

Incorporação da flecha do tempo nos conceitos de termodinâmica para a graduação: Uma ação metodológica

M. C. P. Cruz¹; L. D. dos Santos¹; J. T. Guedes¹; A. F. Pitanga²

¹ LAPICEQ, Faculdade Pio Décimo, 49095-000, Aracaju-SE, Brasil

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), 44900, Irecê-BA, Brasil

clara_aju@yahoo.com.br

(Recebido em 10 de dezembro de 2012; aceito em 25 de março de 2013)

Este artigo apresenta a estratégia de ensino de termodinâmica sob uma nova temática para os alunos de graduação, visando à incorporação do conceito da flecha do tempo como um recurso de auxílio à aprendizagem. Inicialmente, foram ministradas aulas no modelo tradicional, e posteriormente, aulas ministradas com a nova temática, a fim de serem analisadas pelos alunos as duas formas. Esta metodologia foi utilizada em duas turmas do curso de Engenharia de Produção da Faculdade de Negócios de Sergipe em 2010/2. Após esta etapa, foi aplicado um questionário para investigar o nível de aceitação dos alunos e sua aprendizagem. Os resultados evidenciaram que a compreensão da disciplina em questão foi aprimorada naquela que abordava o tempo na termodinâmica e a entropia como a flecha do tempo.

Palavras-chave: Termodinâmica, Flecha do tempo, entropia.

Incorporation of the arrow of time in the concepts of thermodynamics for graduation: A methodological action.

This paper presents the strategy of teaching thermodynamics under a new theme for undergraduates, aiming at the incorporation of the concept of the arrow of time as a resource to aid learning. Initially, classes were taught in the traditional model, and subsequently taught classes with the new theme in order to be analyzed by the students both forms. This methodology was used in two classes in the course of Production Engineering, Faculty of Business Sergipe in 2010/2. After this step, a questionnaire was applied to investigate the acceptance level of the students and their learning. The results showed that the understanding of the discipline in question has been improved in that time that addressed the thermodynamics and entropy and the arrow of time

Keywords: Thermodynamic, arrow of time, entropy.

1. INTRODUÇÃO

A Química é uma ciência que desempenha um papel importante na sociedade, pois está relacionada diretamente com o cotidiano de todas as pessoas, o que contribui para formação e construção do conhecimento dos indivíduos enquanto cidadãos. A opção por um ensino contextualizado na graduação deve ser levada em consideração pelo professor dentro e fora da sala de aula, colaborando para formação de um cidadão crítico.

A maneira como o conteúdo é ministrado pelo professor e as ações utilizadas são fatores relevantes no processo de ensino e de aprendizagem; o conteúdo precisa ser trabalhado, refletido, re-elaborado pelos professores e também pelos alunos. Caso contrário, o educando não apreende e nem processa o conhecimento de que necessita, podendo apresentar um comportamento condicionado baseado na memorização superficial dos conteúdos abordados pelo docente em sala de aula. Embora a aprendizagem seja uma atividade própria dos alunos, o professor deve facilitar-lhes a capacitação dos significados e incentivar o ato de aprender através do exercício da prática¹.

A termodinâmica dificilmente é ou será a parte mais popular da Ciência por um simples motivo: pertence ao mundo macroscópico, que lida com as reais possibilidades e os limites que podem ser alcançados por nossos corpos e nossas máquinas². Os alunos não compreendem a ideia de sistema fechado — interação de objetos de temperaturas diferentes — o que impede que percebam: o que se conserva e o que varia³.

A palavra entropia foi usada pela primeira vez em 1850, pelo físico alemão Rudolf Julius Clausius (1822-1888), para referir-se à dissipação de energia. A origem da palavra deriva-se dos radicais gregos *em* (dentro) e *tropee* (mudança, troca, alternativa). O termo foi largamente trabalhado na física para mencionar a Segunda Lei da Termodinâmica⁴.

