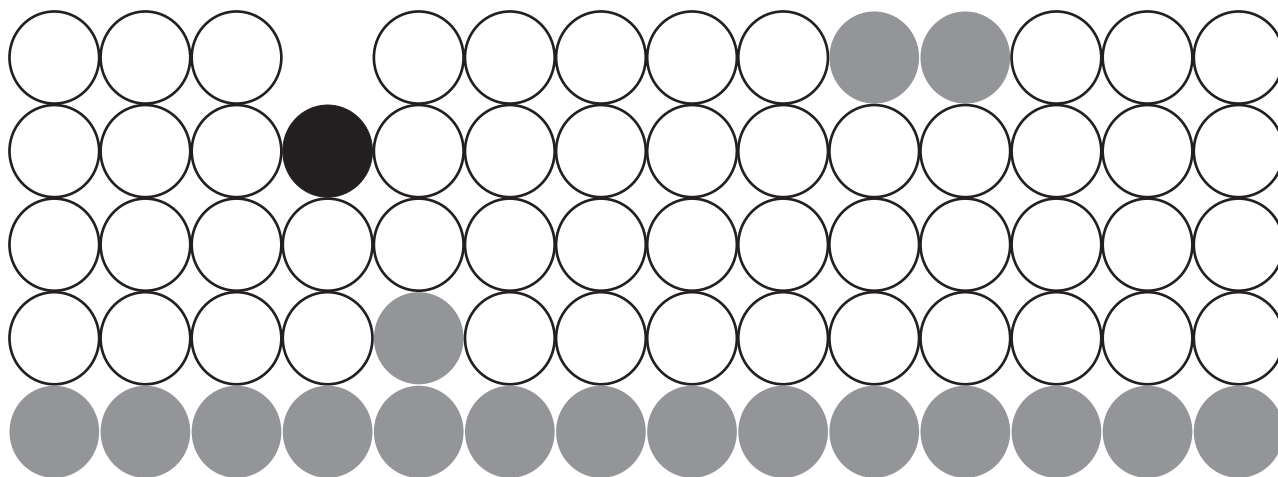


TEXTOS DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA

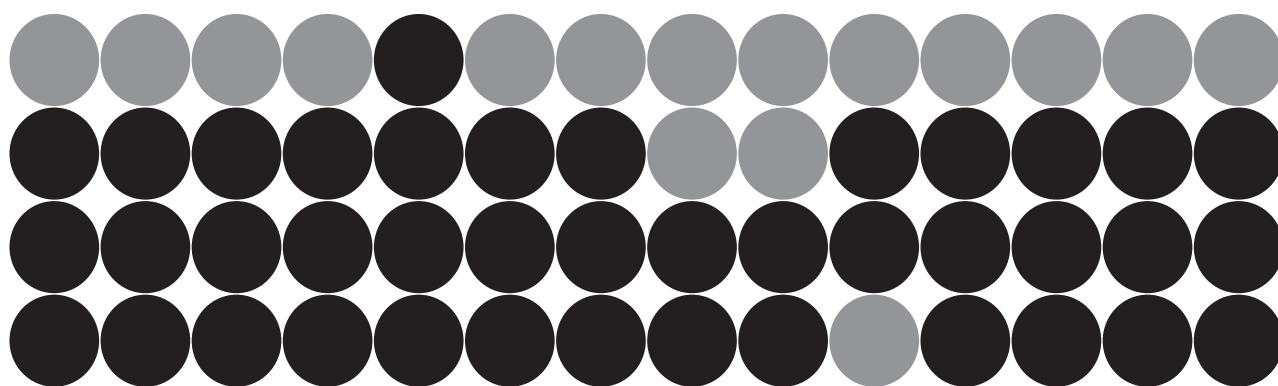
v.17 n.3 2006

ISSN 1807-2763



INTRODUÇÃO AO CONCEITO DE ENERGIA

Alessandro A. Bucussi



Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Textos de Apoio ao Professor de Física, v.17 n.2, 2006.
Instituto de Física – UFRGS
Programa de Pós – Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

Editores: Marco Antonio Moreira
Eliane Angela Veit

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Bibliotecária Carla Flores Torres CRB 10/1600)

B926i Bucussi, Alessandro A.

Introdução ao conceito de energia / Alessandro A. Bucussi. – Porto Alegre : UFRGS, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2007.

