes ao entendimento do conceito; descrição da entropia aplicada a outras áreas do conhecimento; inter-relações do conceito de entropia com acontecimentos e fatos de conhecimento comum a todos. Para Delors (2005,p. 27), “Em busca de qualidade, em um campo ampliado e em todos os níveis da educação, incidirá inevitavelmente em três elementos essenciais e interdependentes, que constituem a estrutura do processo educacional: o saber, os programas, a qualidade do ensino e a eficácia da pedagogia e dos métodos de trabalho”. A interpretação de Dellors mostra que para termos uma educação de qualidade se faz necessário o conhecimento, o planejamento escolar, metodologias e métodos de ensino e daí a importância de se contextualizar efetivamente os conceitos trabalhados, facilitando assim, o processo de ensino-aprendizagem.

3.3 Pesquisa bibliográfica na área de ensino-aprendizagem

Foram consultadas várias obras de diferentes autores com diferentes tendências de pesquisas na área de ensino-aprendizagem com objetivo de adequar o conceito de entropia a uma metodologia de ensino favorável à interpretação, compreensão e construção de estruturas cognitivas que levem a uma aprendizagem significativa do conceito de entropia. Para Ausubel (2003, p. 71), nos estudos da teoria da aprendizagem significativa, “a essência do processo de aprendizagem significativa, consiste no fato de que novas idéias expressas de forma simbólica se relacione á algum conteúdo existente especificamente relevante da estrutura cognitiva do aprendiz”. Mostrar ao aluno uma relação direta do conhecimento trabalhado na sala de aula com aspectos presentes no cotidiano do mesmo representa um estímulo maior na busca e na construção do conhecimento.

3.4 Divulgação do trabalho em eventos educacionais e científicos

A divulgação do trabalho é parte integrante da metodologia do projeto, tendo como objetivo a difusão da temática trabalhada. O trabalho foi apresentado em eventos tais como: V Encontro Regional de Educação em Ciências e Tecnologia do CCT/UEPB, realizado na cidade de Campina Grande na Paraíba; II CIPEC- Ciclo de Palestras sobre o Ensino de Ciências Exatas do CCEA/UEPB, realizado na cidade de Patos na Paraíba; XXVI Encontro de Físicos do Norte e Nordeste realizado pela

Sociedade Brasileira de Física na cidade de Recife no Pernambuco; XXVII Encontro de Físicos do Norte e Nordeste realizado pela Sociedade Brasileira de Física na cidade de Belém no Pará e na I Mostra de Iniciação Científica e Extensão da UEPB/PATOS, realizado na cidade de Patos na Paraíba e no I Simpósio Paraibano de meio Ambiente realizado pela UFCG na cidade de Cajazeiras na Paraíba.

3.5 Atividade com professores e alunos com enfoque central ao conceito de entropia

Esta atividade possui o intuito pedagógico de avaliar o conhecimento dos alunos e dos professores, a nível médio e superior, daquelas instituições envolvidas na pesquisa. A idéia é de promover a divulgação do uso do conceito de entropia por outras áreas da ciência no âmbito da física básica. Notamos que o conceito de entropia é abordado de forma muito simplória tanto nos livros básicos de física do ensino médio como no nível superior. Algumas bibliografias são bem completas, no entanto, elas são usadas na formação final da graduação dos alunos de física. Notamos a necessidade de abordar de forma mais ampla essa problemática, contemplando estudantes de outros cursos da área das exatas.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise dos livros

Os livros mais adotados pelos professores de física do ensino médio, nas escolas públicas pesquisadas foram: Bonjorno e Clinton (Volume único e Volumes separados, diversas edições); Alberto Gaspar (Volume único e Volumes separados, diversas edições); Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga (Volume único e Volumes separados, diversas edições); Ramalho, Ferraro e Toledo e Vasco Pedro Morreto. Os livros do GREF e alguns do Dalton Gonçalves foram mencionados por alguns professores como bibliografias complementares. Nestes livros analisamos a forma como vem definido o conceito de entropia, conforme mostra o gráfico da figura 1 abaixo,