A entropia aumenta em todos os processos espontâneos, perdendo energia para o universo a todo instante, razão pela qual os especialistas dizem que o universo caminha para a morte térmica, pois essa energia perdida jamais será recuperada. O potencial do universo é constante, mas a entropia do universo está aumentando. Fisicamente, ela distingue o passado do futuro: o futuro é a direção do tempo em que a entropia tende a aumentar indo ao caos, esse direcionamento age como um tipo de relógio que não volta ao passado. Esse sentido único da entropia fez com que os físicos a chamassem de "a flecha do tempo".

A nossa noção subjetiva do sentido do tempo, a seta psicológica do tempo, é determinada dentro do cérebro pela seta termodinâmica. Deve-se lembrar das coisas pela ordem em que a entropia aumenta. Isto torna a segunda lei da termodinâmica quase trivial. A desordem aumenta com o tempo, porque se mede no sentido em que a desordem aumenta⁵. As implicações filosóficas e psicológicas aliadas à flecha do tempo, como por exemplo: o envelhecimento e o caos; humaniza a disciplina e podem promover a aprendizagem significativa. Portanto, esta estratégia pode ser um diferencial nas aulas de físico-química e traduz um repensar indispensável à formação continuada do educador.

Portanto, o presente artigo tem como objetivo geral desenvolver uma metodologia didática, para o ensino de termodinâmica de forma significativa, usando contextualização e analogias associadas à entropia como a flecha do tempo, abordando o conceito resumido de equilíbrio termodinâmico, relacionadas aos conteúdos abordados no cotidiano do aluno. O conjunto das considerações finais apresenta os dados obtidos depois da aplicação desta temática, com alunos da graduação, para contribuir na aprendizagem de uma das disciplinas marcadamente complicadas das áreas da Química e da Engenharia.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de avaliar esta estratégia foram ministradas quatro aulas tradicionais, baseadas no modelo fundamental, e quatro aulas com a temática sobre a 1ª, 2ª e 3ª Leis da Termodinâmica aos alunos de Química Básica 2010/2 de Engenharia de Produção da Faculdade de Negócios de Sergipe (FANESE).

Inicialmente, nas primeiras aulas desse estudo foram utilizados o quadro e pincel, recursos com o quais o docente apresentou os conteúdos aos alunos que ouviam passivamente, baseados em conhecimentos apenas textuais e matemáticos sem muita significância para os discentes. Dando continuidade, foram ministradas aulas enfocando os mesmos conteúdos, agregando às explicações analogias, utilizando a flecha do tempo com implicações temporais, filosóficas e psicológicas, momento em que o educador fez inferências sobre a temática na vida cotidiana dos discentes. Após esta etapa, o alunado pode comparar o ensino de termodinâmica de forma tradicional; com a aplicação da metodologia a partir da flecha do tempo. Esta ação pedagógica foi aplicada em duas turmas: no período da manhã com nove discentes e à noite com dezenove. Na última aula deste estudo, os alunos responderam a um questionário com o fulcro de avaliar os procedimentos aplicados a partir da flecha do tempo. A metodologia utilizada como análise perpassa pela pesquisa quali-quantitativa com viés interpretativo dos questionários aplicados para como instrumento de coleta de dados dos envolvidos.

Todas as ciências clássicas, como a Termodinâmica, têm como sistema de análise objetos da ordem de dimensões dos humanos. Elas não são aplicáveis em objetos da ordem de dimensões do átomo, nem em objetos da ordem de dimensões de conjuntos de galáxias, embora ainda sejam válidas para dimensões sub-galácticas. A termodinâmica clássica trabalha na condição de equilíbrio termodinâmico, ou seja, um sistema em equilíbrio é perturbado até um novo equilíbrio ser alcançado e, assim, aplica-se o conceito das equações clássicas como a Lei de Hess, a Lei de Gibbs, a Lei de Helmholtz, dentre outras. Portanto, a termodinâmica impõe restrições intrínsecas à teoria científica.