32p. : il. (Textos de apoio ao professor de física / Marco Antonio Moreira, Eliane Angela Veit, ISSN 1807-2763; v. 17, n. 3)

Produto do trabalho de conclusão do Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

1. Ensino de Física. 2. Energia I. Bucussi, Alessandro A. II. Título. III. Série.

CDU 53:37
PACS 01.40.J

Impressão: Waldomiro da Silva Olivo
Intercalação: João Batista C. da Silva

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. O SABER CIENTÍFICO	6
2.1 TEORIAS PREDECESSORAS.....	7
2.2 O PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO	9
2.3 A EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE ENERGIA.....	14
3. O SABER ESCOLAR.....	17
3.1 ENERGIA NO COTIDIANO	17
3.2 CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS	18
3.3 A DEFINIÇÃO DE ENERGIA.....	21
3.4 TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA	23
REFERÊNCIAS.....	29

1. INTRODUÇÃO

Como o foco deste texto de apoio está no ensino e aprendizagem do conceito de energia, entendemos ser relevante iniciarmos por uma discussão sobre os problemas que a História e a Filosofia da Ciência mostram terem sido fundamentais para a construção deste conceito; evitando, assim, apresentá-lo de forma arbitrária, sem qualquer contextualização histórica.

Quando se discute o processo de ensino-aprendizagem em ciências há uma idéia quase consensual entre os pesquisadores de que é preciso evitar uma apresentação do saber científico como se o mesmo fosse algo acabado, dando ênfase apenas à forma como o concebemos atualmente, sem oferecer aos estudantes oportunidades de compreenderem como se deu a evolução histórica deste saber. Neste sentido, é preciso buscar um maior esclarecimento sobre quais eram os problemas que a comunidade científica buscava solucionar quando do surgimento do conceito de energia. Inclusive para que, refletindo sobre estes fatos, os estudantes possam familiarizar-se com critérios e estratégias de elaboração e validação comuns ao trabalho científico, de modo que lhes seja possível comparar a trajetória de suas concepções pessoais com concepções já superadas dentro da própria evolução do saber científico.

Seguindo esta linha de investigação estruturamos, inicialmente, uma breve revisão bibliográfica sobre a gênese do conceito de energia. Primeiro, investigando o momento que antecede a emergência do conceito e, posteriormente, os principais resultados que nos descrevem a evolução que o mesmo sofreu, principalmente, no que se refere à chamada “descoberta simultânea do princípio de conservação da energia”.

Em seguida procuramos desenvolver uma discussão, referenciada na atual pesquisa em Ensino de Física, sobre o estado da arte do modelo conceitual de energia. Dividimos esta tarefa em quatro momentos:

- no primeiro, discutimos a forma como o termo energia apresenta-se no cotidiano da sociedade;
- no segundo, discutimos como este cotidiano, seja por aspectos materiais ou culturais, serve de base para que os estudantes manifestem suas concepções alternativas a respeito do significado e das manifestações Físicas da energia;
- no terceiro, discutimos alguns argumentos relativos a estratégias didáticas para uma primeira aproximação ao conceito;
- no quarto, apresentamos algumas sugestões para a análise e o planejamento curricular vinculados à temática da energia.

2. O SABER CIENTÍFICO

Energia, em grego, significa “trabalho” (do grego *enérgeia* e do latim *energia*) e, inicialmente, foi usado para se referir a muitos dos fenômenos explicados através dos termos: “*vis viva*” (ou “força viva”) e “calórico”. A palavra energia apareceu pela primeira vez em 1807, sugerida pelo médico e físico inglês Thomas Young. A opção de Young pelo termo energia está diretamente relacionada com a concepção que ele tinha de que a energia informa a capacidade de um corpo realizar algum tipo de trabalho mecânico (Wilson, 1968).

Antes de 1800 o conceito de força (*vis*) possuía um sentido bastante abrangente, adaptando-se a diferentes campos: força elétrica, força gravitacional, força magnética. Esta abrangência do uso da concepção de força ainda não permitia muitas aproximações entre estas diferentes manifestações, apenas se desenvolviam estudos que buscavam aprofundar a forma como estas forças se manifestavam nos diversos contextos físicos. Contudo, algumas contribuições se orientavam no sentido de identificar regularidades associadas tanto aos fenômenos relativos ao movimento quanto ao calor:

- Galileu Galilei (1564-1642) em sua obra “Diálogos sobre Duas Novas Ciências” chegou a fazer considerações a respeito de regularidades observadas em alguns processos de transformação envolvendo a força gravitacional, mais especificamente sobre o funcionamento do “bate-estacas”; também afirmava conservar-se o que entendia ser o *ímpeto* presente nos corpos em movimento;
- Leibniz (1646-1716) e Huygens (1629-1695) contribuíram para o desenvolvimento da idéia de conservação da *vis viva* em situações onde ocorrem colisões;
- Lagrange (1736-1813) em 1788 estabelece o que entendemos hoje como o princípio da conservação da energia mecânica;
- Joseph Black (1728-1799), Rumford (1753-1814) e Carnot (1796-1832) desenvolveram uma idéia de conservação dentro da própria “Teoria do Calórico”.