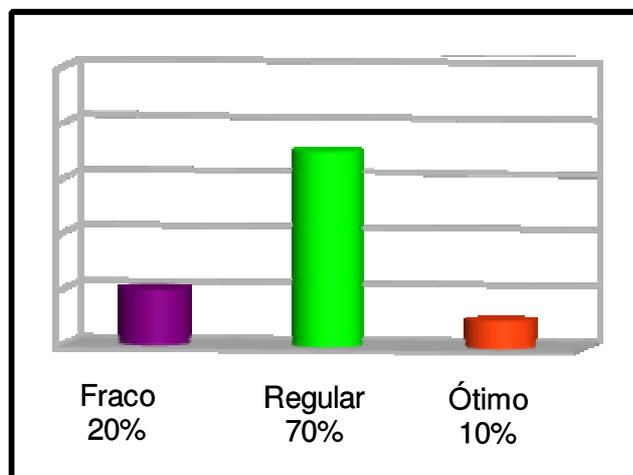


Figura 1: Análise da forma como está definido o conceito de entropia nos livros de ensino médio

Na maioria dos livros usados no ensino médio, o conceito de entropia não aparece definido completamente. Em alguns livros, o conceito nem é mencionado, em outros, não está definido, porém, o autor faz um comentário supérfluo acerca do assunto. Em poucos dos livros que foram analisados constavam apenas o conceito de entropia na termodinâmica, contudo, o autor fazia uma chamada para ressaltar que para definir a entropia de forma mais detalhada se fazia necessário o conhecimento de cálculos superiores. Esta é uma atitude positiva, pois não limita o

pensamento e o interesse do estudante em aprofundar-se no assunto.

Das obras literais voltadas para o ensino superior analisamos: Raymond A. Serway; David Halliday, Robert Resnick e Jarl Walker; Paul A. Tipler; H. Moysés Nussenzveig; David Halliday, Robert Resnick e Kenneth S. Krane Sears Zemansky. Edições mais antigas ou mais novas também foram mencionadas. Estes livros definem a entropia de forma bastante diferenciada conforme mostra o gráfico da Figura 2 a seguir:

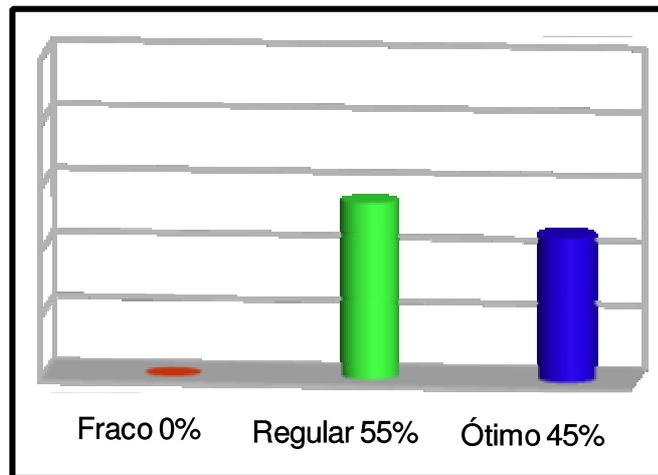


Figura 2: Análise da forma como está definido o conceito de entropia nos livros de ensino superior

Em relação ao nível básico, a bibliografia do nível superior trata o conceito de entropia de forma mais abrangente, definindo suas equações matemáticas, apresentando algumas de suas multidefinições e aplicações do conceito em alguns fenômenos físicos.

De um modo geral, observamos que o conceito de entropia é abordado de formas diferentes: entropia como indisponibilidade da energia, entropia como desordem, entropia como a quantidade de calor que não se transformou em trabalho, entropia como estatística e entropia como medida da irreversibilidade do sistema. Isto mostra, que não existe uma forma específica para a definição do conceito de entropia. Esse fato pode dificultar o processo de ensino aprendizagem. Também observamos nos livros de física do ensino médio que o conceito de entropia é definido de forma muito simplória, além de vir junto de palavras que ainda não fazem muito sentido para os estudantes dessa fase do conhecimento, como: estados acessíveis e desordem, assim, é preciso definir melhor esses termos físicos.

Quanto ao conceito de entropia em outras áreas do conhecimento nos mostra

o tão abrangente se tornou este termo, que nos leva a refletir cada vez mais sobre qual a maneira mais didática de mencionar seus conceitos no ambiente de aprendizagem. Alguns pesquisadores consideram que para obtermos uma boa aprendizagem exige também a criação de um ambiente de aprendizagem, em que os alunos manipulem objetos e negociem idéias entre si e os professores, criando um ambiente construtivista de aprendizagem (GRANDINI & GRANDINI, 2004). Seguindo esta idéia percebemos a importância de criarmos uma discussão mais aprofundada sobre o conceito de entropia considerando toda essa nova problemática de ensino e que ocorram mudanças significativas na forma de abordar o referido conceito.