A filosofia da ciência jamais pode esquecer as restrições inerentes à teoria científica a que ela está se referindo. Caso ocorra, suas conclusões não terão valor algum. Partindo deste conceito, não se extrapolou para o universo o conceito da flecha do tempo e se trabalhou em sistema nas dimensões humanas e do planeta terra nas analogias e contextualizações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos livros de Química, tanto de graduação quanto de ensino médio ⁵⁻⁹, o tempo não é apresentado como variável na termodinâmica, estando presente de forma implícita para alcançar o equilíbrio termodinâmico, como o estudo da Lei Zero, do Equilíbrio Químico e do Equilíbrio de Fases. Na 1ª lei, não há diferença a um sentido preferencial para o tempo. É possível o cálculo da energia de uma xícara de café quente para uma xícara de café frio (processo espontâneo) como para o seu inverso (processo não espontâneo). Nada revela sobre as condições necessárias para que a reação ocorra e não explica porque o sistema segue uma direção particular.

Partindo destas considerações, pergunta-se: onde está a variável tempo na termodinâmica? Então, como utilizar a flecha do tempo se a variável tempo está implícita na termodinâmica?

Para principiar a responder estas questões necessita-se compreender o conceito de equilíbrio termodinâmico. Começou-se a perceber que existia uma direção clara para a termodinâmica, o calor se propaga do quente para o frio, a luz do claro para o escuro, o som em direção ao silêncio e os íons em direção ao de menor concentração. Uma transformação termodinâmica é uma mudança de estado. Se o estado inicial é de equilíbrio, uma mudança do mesmo só pode ser feita através de perturbações externas ao sistema, conduzindo a um novo estado de equilíbrio termodinâmico, classificados segundo Figura 01. Eles podem ser descritos com uma analogia mecânica de uma bola sobre uma superfície em um campo gravitacional ¹⁰.

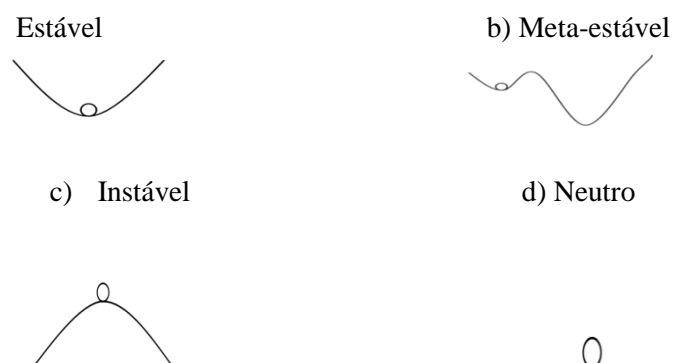


Figura 1: Classificação dos estados de equilíbrio termodinâmico

O equilíbrio estável ocorre quando as perturbações não desestabilizam o sistema devido a se encontrar no mínimo de energia. Por outro lado, o equilíbrio metaestável ocorre porque existe uma barreira de energia que confere estabilidade, mesmo não sendo o mínimo de energia. Ainda pode existir, o equilíbrio instável, quando pequenas perturbações deslocam o sistema do equilíbrio. Finalmente, equilíbrio neutro, em que o sistema não pode ser alterado sob nenhuma perturbação. Sendo assim, o tempo na termodinâmica está implícito no intervalo de tempo para o alcance do equilíbrio, seja ele estável, metaestável, instável ou neutro. Nele deve existir homogeneidade da temperatura, pressão e potenciais químicos simultaneamente e como todo, enquanto para o estado estacionário não há esta necessidade ¹¹.

O termo tempo de equilíbrio termodinâmico é diferente do termo tempo da entropia como a flecha do tempo. O termo equilíbrio termodinâmico se refere aos processos reversíveis que após terem ocorridos num dado sentido, também podem ocorrer naturalmente no sentido oposto, voltando ao estado inicial. O segundo se refere a processos irreversíveis, em que ocorrem sempre num só sentido, sendo por isso fácil reconhecer a ordem temporal com que acontecem.