Assim, no início do séc. XIX, o termo energia passou a ser usado com frequência cada vez maior, sobrepondo-se às concepções de “*vis viva*” e de “calórico”. Mas foi nas décadas que antecederam a 1850 que as investigações sobre o conceito de energia protagonizaram uma revolução do pensamento científico europeu. Estas investigações estavam relacionadas a uma nova visão da natureza, uma visão a partir da qual se vislumbrava uma espécie de regularidade em diversos tipos de fenômenos físicos e químicos, estava se estruturando o Princípio de Conservação da Energia (Kuhn, 1977). Contribuíram decisivamente para a elaboração deste princípio homens como Julius Robert von Mayer (1814-1878, Alemanha), Hermann von Helmholtz (1821-1894, Alemanha), L. A. Colding (1815-1888, Dinamarca) e James Prescott Joule (1818-1889, Inglaterra).

2.1 TEORIAS PREDECESSORAS

Discutiremos a seguir as contribuições de dois grandes campos de pesquisa do séc. XIX: o estudo do “movimento” e o estudo do “calor”, examinando a forma como a integração dos mesmos permitiu a emergência do conceito de energia.

2.1.1 *Vis viva*

Galileu Galilei (1564-1642) em seu livro “Duas Novas Ciências” já descrevia experiências em que entendia se conservaria o que ele chamava de *ímpeto*. Christian Huygens (1629-1695) ao estudar a colisão dos corpos identificava algum significado especial na multiplicação da massa pela velocidade ao quadrado dos corpos. Mas foi só em 1683, na sua obra “Discurso de Metafísica”, que o matemático, filósofo, político e historiador alemão Gottfried Leibniz (1646-1716) introduziu o termo latino “*vis viva*”, que significa “força viva” de forma a dar maior sentido a esta relação. Ele confrontava seu conceito com o de “quantidade de movimento” defendido anos antes por René Descartes (1596-1650), de forma que *vis viva* (matematicamente representada pela relação $m.v^2$) e quantidade de movimento (representada por $m.v$) passaram a disputar a “verdadeira medida do movimento e da força de um corpo” (Rocha, 2002 e Ponczec, 2000).

A tentativa de Leibniz em resolver o problema encontrado por Decartes ao analisar a conservação da quantidade de movimento a partir de uma grandeza escalar (mv), era em parte resolvida pelo termo ao quadrado presente na *vis viva* (mv^2), mas não completamente, apenas em colisões ideais se conservaria a *vis viva* (colisões perfeitamente elásticas). O problema foi resolvido apenas quando Newton (1642-1727) formulou sua 2ª Lei a partir da variação da quantidade de movimento dando a este um significado vetorial. No entanto, não chegou a orientar seus estudos na direção da elaboração de uma idéia mais clara de conservação.

Assim, a concepção de Leibniz acabou evoluindo até nossa atual concepção de energia cinética enquanto que a de Decartes consiste em nossa atual concepção de quantidade de movimento. Sendo Christian Huygens que, finalmente, ao estudar as colisões perfeitamente elásticas, chegou (junto com Wallis e Wren), em 1669, ao “Princípio de Conservação da Quantidade de Movimento Linear” (Michinel y D’Alessandro, 1994, p.376 e Delizoicov e Angotti, 1992, p.59).

Em 1738, Daniel Bernoulli, acrescentava: “...a conservação da *vis viva* é a igualdade da descida real com a ascensão potencial” (in Kuhn, 1977, p.121). E, mais de 100 anos depois de Huygens, em 1803, L. N. M. Carnot, pai de Sadi Carnot, elaborou o que seria o precursor do conceito de energia potencial: a *vis viva* “latente”. Carnot argumentava que todo corpo a uma certa altura do chão possuía *vis viva*, pois poderia cair e entrar em movimento.

Michinel y D’Alessandro (1994, p.376) concluem sobre esta contribuição da teoria da *vis viva* afirmando que, posteriormente, Gaspard de Coriolis (1792-1843) relaciona-a com conceito de trabalho, e dando preferência ao conceito de trabalho estabelece a seguinte igualdade:

$$\text{Trabalho} = \text{Força} \cdot \text{Deslocamento} = \frac{1}{2}(\Delta \text{vis viva}),$$

que não é outra coisa se não o Teorema do Trabalho e da Energia Cinética aplicado a uma partícula ($W_{\text{externo}} = \Delta E_{\text{partícula}}$).