4.2 Resultados da pesquisa com os professores e alunos de escolas públicas

Os maiores problemas detectados neste estudo são de extrema gravidade, pois, se referem á péssima estrutura do nosso sistema educacional. Fatos como: professores desqualificados, falta de material didático, estrutura física inadequada e outros, contribuem para a má formação dos estudantes na educação básica, fato que implica em sérias limitações no ingresso destes estudantes no ensino superior. Vejamos no gráfico da Figura 3 abaixo os números que indicam como os alunos viram o conceito de termodinâmica no ensino básico:

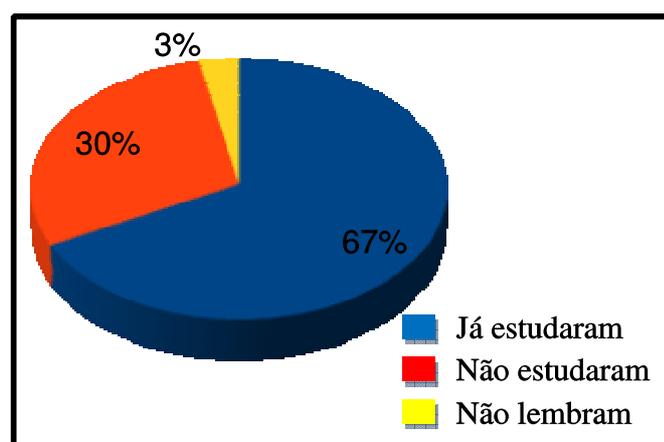


Figura 3: Percentual dos alunos que estudaram o conteúdo de termodinâmica

De acordo com o gráfico acima se percebe que uma parcela dos alunos (30%) passou pelo ensino médio sem ver o conteúdo de termodinâmica. Este é um

fator negativo para a educação, tendo em vista que este é um dos principais assuntos de física do ensino básico. Se alguns alunos nem mesmo viram o conteúdo de termodinâmica, como é possível que eles assimilem conceitos importantes que fazem parte da grade curricular desta fase de ensino?

O conceito de entropia é muito pouco conhecido pelos estudantes do ensino básico. O gráfico da Figura 4 abaixo mostra que quase todos os alunos não conhecem o conceito de entropia, muitos confundem com entalpia uma grandeza que constitui objeto de estudo da química, ou seja, não conseguiram assimilar o conceito ao estudá-lo no contexto da termodinâmica.

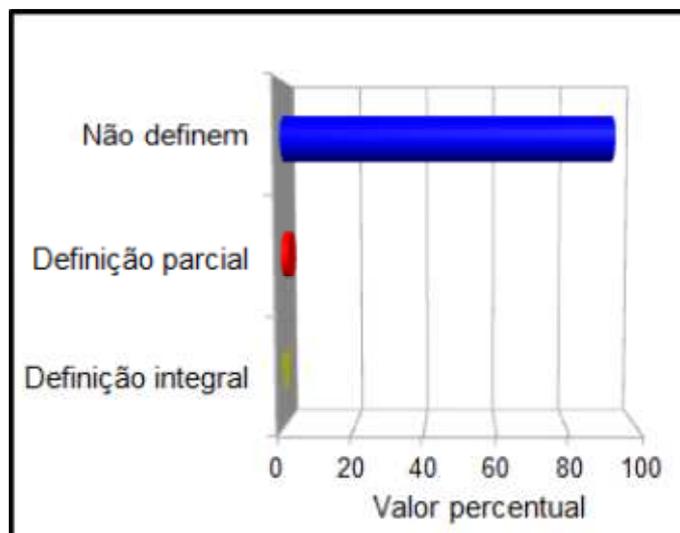


Figura 4: Definição do conceito de entropia pelos alunos da educação básica

Um dos pontos destacados por alguns alunos como justificativa desta realidade é o fato dos professores trabalharem o conteúdo de forma superficial sem enfatizar a abordagem contextualizada e interdisciplinar que o conceito de entropia pode nos fornecer.