Ao explicitar e abordar a flecha do tempo, não foi sugerida a mudança nos conteúdos, mas uma nova abordagem para promover uma nova percepção sobre a temática abordada.

De modo geral, os processos naturais são espontâneos e, portanto, não são quase-estáticos. Isto significa que são irreversíveis e ocorrem, sempre, com aumento de entropia e assim sendo, acompanhando pelo psicológico humano quanto ao sentido natural da vida.

Na entropia é importante compreender a assimetria entre calor e trabalho. O trabalho mecânico (w) transforma-se em calor (q) num rendimento de 100% ($w \rightarrow q$); no entanto, o seu inverso não acontece ($q \rightarrow w$); em torno 60% desta energia se dissipa para o ambiente, caracterizando um rendimento baixo de um motor, por exemplo. A energia de combustão fornecida aos motores para o carro locomover-se, gerando trabalho mecânico, desperdiça-se para o ambiente. Isto implica que o calor é um tipo de energia de menor qualidade, ou seja, o sistema não consegue reter esta forma de energia. O calor que se desintegra para o ambiente representa a perda de energia para o universo e a entropia tende ao máximo por causa desta dissipação oriunda da assimetria entre calor e trabalho ¹².

O termo entropia se é muito associado à desordem. Ao se adicionar leite ao café numa xícara e não misturá-los, tem-se um grau menor de entropia, no entanto, movimentando-os com uma colher apresentam uma entropia máxima, ou seja, uma maior multiplicidade de estados, o que muitos caracterizam como desordem. Este processo é irreversível, impossível os dois líquidos voltarem espontaneamente a serem as mesmas substâncias antes da mistura sem um trabalho externo.

Todas as coisas tendem à desordem com o tempo, por exemplo, as máquinas quebram, ocorre à evaporação de líquidos a gases, isto faz com que a entropia aumente. O oposto não tende a acontecer, isto é, passar da desordem à ordem sem alguém realizar uma ação ou trabalho (w) sobre o sistema. Então o tempo é um aliado da entropia.

Todos os processos biológicos são irreversíveis e a entropia no ser humano caracteriza o seu envelhecimento e morte. A flecha termodinâmica ocorre no sentido do tempo em que a desordem aumenta e a seta psicológica, ocorre no sentido em que se sente que o tempo decorre e, portanto, as duas setas caminham juntas. Incorporações e implicações psicológicas e filosóficas quando se estuda a entropia como a flecha do tempo termodinâmica podem ser feitas e humaniza a forma de conduzir este saber.

Esta fundamentação foi apresentada na temática da termodinâmica sob a flecha do tempo, no ensino das leis da termodinâmica. Os resultados evidenciaram que em torno de 90% dos alunos da turma da noite e 78% da turma da manhã preferiram a abordagem temática, como proposta, conforme figura 2. No entanto, os demais alunos preferem a abordagem de modo tradicional.

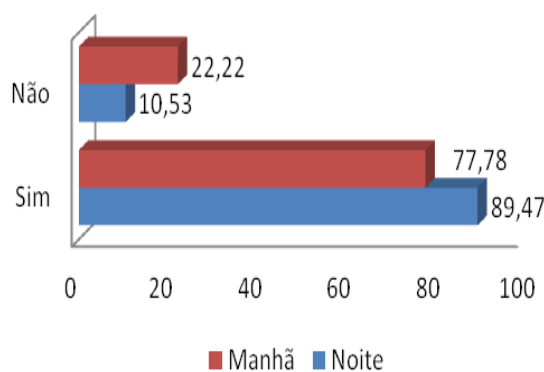


Figura 2: Resultado sobre a preferência da termodinâmica sob nova temática.