Finalmente, encerrando este breve levantamento de algumas contribuições da área da mecânica para a emergência do conceito de energia, gostaríamos ainda de destacar que a *vis viva* só será substituída pelo termo “energia” a partir de 1807 por influência, principalmente, de Thomas

Young (1773-1829) e receberá a denominação moderna de “energia cinética” só a partir de Lord Kelvin (1824-1907).

2.1.2 Calórico

Durante os séculos XVII e XVIII os cientistas ainda discordavam quanto à natureza do calor, envolvidos em uma investigação que se remete aos mistérios associados ao fogo e à combustão. Segundo Auth e Angotti (2001) as primeiras tentativas de explicar a natureza do fogo provêm da Antigüidade com Heráclito identificando-o como sendo o “ar condensado”. Na modernidade a teoria da calcinação¹ do século XVI e a teoria do termógeno² do século XVII, buscaram dar melhores respostas ao mistério associado à conservação (ou não) da massa durante as combustões. Porém, no início do século XVIII, Stahl (representando a união do saber químico e médico dos “Iatroquímicos” e “Alquimistas”) deu o nome de “flogisto” ao que entendia ser o “princípio do fogo”. Assim, todos os corpos passíveis de combustão continham flogisto liberado durante a queima.

Mesmo que alguns investigadores (Roger Bacon, Francis Bacon, Kepler, Boyle) influenciados pelas idéias de Platão e Aristóteles afirmassem ser “o calor uma forma de movimento”, a teoria do flogisto iria se manter com forças até o final do século XVIII com a revolução da Química. Durante esta revolução foram fundamentais as contribuições de Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), considerado pai da química, que, em primeiro lugar, conseguiu “comprovar que o ar era uma composição de elementos, entre eles o oxigênio, o qual, além de conter massa, participava das combustões”, possibilitando-lhe, a partir disso, e da realização de novas experiências de combustão, chegar ao seu famoso enunciado da Lei da Conservação da Massa: “no universo nada se cria nem se destrói, tudo se transforma”. Em segundo lugar, por ter em 1789 publicado um livro, “Elementos de Química”, onde relacionou 23 substâncias consideradas por ele como autênticas, estando entre elas relacionado também o “calor”, identificado como um “fluido” e denominado de “calórico” (Wilson, 1968 e Auth e Angotti, 2001).

A teoria que se formou em torno da idéia do calórico tornou-se tão usual que precisou ser confrontada inúmeras vezes até ser superada. Antes disso, no entanto, alguns resultados experimentais contribuíram para a elaboração de uma lei de conservação do calórico: o calor não se cria e nem se destrói, mas pode ser transferido de um corpo para outro (Michinel y D’Alessandro, 1994, p.376).

Um dos principais teorizadores do calórico foi um químico escocês chamado Joseph Black (1728-1799). Black introduziu termos como caloria, capacidade calorífica, calor latente e calor sensível. Ele mostrou como substâncias diferentes atingiam temperaturas diferentes quando aquecidas com a mesma quantidade de calórico, o que foi formalizado pela expressão:

$$\Delta Q \text{ (cal)} = m \text{ (g)} \cdot c \text{ (cal/g}^\circ\text{C)} \cdot \Delta T \text{ (}^\circ\text{C)}$$

¹ Tentava explicar por que algumas substâncias ao serem incineradas tinham um aumento em seu peso justificando que haviam liberado sua parte mais volátil, que lhe dava uma maior leveza.

² Tentava explicar o mesmo aumento de peso na combustão de algumas substâncias justificando existir uma substância chamada termógeno que entrava nos corpos ao serem aquecidos.

O que permitia uma descrição formal para a conservação do calórico, considerando-se dois corpos em contato e a diferentes temperaturas, isolados da vizinhança e livres de modificações químicas ou que os levassem a mudar de estado de agregação:

$$\Delta Q_A + \Delta Q_B = 0$$

Dentre muitos cientistas que buscavam provas experimentais para a conservação do calórico, o americano Benjamin Thompson, mais conhecido como Conde de Rumford (1753-1814), teve um papel de destaque. Rumford baseando-se na observação da fabricação de canhões percebeu que o atrito produzido pela broca em contato com o metal do canhão produzia um aquecimento suficiente para levar à ebulição uma quantidade ilimitada de água que era utilizada para o resfriamento da broca. Isto contradizia a concepção em voga de que o atrito deveria apenas liberar uma quantidade limitada de calórico armazenado no metal. Diante disso Rumford conclui sobre a natureza do calor (in Wilson, 1968, p. 36):

“...não poderia de modo algum ser uma substância material: e parece-me ser extremamente difícil, senão inteiramente impossível, formar qualquer idéia de algo capaz de ser excitado e transmitido, da maneira por que o calor foi excitado e transmitido nestas experiências, a menos que isso seja movimento”.