Com relação às leis da termodinâmica a situação também é preocupante, cerca de 80% dos alunos não conseguem definir as leis da termodinâmica a nível básico. Veja o gráfico da Figura 5 a seguir:

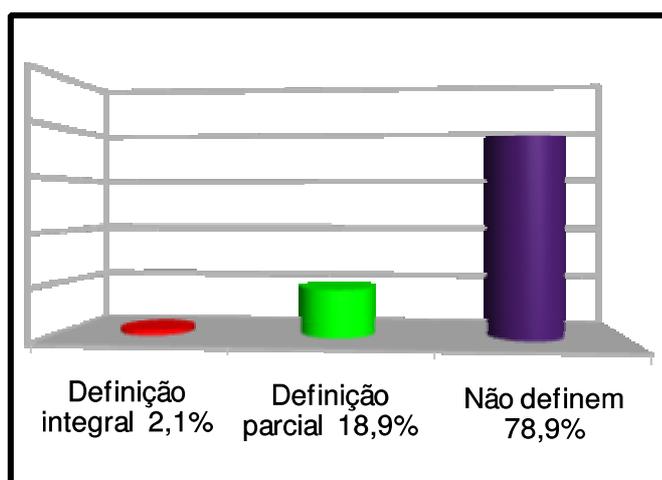


Figura 5: Definição das leis da termodinâmica pelos estudantes da educação básica

Apenas uma pequena porcentagem dos alunos consultados definiram corretamente as leis da termodinâmica. A maioria dos alunos das escolas públicas meio as precárias condições de ensino que lhe são impostas, encontram-se desestimulados em estudar e quando são submetidos a uma avaliação revelam o nível de conhecimento que adquiriram durante sua vida acadêmica.

Na tabela a seguir, são apresentados mais alguns resultados a respeito do conceito de entropia, questionado a alunos da educação básica.

Tabela: Resultado de algumas questões referentes ao conceito de entropia

Discriminação dos questionamentos	Total de alunos pesquisados (95)	
	Nº de alunos	Valor percentual
Alunos que conseguem relacionar o conceito de entropia com o cotidiano	2	2,1%
Alunos capazes de citarem outras áreas da ciência que usam o conceito de entropia	4	4,2%
Alunos que conhecem processos reversíveis e irreversíveis	11	11,6%
Alunos que sabem a relação da entropia com as máquinas térmicas	6	6,3%

O conteúdo de termodinâmica, especificamente o conceito de entropia são lecionados de maneira superficial e seguindo rigorosamente o livro didático, ou seja, sem uma dinâmica contextualizada que venha a associar o conceito científico á realidade do cotidiano do aluno. Outro ponto negativo observado é que os

professores ainda não mencionam o conceito de entropia em aplicações interdisciplinares, já que atualmente diversas áreas da ciência utilizam-se deste importante conceito.

O gráfico da Figura 6 abaixo mostra que a maioria dos livros didáticos utilizados pelos professores são edições atualizadas. Este é um fato significativo, pois foi constatado que os livros mais atuais trazem uma melhor definição do conceito de entropia em relação aos mais antigos. Até mesmo porque vários aspectos conceituais da entropia referem-se a trabalhos recentes e bem atuais.



Figura 6: Perfil da atualização dos livros didáticos

Os professores foram questionados com respeito a forma como vem definido o conceito de entropia nos livros de ensino médio. O resultado está expresso no gráfico da Figura 7 abaixo.

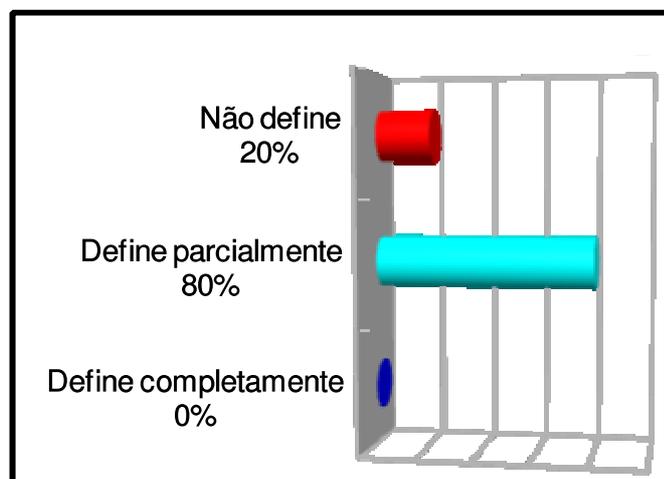


Figura 7: Perfil da definição do conceito de entropia nos livros do ensino médio analisados

Como vimos certo percentual (20%) dos livros nem mencionam o conceito de entropia, segundo os professores consultados. A grande maioria (80%) traz uma definição parcial e nem um dos livros mencionados na pesquisa define completamente este conceito. Esta ausência conceitual da entropia nos livros do ensino básico se dá em virtude de ainda ser pouco difundido o tão abrangente campo de aplicação deste conceito.