A explicação para a maioria preferir a Termodinâmica sob a temática da flecha do tempo é evidenciada nas respostas dos alunos quanto à preferência:

“Quando aproximamos as explicações teóricas com fatos que acontecem no nosso cotidiano podemos entender melhor a aplicabilidade do que estamos estudando”

“Com a nova perspectiva o ser humano ficará sabendo cada vez mais sobre o ciclo da vida”.

“A inovadora aprofundou mais o estudo principalmente no sentido do tempo”

“Na minha opinião a sob nova perspectiva atingiu um nível maior de eficiência e eficácia devido a ter uma linguagem simples e prática e extremamente interessante”

Ficou claro nas falas da maioria dos alunos que foram cumpridos os objetivos propostos e assim, pode-se avaliar que se alcançou a meta da conscientização do aluno, formando cidadãos críticos capazes de formar opiniões a partir de uma análise, como foi a da entropia como a flecha do tempo. Houve, assim, uma quebra de paradigma em que a entropia se encontra não só nos cálculos, mas em muitas áreas como a ambiental, econômica, biológica, etc. Nesta perspectiva, o tema está diretamente relacionado à questão social, pois, pode promover uma mudança no comportamento dos alunos, diante da aquisição de novos conhecimentos encontrados em seu cotidiano, conseqüentemente, gerando novos paradigmas.

Foram apresentadas, ainda, analogias como forma de construir o conceito de entropia, em seguida foram discutidas as informações relacionadas ao seu cotidiano e novo modo de percebê-lo. É importante ressaltar que o aluno precisa ter participação ativa na construção e aplicação de analogias, se isso não ocorre, configuram-se apenas como produtos prontos e acabados os quais eles devem seguir.

A analogia é frequentemente apreendida como uma comparação baseada em similaridades entre estruturas de dois domínios de conhecimentos diferentes, como um conhecimento conhecido e outro desconhecido. A analogia, é sem dúvida, uma ferramenta valiosíssima no processo de ensino e de aprendizagem das ciências. Entretanto, para que uma analogia seja um modelo de ensino útil, deve possuir um conteúdo que é familiar aos alunos e outro que é desconhecido por eles. Enquanto o aspecto familiar é chamado "domínio da analogia", o aspecto desconhecido é chamado de "domínio do alvo" ¹³. Além de o domínio ser familiar, é indispensável que o alvo seja satisfatoriamente "difícil" para que os alunos utilizem a analogia como estratégia cognitiva.

A função de uma analogia pode ser explicativa ou criativa. No primeiro caso, a analogia apresenta novos conceitos em termos mais familiares para o indivíduo. No segundo caso ela "estimula a solução de problema existente, a identificação de novos problemas e a elaboração de novas hipóteses". ¹⁴.

As analogias devem ser problematizadas constantemente, senão pouco se contribuirá para despertar e estimular no discente o pensamento crítico e reflexivo. Para tanto, é importante que a estratégia de ensino elaborada com o uso de analogias deva estar bem estruturada, mesmo que essa seja trazida pronta aos estudantes, pois eles não podem assumir um papel de meros receptores de informações. Desta forma, se faz necessária a problematização deste conceito, discutir pontos em comum entre o análogo e o alvo, e o que se pretende realçar com a analogia.

Na tabela 01 algumas analogias que podem ser usadas para construir o conceito em sala de aula com o enfoque da flecha do tempo.