Começava a ser elaborada uma teoria dinâmica do calor a fim de superar as limitações apresentadas pela teoria do calórico. De maneira que em 1824 Sadi Carnot (1796-1832) publicou o livro “Reflexões sobre o poder motor do fogo”, o primeiro livro da nova ciência que passaria a se chamar Termodinâmica. O trabalho de homens como Rumford, perfurando o cano de um canhão, de Humphry Davy, atritando duas pedras de gelo até derretê-las, ou ainda Joule, fazendo girar uma roda com palhetas dentro de um recipiente com água de forma a aquecê-la, acabaram por provar que o calor é resultado do movimento microscópico. Para Cotignola et. al. (2002) o declínio da teoria do calórico ocorreu paralelamente à emergência do conceito de energia introduzido por Thomas Young em 1807.

2.2 O PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO

Neste período da História da Ciência aparece de forma muito clara a busca pela generalidade e coerência global que caracteriza o trabalho científico e que se traduz pela integração entre campos de saberes aparentemente desconexos. É neste contexto de grande desenvolvimento científico que veremos o surgimento da Termodinâmica, campo teórico resultante da integração entre a mecânica e o estudo do calor, terreno fértil onde também se desenvolveu o Princípio da Conservação da Energia (PCE).

Diversos autores defendem que a atual concepção de energia emergiu, precisamente, a partir do estabelecimento de sua conservação (Tibergien, 1998). Neste processo de emergência do conceito de energia podemos identificar dois momentos fundamentais para a elaboração do princípio de conservação (Kuhn, 1977):

1ª) De 1800 a 1842, envolvendo a investigação de uma rede de conexões entre estas “forças” e os processos de conversão entre elas.

Os fenômenos físicos entre 1837 e 1844 são descritos por vários pesquisadores da época (C.F.Mohr, William Grove, Faraday, Liebig) como sendo resultado da manifestação de uma única “força” que poderia aparecer sob várias formas: elétrica, térmica, dinâmica, mas nunca poderia ser

criada nem destruída. Isto pode ser exemplificado através de algumas citações encontradas em Kuhn (1977):

“Além dos 54 elementos químicos conhecidos, existe, na natureza das coisas, apenas um outro agente chamado força; pode aparecer em várias circunstâncias como movimento, afinidade química, coesão, eletricidade, luz, calor e magnetismo, e a partir de qualquer um destes tipos de fenômenos podem suscitar-se todos os outros”. (Mohr em 1839, citado na p.114)

“Não podemos dizer se alguma [destas forças] é a causa das outras, mas apenas que todas estão conexas e se devem a uma causa comum” (Faraday em 1834, citado na p.115)

“A posição que procuro estabelecer neste ensaio é que [cada um] dos vários agentes imponderáveis... isto é, calor, luz, eletricidade, magnetismo, afinidade química e movimento, podem, enquanto força, produzir ou converter-se nas outras” (Grove em 1843, citado na p.115)

Assim, o princípio de “convertibilidade” estava sendo compartilhado por um número cada vez maior de pesquisadores sem, contudo, envolver ainda a idéia de “conservação”.

Como nos exemplos citados, muitas também foram as pesquisas que apontavam na direção de que “calor” e “trabalho” (este último identificado na época também como “efeito mecânico”) deveriam ser considerados como sendo “quantitativamente intermutáveis”; o que reforçava ainda mais o princípio da convertibilidade. Sadi Carnot fez experiências neste sentido antes de 1832, Marc Séguin em 1839, Karl Holtzmann em 1845 e G.A. Hirn em 1854, todos envolvidos nos estudos sobre a máquina a vapor. De forma que para Kuhn, (1977, p.104):

“Esta dita força é a que foi mais tarde conhecida pelos cientistas como energia. A história da ciência não oferece nenhum exemplo mais marcante do fenômeno conhecido como descoberta simultânea”.

2ª) Entre 1842 e 1847, ocorre a descoberta simultânea do princípio de conservação.

“Generalidade na formulação” e “aplicações quantitativas concretas” foi o que garantiu o status de uma das descobertas mais marcantes da história da ciência: o Princípio da Conservação da Energia.