Observamos mais um descaso com o ensino básico das escolas públicas. No quadro dos professores de física das instituições envolvidas na pesquisa, aproximadamente metade dos docentes possuem apenas o ensino médio. Veja o gráfico da Figura 8 a seguir:

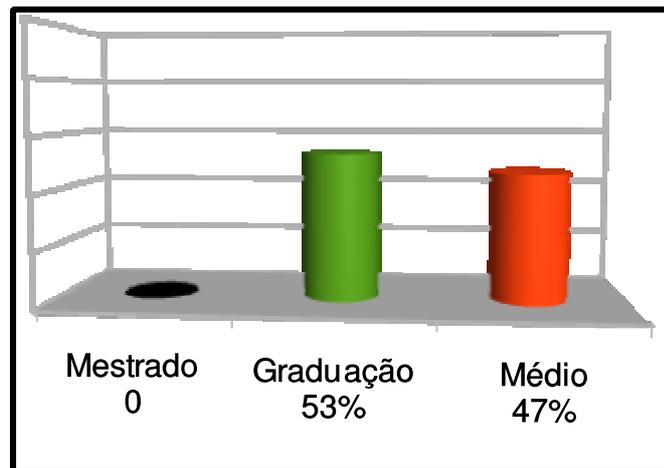


Figura 8: Nível de escolaridade dos professores do ensino básico

Profissionais qualificados é fator essencial para o desenvolvimento de um bom trabalho. O professor que não possui a formação adequada para a docência não conhece as implicações pedagógicas da profissão assim como, não possui competências ideais para perceber as problemáticas de ensino, como a em questão.

Este novo momento da ciência deixa claro, a importância desse conceito e o tão pouco apreço dos autores em abrir uma discussão mais aprofundada em suas obras destinadas ao ensino de física básica ao nível médio e superior. É importante salientar que boa parte dos livros de física adotados pelos cursos superiores são traduções da década de sessenta ou até antes disso, e que boa parte da evolução do conceito de entropia em outras esferas da ciência ainda estavam em andamento ou até mesmo nem existia nessa época. Dado o grau de sucesso alcançado por essa teoria, acreditamos fortemente que se faz preciso e necessário divulgar, ao

nível superior, todas essas novas aplicações e o quanto abrangente tornou-se este conceito atualmente. O conceito de entropia tornou-se um paradigma metodológico para outras áreas do conhecimento, contribuindo diretamente para a interdisciplinaridade e/ou multidisciplinaridade entre as ciências (PERRENOUD et al, 2002).

Os professores em geral seguem rigorosamente os conteúdos presentes nas bibliografias adotadas para os cursos de termodinâmica do nível médio e superior e que em sua grande maioria não apresentam uma discussão mais aprofundada sobre a entropia e suas aplicações em outras áreas do conhecimento. Segundo o pedagogo, José Carlos Libâneo:

A responsabilidade do professor é preparar os alunos para se tornarem cidadãos ativos e participantes na família, no trabalho, nas associações de classe, na vida cultural e política. É uma atividade fundamentalmente social, porque contribui para a formação cultural e científica do povo, tarefas indispensáveis para outras conquistas democráticas (LIBÂNEO, 1994, p. 47)

É preciso focar mais fortemente essa nova realidade, amenizando as dificuldades mencionadas pelos discentes ao estudarem os princípios da termodinâmica. A motivação desse tópico da física também contribui para diminuir a evasão escolar, a partir do momento em que os alunos adquiram um maior interesse em estudar física, já que a mesma é considerada pelos alunos como uma das disciplinas mais difíceis da educação básica. O conceito de entropia pode ser apresentado de uma forma mais abrangente no ensino médio, é claro que de um modo ainda básico, apenas para despertar no estudante o prazer em saborear um pouco mais da ciência. Como sabemos, a maioria dos fenômenos físicos naturais são irreversíveis e como exemplos cotidianos, temos: a energia que gastamos durante uma corrida não volta para nós se corrermos em sentido contrário, ou seja, na tentativa de tornar o processo reversível; a gasolina consumida pelo motor de um veículo em funcionamento não retorna mais para o tanque se realizamos o processo inverso; o custo de energia usada pela água de uma cachoeira para cair é o mesmo para subir, porém o processo só ocorre numa direção; a energia emitida por uma lâmpada incandescente através da emissão de fótons não retorna a lâmpada transformando-se em eletricidade novamente; a energia perdida para o meio, por efeito térmico, quando uma corrente elétrica atravessa um fio não volta mais para ele e se transforma em eletricidade outra vez, etc. São fenômenos cotidianos dessa