Tabela 1. Analogias utilizadas para o conceito de entropia como flecha do tempo, considerando os processos irreversíveis.

| Análogo | Alvo (aumento de Entropia nos processos irreversíveis) |
|----------------------------------|---|
| Perfume no ar | Quando uma pessoa perfumada entra em uma sala fechada seu perfume se propaga no ar, simplesmente são as moléculas do perfume que estão se <i>desorganizando</i> com as moléculas do ar. |
| Amadurecimento das frutas | <i>Quando as frutas amadurecem está ocorrendo um estágio de desordem gradativa até chegar a máxima quando se decompõem no solo.</i> |
| Envelhecimento | Com o passar do tempo células do corpo vão perdendo a capacidade de se dividir, tornando-se um <i>processo irreversível</i> e aproximando o indivíduo da morte. |
| Desgaste dos equipamentos | Qualquer equipamento mecânico necessita de reparos para que não ocorra sua desativação por falta de manutenção. Sem isso, ele quebra e aumenta a <i>entropia</i> do local de trabalho. |
| Empresas desorganizadas | Empresas necessitam de uma organização dos seus setores para que não ocorram gastos inevitáveis, empregados desestimulados, falta de dinheiro, ocasionando desestruturação em sua ordem, aumentando a <i>entropia</i> . |
| Desordem mundial | Quanto maior a quantidade de resíduos e rejeitos lançado no planeta Terra seja no ar, solo, água e órbita terrestre, a poluição crescerá aumentando a <i>entropia</i> do planeta. |

Nem todos os alunos preferem a termodinâmica sob a nova perspectiva, mas sim a abordagem clássica da termodinâmica. Os seus depoimentos dizem o seguinte:

“A clássica porque é algo não adaptado ao cotidiano, ou seja, sem complicação, como ela já diz clássica; algo mais velho na química”.

“Tive dificuldade de entender a forma temática. Acho por que estou presa do modo como aprendi no colegial”.

Portanto, nestas respostas os alunos acreditam que a abordagem clássica, por ser tradicional, é a melhor. Isto evidencia que muitos deles preferem o modelo tradicional de ensino sem contextualização.

Quando perguntados sobre como o envelhecimento pode ser encarado termodinamicamente algumas respostas foram:

“O envelhecimento é algo espontâneo, que as pessoas adquirem com o passar do tempo, querendo ou não, ou seja, a termodinâmica está presente no cotidiano das pessoas”.

“de um modo irreversível”

“irreversível e aumenta a desordem do organismo”

“pois o tempo pode ser calculado, o tempo natural e irreversível”.

“Com crescente desordem até chegar ao caos”

“como aumento da desordem do organismo e com o avanço do tempo as alterações são irreversíveis”

As respostas foram, na maioria delas, corretas, evidenciado que os alunos conseguiram compreender o envelhecimento como algo natural e espontâneo, portanto, aumentando a desordem indo ao caos (na morte, com a decomposição do corpo). Logo, através da analogia, foi possível mostrar aos discentes que a flecha do tempo é algo que se fez presente na vida de casa um.

A pergunta seguinte remete ao entendimento da flecha do tempo. Ela é a seguinte: “Você consegue perceber a flecha do tempo, a entropia, em sua vida? Cite um exemplo.” Alguns resultados foram:

“Sim. Pelas minhas fotos de infância, juventude e hoje pelo espelho.”

“O tempo por ser um aliado da entropia, quando vejo minha filha de 09 anos e penso em mim há dez anos antes”.

“Quanto mais o tempo passa, eu envelheço, células do meu corpo estão morrendo e é irreversível”.

“Sim. O crescimento diário de minha filha”.

“A morte”

A maioria dos alunos citou o envelhecimento como exemplo: uns percebem em si mesmo, outros analisaram ao redor, na família. Isto demonstra que compreenderam o conceito de flecha do tempo associado à entropia como um relógio que distingue o passado do futuro.

A última pergunta pede sugestões sobre como melhorar a contextualização da visão temática. As principais opiniões foram:

“Aulas práticas, se possível laboratório, ou algo que nos coloque mais no assunto e nos exemplos”.

“Exemplos mais atualizados em relação à perda de calor $q \rightarrow w$ (40%) e $w \rightarrow q$ (100%)”

A observação remete a preparação de um experimento que abordasse a entropia como desordem, o que correspondeu efetivamente à relação entre teoria-prática, facilitando a compreensão do aluno. Por fim, pedem uma explicação maior sobre a assimetria nas transformações de energia entre trabalho e calor.