“Entre 1842 e 1847, a hipótese da conservação da energia foi publicamente anunciada por quatro cientistas europeus amplamente dispersos – Mayer, Joule, Colding e Helmholtz -, todos, exceto o último, trabalhando em completa ignorância dos outros” (Kuhn, 1977, p.101).

Apesar das revelações destes cientistas terem sido feitas em tempos diferentes e de que o que foi dito nelas não seja exatamente a mesma coisa, elas são tidas como uma descoberta simultânea (Kuhn, 1977) porque se considerarmos os efeitos daquilo que eles disseram, somos levados a admitir que eles falavam de um mesmo aspecto da natureza e que suas descobertas foram feitas de forma independente.

Ludwig Colding em um trabalho apresentado à Academia Dinamarquesa de Ciências em 1843 afirma sobre a conservação (citado em Auth e Angotti, 2001, p.219):

“Todas as vezes que uma força parece se aniquilar realizando um trabalho mecânico, químico ou de qualquer outra natureza, ela apenas se transforma, e reaparece sobre uma nova forma, onde ela conserva toda a sua grandeza primitiva.”

O que estes pioneiros nos proporcionaram, antes de qualquer coisa, foi uma visão geral, integrada, da “...emergência rápida e, muitas vezes, desordenada dos elementos experimentais e conceituais a partir dos quais essa teoria (da conservação) em breve iria se constituir” (Kuhn, 1977).

Ainda seguindo o pensamento de Thomas Kuhn (1977), gostaríamos de destacar três fatores que para ele contribuíram fortemente para a descoberta da conservação da energia.

1º) *Disponibilidade dos processos de conversão.*

Muitos processos de conversão entre as diferentes formas de energia (ou como eram chamadas à época: entre as diversas “forças”) eram bastante conhecidos até meados do século XIX.

Na Tabela 1 procuramos ilustrar algumas destas conversões.

Tabela 1 – lista ilustrativa de algumas conversões conhecidas até o final das quatro primeiras décadas do século XIX.

Ano	Pesquisador	Conversão
1768	Watt (1736-1819)	Térmica→cinética (máquina térmica)
1800	Volta(1745-1827)	Química→elétrica (pilha)
1820	Oersted (1777-1851)	Elétrica→magnética (eletroímã)
1821	Seebeck (1770-1831)	Térmica→elétrica (termopar)
1831	Faraday (1791-1867)	Magnética→elétrica (indução eletromagnética)
1840	Joule (1818-1889)	Elétrica→térmica (efeito joule)

Assim, existia uma rede de conversões ocorrendo de forma desordenada e isolada, mas que, no entanto, permitiu a alguns homens da época perceberem conexões entre estes diversos fenômenos. As conversões de calor em trabalho recebiam atenção especial, pois envolviam a busca de melhorar o rendimento da conversão, produzindo-se cada vez mais trabalho útil. A relação entre trabalho e calor passou a receber destaque na tentativa de se estabelecer o equivalente mecânico do calor. Carnot estudando a potência das máquinas a vapor chegou à relação de que $1\text{cal} = 3,62\text{ J}$. Mayer fez um cálculo semelhante a partir das propriedades dos gases e chegou ao valor de $1\text{cal} = 3,6\text{ J}$.

De forma que para Kuhn (1977, p.112):

“...a conservação da energia não é nada menos do que a contrapartida teórica dos processos de conversão laboratoriais, descobertos durante as primeiras quatro décadas do século XIX”.

Um dos principais articuladores desta “contrapartida teórica” foi James Prescott Joule (1818-1889). Joule em 1838 estava preocupado com o funcionamento dos motores elétricos. Em 1840 se aproxima dos investigadores das máquinas a vapor a fim de realizar comparações entre uma e outra forma de se produzir movimento. É quando realiza experiências para provar que o calor não era um fluido, e sim um tipo de força. Em 1841 e 1842 volta-se para o estudo dos problemas químicos associados às baterias que moviam os motores elétricos. E só em 1843 redireciona suas investigações para as transformações entre os diferentes tipos de “forças” (elétrica em calor, mecânica em calor) descobrindo, inclusive, a equivalência entre trabalho e calor. Assim, foi durante os anos 1844-1847 que ele conseguiu fazer a integração entre as concepções sobre as diversas conversões conhecidas na época. Conforme Kuhn (1977, p.113):

“Na medida que o fez, o seu trabalho foi cada vez mais associado ao dos outros pioneiros e só quando muitos desses laços apareceram é que a sua descoberta se assemelhou à conservação da energia”.