natureza que podem ser abordados no ensino médio, que irão despertar os jovens estudantes para o conceito de energia, sistemas sustentáveis, poluição do planeta e outros problemas de interesse, digo até mundial, que estão direta ou indiretamente relacionados aos conceitos de entropia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os professores, em geral, seguem rigorosamente os conteúdos presentes nas literaturas adotadas para o ensino médio e superior. Como foi observado, na maioria dessas obras, não existe uma discussão mais aprofundada da entropia com outras esferas do conhecimento. Tendo em vista todas essas aplicações e o número de explicações diferentes para esse conceito, sugerimos que um enfoque mais forte, por parte dos professores do ensino médio e superior, seja imposto aos discentes, com o intuito de amenizar as dificuldades vivenciadas por eles. É preciso conscientizar os professores para que busquem novas literaturas, mais aprofundadas.

Mencionar aplicações em outras esferas do conhecimento tem um papel fundamental na melhor compreensão desse conceito, pois consegue relacionar o conceito de entropia com um fenômeno físico de interesse dos discentes.

A interdisciplinaridade induz os discentes a uma motivação a mais que pode contribuir para diminuir a evasão escolar, principalmente na área das ciências exatas. É importante destacar que a área das ciências exatas e da natureza deverá ser vista pelo aluno como um conhecimento que pode favorecer ao desenvolvimento do seu raciocínio, de sua sensibilidade expressiva, de sua sensibilidade estética e de sua imaginação (PCN's, 1997).

Seguindo esta idéia percebe-se a importância de criarmos uma discussão mais aprofundada sobre o conceito entropia considerando toda essa nova problemática de ensino e que ocorram mudanças significativas na forma de abordar este conceito no ensino médio e superior.

É preciso desde cedo conscientizar nossos estudantes para não se tornarem consumidores compulsivos. O consumo exagerado do século XXI tem levado o planeta a mudanças climáticas de enormes proporções, como já foram previstas pelos cientistas. É possível que discussões dessa natureza no ensino médio promovam a curiosidade futura desses estudantes e os cursos de termodinâmica

aplicados pelas universidades tornem-se mais atrativos. Precisamos tornar mais presente o conceito de entropia aos estudantes, promovendo o melhoramento do processo didático de ensino-aprendizagem e conscientizando-os para um consumo sustentável.

REFERÊNCIAS

- ASCHERI, D. P. R. et al. Propriedades Termodinâmicas de Adsorção de Água de Farinhas Mistas Pré-Gelatinizadas de Bagaço de Jabuticaba e Arroz: Efeito dos Parâmetros de Extrusão. **Brazilian Journal of Food Technology**. Preprint Serie, n. 290, 2007. disponível em: < www.scielo.com.br >. acesso em: 06 de out. de 2008.
- ANDRADE, Israel Esquef.; ALBUQUERQUE, Márcio Portes de; ALBUQUERQUE, Marcelo Portes de. **Fundamentos de Teoria da Informação**. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, 2003. Disponível em: <www.sbfisica.org.br>. acesso em: 20 de nov. de 2008.
- AUSUBEL, David P.. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Tradução, Lígia Teopisto. 1 ed., Grafo, 2003. disponível em: <www.google.com.br>. acesso em: 05 de dez. de 2008.
- BRAGA, Benedito et al. **Introdução à engenharia ambiental**. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Brasília, 1997.
- BRILLOUIN, Leon. **Science and Information Theory**. New York: Academic Press, 1954.
- BORGES, E. P.. Irreversibilidade, Desordem e Incerteza: Três Visões da Generalização do Conceito de Entropia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. V. 21, p. 453-463, 1999.
- CALLEN, H. B.. **Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics**. 2 ed., John Wiley & Sons, New York, 1985.
- DELORS, Jacques (org.). **Educação para o século XXI**. Porto Alegre: Artmed, 2005.
- FIELDMAN, D. **A Brief Introduction to: Information Theory, Excess Entropy and Computational Mechanics**. California: University of California, 1998.
- GRANDINI, Nádia Alves; GRANDINI; Carlos Roberto. Os objetivos do laboratório didático na visão dos alunos do curso de Licenciatura em Física da UNESP-Baurú. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. V. 26, n. 3, p. 251-256,2004.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; KRAME, Kenneth S.. **Física 2**. 4 ed. Rio de Janeiro, LTC, 1996.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física Gravitação, ondas e termodinâmica**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- HERSCOVICI, A. Historicidade, Entropia e Não-linearidade: Algumas Aplicações Possíveis na Ciência Econômica. **Revista Ciência & Educação** V. 25, p.277-294,

2005.