Apesar das sugestões valiosas apresentadas, acredita-se no sucesso desta pesquisa, devido à seguinte resposta:

“Eu gostaria que tivesse este método de ensino em várias outras matérias”

É importante ressaltar que ainda há a necessidade de todos os professores incluírem novas metodologias de ensino; que contemplem a contextualização, bem como realizar a interdisciplinaridade, assumindo o papel de mediador na construção do conhecimento bem como na formação dos alunos para o trabalho, motivando-os a aprender e a pensar criticamente.

Um esquema em ordenação de assuntos para fundamentar essa abordagem deve ser apresentado, a fim de ser aplicado por outros professores. Inicialmente o aluno deve ser preparado com conceitos-chave da termodinâmica, abordando a energia e suas modalidades. Em seguida, deve-se entender o equilíbrio termodinâmico, no qual é

atingido a um determinado tempo decorrido e sobre o qual a termodinâmica clássica apoia-se na aplicação de suas leis; em que o tempo não está explícito e, sim, implícito. Posteriormente, introduzir a flecha do tempo nos processos irreversíveis em que a entropia age, utilizando as analogias da tabela 1. Para finalizar, abordar os critérios de espontaneidade e equilíbrio sob-vínculos.

- 1.0 Energia
 - 1.1 Modalidades
 - 1.1.1 Energia cinética, potencial, gravitacional
 - 1.1.2 Calor
 - 1.1.3 Trabalho
 - 1.1.4 Transferência, conservação e dissipação de energia
 - 1.1.5 Exemplos do cotidiano
 - 2.1 Unidades e dimensões (*Sistema Internacional e Inglês*)
 - 2.1.1 Tempo, Comprimento, massa, volume
 - 2.1.2 Temperatura (escalas K, °C, R, F, etc)
 - 2.1.3 Pressão (absoluta, relativa, etc)
 - 2.1.4 Força, energia, etc.
- 2.0 Unidades e grandezas:
 - 3.1 Lei Zero
 - 3.1.1 Equilíbrio térmico
 - 3.2 Equilíbrio termodinâmico e o tempo para alcançá-lo
 - 3.2.1 Equilíbrio térmico, bórico e químico
 - 3.2.2 Classificações de equilíbrios termodinâmicos
 - 3.2.3 Perturbações nos sistemas com implicações temporais
- 3.0 Termodinâmica
 - 3.3 Primeira Lei
 - 3.3.1 Princípio da conservação de energia
 - 3.3.2 Assimetria entre calor e trabalho
 - 3.3.3 Calorimetria e a termoquímica
 - 3.4 Segunda Lei partindo de Máquinas Térmicas
 - 3.4.1 Processos reversíveis e o conceito de entropia
 - 3.4.2 Processos irreversíveis e a flecha do tempo
 - 3.5 Terceira Lei
 - 3.5.1 Entropia do ponto de vista estatístico
 - 3.5.2 Entropia, multiplicidade de estados e a flecha do tempo
 - 3.6 Critérios de espontaneidade e equilíbrio termodinâmico
 - 3.6.1 A volume constante
 - 3.6.2 A temperatura e volume constante
 - 3.6.3 A temperatura e pressão constante

Os resultados e discussões gerados desta metodologia podem orientar os educadores de termodinâmica no desafio de ensinar; uma vez que a didática pedagógica colabora para uma aprendizagem significativa. Essa prática tem bastante relevância na formação do docente devido à busca por pesquisas que levam ao profissional a um amadurecimento cultural, deixando velhos paradigmas para trás, fazendo o uso de novos procedimentos didáticos em que o professor deixa de ser um mero transmissor conteudista e passa a ser um educador. Nesse contexto, o docente tem um senso crítico para avaliar melhor o material a ser trabalhado por ele e seus alunos.