Joule publica o resultado de seus estudos em 1849 afirmando ser o calor uma forma de “força” e dando o valor para seu equivalente mecânico como sendo $1\text{cal} = 4,15\text{J}$, com um desvio de apenas 1% do valor atual³. Dado à relevância da contribuição de Joule temos seu próprio nome como sendo uma unidade de energia⁴, contudo, nos trabalhos que publicou ele sempre usou o termo “força” no lugar de energia.

A concepção de que as “forças” deviam se conservar aparece também em afirmações como a de Faraday em 1840:

“Temos muitos processos pelos quais a forma do poder se pode mudar de modo a que a conversão aparente de uma tenha lugar noutra. Mas em caso algum existe uma pura criação de força; uma produção de poder sem uma exaustão correspondente de qualquer coisa que lhe forneça” (in Kuhn, 1977, p.116)

Podemos dizer que de certa forma já havia uma concepção qualitativa da conservação da energia, contudo, a quantificação desta conservação revelou-se, como salienta Kuhn (1977, p.118), “...insuperavelmente difícil para estes pioneiros, cujo principal equipamento intelectual consistia em conceitos relacionados com os novos processos de conversão”.

2º) Preocupação com motores

Como já comentamos existe uma boa razão para o uso da *vis viva* na tentativa de quantificação do princípio de conservação, ela é identificada como sendo obtida a partir do produto da massa pela velocidade ao quadrado (mv^2) o que nos sugere uma relação com o conceito moderno de energia cinética ($\frac{1}{2}mv^2$). Todavia, existia uma outra quantidade conhecida que vinha da tradição de engenharia, identificada como sendo obtida a partir do produto da força pelo deslocamento ($F \cdot d \cdot \cos\theta$), ela era denominada de efeito mecânico, ou, como é conhecida atualmente, trabalho.

“A conservação da vis viva foi importante para a derivação, feita por Helmholtz, da conservação da energia, e um caso especial (a queda livre) do mesmo teorema dinâmico foi, por fim, de grande utilidade para Mayer. Mas estes homens também obtiveram elementos significativos de uma segunda tradição geralmente separada – a da engenharia da água, do vento e do vapor – e esta tradição é muito importante para o trabalho dos outros cinco pioneiros que produziram uma versão quantitativa da conservação da energia” (Kuhn, 1977, p.120).

Segundo Kuhn só a partir de 1819 é que o conceito de trabalho passará a receber a atenção necessária:

“Entre outros resultados significativos e típicos desta reformulação estavam a introdução do termo ‘trabalho’ e de unidades para a sua medição, a redefinição da vis viva como $\frac{1}{2}mv^2$, foi para preservar a prioridade conceitual da medida trabalho e a formulação explícita da lei da conservação em termos da igualdade de trabalho realizado e da energia cinética criada”

O fato de os motores serem dispositivos de conversão e de permitirem comparações entre os diferentes tipos (elétricos ou térmicos) apontava para a possibilidade de quantificação. Para fazerem os cálculos, no entanto, precisavam do conceito de trabalho e, conseqüentemente, da tradição em engenharia.

A idéia de que a energia é conservada também foi defendida pelo físico e médico alemão Julius Mayer (1814-1878) que em 1842 concluiria que:

³ “Existem três calorias: uma chamada caloria a 15°C, cujo valor é $1\text{cal}_{15} = 4,1855\text{J}$; outra chamada caloria IT (International Table), cujo valor é $1\text{cal}_{IT} = 4,1868\text{J}$; e, finalmente, a caloria termoquímica, cujo valor é $1\text{cal}_{th} = 4,184\text{J}$.” (Gaspar, 2001, vol.2, p.314)

⁴ A unidade de medida da energia Joule (J) pode ser relacionada com a energia necessária para levantarmos uma maçã, com aproximadamente 100g, a um metro do chão.

“...força [o termo que então prevalecia para designar energia], uma vez existindo, não pode ser aniquilada; pode apenas mudar de forma”. (citado em Wilson, 1968, p.36)

Mayer conseguiu calcular o “equivalente mecânico” do calor a partir da diferença entre os calores específicos de gases a pressão e volume constantes, dentro já da nova teoria termodinâmica. O trabalho de Mayer, contudo, não alcançou a mesma repercussão que o de Hermann Helmholtz (1821-1894) que em 1847 generalizou o princípio de conservação da energia em uma lei universal e que mais tarde veio a ser conhecida como a Primeira Lei da Termodinâmica. Segundo Angotti:

“O artigo de Helmholtz, publicado em 1847, sobre a conservação da grandeza, contemplada nas suas distintas formas interconvertíveis, é um clássico reconhecido por muitos cientistas e historiadores da ciência, mas ainda utiliza a terminologia braft (força), no título e em todo o texto.” (Auth e Angotti, 2001, p.220)

Só depois de Rudolf Clausius (1822-1888) ter, em 1865, demonstrado matematicamente esta lei foi que o termo energia recebeu significado preciso sendo admitido como uma “função de estado”, estando em sua gênese um forte vínculo com as relações entre calor e trabalho, dois conceitos que hoje são tidos como “processos de transferência-transformação de energia”.