LIBÂNEO, José Carlos. **Didática**. São Paulo: Cortez, 1994.

MOREIRA, Marcos Antônio; MASINI, Elcie Salzano. **Aprendizagem significativa: A teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

MATTOS, Rogério Silva de; VEIGA, Álvaro. Otimização de entropia: implementação computacional dos princípios Maxent e Minxent. **Revista Pesquisa Operacional**, v. 22, n.1, p. 37-59, janeiro a junho de 2002.

MUELLER, C. C. Economia, Entropia e Sustentabilidade: Abordagem e Visões de Futuro da Economia da Sobrevivência. **Est. Econômico**. São Paulo: V. 29, p. 513-550, 1999.

NUSSENZUEIC, H. Moysés. **Curso de física básica 2**. 4 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

PERRENOUD, Philippe et al. **As Competências para ensinar no século XXI: a formação dos professores e o desafio de avaliar**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2002.

PRADO, Eleutério F. S. Equilíbrio e Entropia: crítica da teoria neoclássica. **Revista Econômica**. Vol. 1, n. 2, p. 8-34, 1999.

SALINAS, S. R. **Introdução a física estatística**. São Paulo: Edusp, 1999.

SANTOS, Ricardo do Carmo; ALCOFORADO, Ihering Guedes. **Racionalidade: o elo entre a economia e a biologia da conservação**. In: VII Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. Fortaleza, 28 a 30 de novembro de 2007.

SHANNON, C. E. **A Mathematical Theory of Communication**. In: **J. Bell Sys, Tech**. V. 27, p.379-656, 1948. Disponível em: < www.bellabs.com/cm/shannonday >. Acesso em: 04 de set. de 2008.

SICHAU C. Practising Helps: Thermodynamics, History and Experiment. **Science and Education**. V. 9, p. 389-398, 1999.

SOUZA, G. M.; VILLANOVA, N. A.; GONÇALVES, A. N. ENTROPIA, INFORMAÇÃO E ESTRESSE HÍDRICO EM *Eucalyptus camaldulensis* IN VITRO. **Revista Brasileira de Biologia**. Vol. 59, n. 3, p. 471-476, 1999.

THOMSON, William. Sobre uma Tendência Universal da Natureza para a dissipação de energia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Vol. 29, n. 4, p. 491-492, 2007.

TSALLIS, C.. Possible generalization of Boltzmann-Gibbs statistics. **Journal of Statistical Physics**. Vol. 52, p. 479-487, 1988.

YOUNG, H. D; FREDMAN, R. A. **Física II: Termodinâmica e ondas**. Tradução e revisão técnica: Adir Moysés Luiz. 10 ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2003.

ANEXOS

Anexo I: Ficha de autorização da realização da pesquisa



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E SOCIAIS APLICADAS
LICENCIATURA PLENA EM CIÊNCIAS EXATAS**

Ilmo(a) Sr(a) Diretor(a),

*O aluno **Claudivan Moreira de Souza** Regularmente matriculado no Curso de Licenciatura em Ciências Exatas da **Universidade Estadual da Paraíba-Campus VII (Patos)** está realizando uma pesquisa como parte complementar de um projeto de Iniciação Científica. Trata-se de uma pesquisa que tem como objetivo analisar a forma como é definido o conceito de entropia nos livros didáticos bem como a metodologia usada pelos docentes, tendo em vista que isto contribuirá significativamente para melhorias na qualidade de ensino na educação básica. Neste sentido, o reconhecimento e assinatura desta autorização oficializarão a realização da pesquisa na presente instituição sob sua permissão.*

Desde já agradecemos a oportunidade e aceitação.

Patos, _____ de _____ de 2009

Profº Dr. Pedro Carlos de Assis Junior

Coordenador do Curso de Licenciatura Plena em Ciências Exatas-Campus VII

Diretor(a) da Escola Campo de Pesquisa

Anexo II: Questionário destinado a discentes do ensino médio



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E SOCIAIS APLICADAS
LICENCIATURA PLENA EM CIÊNCIAS EXATAS**

ESTA É UMA ATIVIDADE PURAMENTE DE PESQUISA, QUE VISA ÚNICA E EXCLUSIVAMENTE, AVALIAR O MODELO DIDÁTICO USADO PARA APRESENTAR O CONCEITO DE ENTROPIA NA TERMODINÂMICA. SERÁ MANTIDO O ANONIMATO DOS DISCENTES E DAS INSTITUIÇÕES PÚBLICAS OU PRIVADAS NO QUAL FOI APLICADA ESTA ATIVIDADE DE PESQUISA.