4. CONCLUSÃO

Relacionando a termodinâmica com conhecimentos prévios dos alunos através da entropia como a flecha do tempo, ocorreu uma motivação para a aprendizagem da disciplina, no esclarecimento que vai além de fórmulas matemáticas. Esta metodologia apresenta-se como uma integração entre aluno, professor e suas realidades. Desta forma, torna os conteúdos menos técnicos e mais humanizados, evidenciado pelas respostas dos alunos a esta abordagem metodológica. Portanto, a importância desta temática reside no fato de aproximar os conteúdos científicos da termodinâmica com o cotidiano dos alunos, tornando-os cidadãos críticos. Não que se deixe de discutir a ferramenta matemática que fundamenta os conceitos estudados, mas que se procure ir além da análise hermética matemática, alcançando objetivos mais abrangentes no entendimento dos conceitos relacionados. Afinal, o aluno que pretender se aprofundar sempre poderá fazê-lo posteriormente, se quiser, e isto depende da identificação com a temática.

Constatou-se, ainda, a satisfação da maioria dos alunos analisados quanto aos conhecimentos adquiridos, e segundo os mesmos foi um processo de aprendizagem prazeroso, dinâmico e eficiente que lhes permitiu a construção de um melhor conhecimento.

5. AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Adalberto Bono Maurizio Sacchi Bassi pelas valiosas discussões sobre a temática.

-
1. Silva JLPB. Um Ensino Facilitador da Aprendizagem Significativa da Termodinâmica Básica. Dissertação de mestrado, Instituto de Física, 1999, Universidade Federal da Bahia, Salvador. Souza E. Fundamentos de Termodinâmica e Cinética Química, Editora UFMG, Belo Horizonte, 2005.
 2. Camargo FM. Alunos têm dificuldades com conceitos de Termodinâmica. Agência USP de notícias. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.usp.br/agen/?p=14999>>. Acesso em 11 de outubro de 2012.
 3. Hawking SW. Breve história do tempo. Trad. Ribeiro da Fonseca, Lisboa, Editora Gradiva, 1996.
 4. Santos, W. L. P.; Mól G. S. (coord.) Química cidadã, São Paulo, nova geração, 2010.
 5. Atkins PW. Físico-química. 8ª edição, Rio de Janeiro: LTC- Livro Técnico e Científico, Editora S.A., 2008.
 6. Ball DW. Físico- química. São Paulo, Thomson, 2005.
 7. Castellan GW. Fundamentos de Físico-Química. Rio de Janeiro: Editora LTC, 1986.
 8. Feltre R. Fundamentos de Química, vol. único. Editora Moderna, São Paulo, 2005.
 9. Reis M. Química Integral; vol. único. Editora FTD, São Paulo, 2005.
 10. Tester JW and Modell M. Thermodynamics and Its Applications, Printice Hall, 3rd Edition, 1997
 11. Nery ARL; Bassi ABMS. Condições de Equilíbrio Termodinâmico: A Função Disponibilidade, Química Nova, 2011: 34(1): 160-164.
 12. Castro R; Ferracioli, L. Segunda Lei da Termodinâmica: Um Estudo de seu Entendimento por Professores do Ensino Médio. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física, 8, 2002, Águas de Lindóia. Anais... Águas de Lindóia: SBF, 2002. Disponível em: http://www.sbf1.if.usp.br/eventos.viii-epf/PDFs/CO19_3.pdf. Acesso em: 01 abr. 2010.
 13. Curtis R, Reigeluth C. The Use of Analogies in Written Text. Instructional Science, Amsterdam: Elsevier Science Publishers BV, 1984 (13): 99-117.
 14. Glynn SM, Law M, Gibson NM and Hawkins CH. Teaching science with analogies: a resource for teachers and text-books authors. University of Georgia, 1998. Disponível em: <http://curry.virginia.edu/go/clic/nrrc/scin_ir7.html>. Acesso em: 05 abril 2012.