QUESTIONÁRIO DESTINADO A DISCENTES DO ENSINO MÉDIO

1. Você já estudou termodinâmica? () Sim () Não

2. Você sabe ou ouviu falar sobre as leis da termodinâmica? () Sim () Não

3. Quais leis possuem a termodinâmica?

4. Defina o conceito de entropia.

5. Qual a relação da entropia com a segunda lei da termodinâmica?

6. Qual a relação da entropia com seu cotidiano?

7. Os livros que você estudou têm o conceito de entropia?

8. Os livros que você usou são edições atualizadas? Indique os anos das edições e os autores.

9. Caso você tenha usado livros que não traziam o conceito de entropia, o

professor(a) supriu essa necessidade em sala de aula?

10. Seu professor (a) seguia rigorosamente o livro didático adotado?

11. O conteúdo de termodinâmica foi completamente lecionado pelo professor (a) ou você teve que suprir esta necessidade sozinho?

12. Você é capaz de citar outras áreas da ciência que usam o conceito de entropia?

12. Você é capaz de citar um processo reversível e outro irreversível na natureza?

13. Qual a relação da entropia com os processos reversíveis e irreversíveis?

14. Qual a relação da entropia com as máquinas térmicas?

15. Como você explicaria o fato de não existir nenhuma máquina térmica com rendimento de 100% usando o conceito de entropia.

16. Após responder os questionamentos anteriores, como você se avalia com respeito a termodinâmica e em particular ao conceito de entropia?

Anexo III: Questionário destinado a docentes do ensino médio**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E SOCIAIS APLICADAS
CURSO: LICENCIATURA PLENA EM CIÊNCIAS EXATAS**

ESTA É UMA ATIVIDADE PURAMENTE DE PESQUISA, QUE VISA ÚNICA E EXCLUSIVAMENTE, AVALIAR O MODELO DIDÁTICO USADO PARA APRESENTAR O CONCEITO DE ENTROPIA NA TERMODINÂMICA. SERÁ MANTIDO O ANONIMATO DOS DOCENTES E DAS INSTITUIÇÕES PÚBLICAS OU PRIVADAS NO QUAL FOI APLICADA ESTA ATIVIDADE DE PESQUISA.

QUESTIONÁRIO DESTINADO A DOCENTES DO ENSINO MÉDIO

1. Grau de escolaridade do professor. () Graduado () Mestre () Doutor

2. Grau de escolaridade no qual já ensinou ou ensina atualmente.

() Ensino Fundamental () Ensino Médio () Graduação () Pós-Graduação

3. Com respeito ao livro didático adotado por você ou pela instituição de ensino, Você:

- () Não o segue completamente.
- () Segue rigorosamente apenas o livro didático adotado.
- () Segue o livro didático adotado e faz complementos com outros livros.

Caso você use livros complementares, responda o item 4.

4. você faz complementos com outros livros didáticos porque?

- () O livro adotado não contém todo o conteúdo da ementa.
- () Usa outros livros para completar o conteúdo da ementa.
- () Você busca outros livros para acrescentar conteúdo além daqueles da ementa.

5. Com respeito ao conceito de entropia, o livro didático adotado por você ou pela instituição:

- () Não define o conceito de entropia na termodinâmica.
- () Define parcialmente o conceito de entropia na termodinâmica.
- () Define completamente o conceito de entropia na termodinâmica.

6. Os livros que você está usando são edições atualizadas (últimos 2 anos)?

- Sim
- Não

7. Qual das leis da termodinâmica o conceito de entropia está relacionado:

- Lei Zero da termodinâmica.
- Primeira Lei da termodinâmica.
- Segunda Lei da termodinâmica.
- Terceira Lei da termodinâmica.

8. Na termodinâmica, o conceito de entropia está relacionado com:

- Reversibilidade e Irreversibilidade.
- Ordem e desordem.
- Macroestado e Microestado

9. Caso você tenha usado livros que não abordavam o conceito de entropia, você supriu essa necessidade em sala de aula?

- Sim
- Não

10. Você é capaz de citar outras áreas da ciência que usam o conceito de entropia?

11. Você é capaz de citar um processo reversível e um outro irreversível na natureza?

14. Qual a relação da entropia com as máquinas térmicas?

15. Como você explicaria o fato de não existir nenhuma máquina térmica com rendimento de 100% usando o conceito de entropia.

16. Após responder os questionamentos anteriores, como você se alto avalia com respeito a termodinâmica e em particular ao conceito de entropia?