Destaca-se ainda que Joule e Clausius assumiram que o calor estava relacionado com uma certa energia cinética das partículas que constituem os corpos, passando a se estruturar cada vez mais uma Teoria Cinética baseada nas Leis de Newton, que permitirá, inclusive, a compreensão das Leis da Termodinâmica.

3º) Filosofia da natureza (Nathurphilosophen)

Kuhn (1977) finalmente defende a existência de um terceiro fator que pode ter contribuído para a descoberta simultânea do princípio de conservação da energia: a influência da *Nathurphilosophen*. Esta escola filosófica buscava um princípio unificador de todos os fenômenos naturais. Eles usavam a idéia de “organismo” como a principal metáfora para a ciência, sendo as bases deste movimento levantadas por homens como Kant e Leibniz. Assim, muitos dos pioneiros que citamos até aqui, principalmente os formados dentro da cultura alemã, serão influenciados por esta idéia de princípio unificador que os levará a conclusões que não saem necessariamente de experiências de laboratório ou de deduções matemáticas, mas de inspirações metafísicas baseadas na filosofia natural. Como afirma Kuhn (1977, p.133):

“A ocorrência persistente de saltos mentais como estes sugere que muitos dos descobridores da conservação da energia estavam profundamente predispostos a ver uma única força indestrutível na raiz de todos os fenômenos naturais”.

Para muitos filósofos do século XVII a idéia do universo perder seu movimento inicial e imobilizar-se com o tempo era incompatível com a perfeição divina, acreditando que Deus não criaria um mecanismo tão imperfeito. Se o movimento se extinguísse, deveria haver uma grandeza ou quantidade ligada a ele que compensasse essa extinção (Gaspar, 2001, vol.1, p.245). Ou seja, existia uma certa predisposição dos investigadores que talvez tenha acabado por definir o tipo de metáfora que se iriam construir para descrever a realidade.

Isto talvez possa nos remeter a uma concepção de ciência menos rígida, menos focada na experimentação e na indução lógica de fatos que podem ser organizados de forma sistemática por um pensamento racional e neutro. Mostra-nos a possibilidade de um pensamento científico

influenciado por questões subjetivas, crenças, e concepções que podem levar a formulações teóricas que influenciam diretamente a maneira como se observa o mundo.

Passaremos, agora, a uma breve descrição sobre como o conceito de energia chegou aos nossos dias. Assumimos, portanto, ter este conceito passado por um processo de construção histórico-conceitual que não é resultado da aplicação de um “método científico” rígido e fundamentado unicamente nas observações experimentais. Queremos crer que o pensamento científico que nos legou o atual conceito de energia envolveu a criatividade, a imaginação e a ideologia de diversos homens ao longo da história, de forma a produzirem esta abrangente metáfora da natureza que é o Princípio de Conservação da Energia.

2.3 A EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE ENERGIA

2.3.1 Contribuições da Termodinâmica

Depois de estabelecida a conservação da energia expressa na primeira lei da termodinâmica pela formulação do conceito de “energia interna”, os investigadores procuraram expressar sob a forma de outra lei uma proibição existente na natureza: a irreversibilidades dos fenômenos espontâneos. Lorde Kelvin (1824-1907), matemático e físico inglês, já havia contribuído para a formulação do *paradoxo da reversibilidade* e da concepção da *morte térmica do universo*, quando em um enunciado para a segunda lei da termodinâmica “proíbe” a transformação de calor integralmente em trabalho. Pouco antes, em 1850, Clausius procurou expressar de maneira mais simples esta segunda lei afirmando apenas que o calor sempre deverá passar dos corpos mais quentes para os mais frios, afirmando que o contrário não ocorreria de forma espontânea na natureza. Quinze anos depois o próprio Clausius estabelece outro enunciado para a 2ª lei afirmando que a “entropia”⁵ de um sistema isolado só pode aumentar ou permanecer constante (Gaspar, 2001, vol.2, p.361).

A segunda lei da termodinâmica terá, portanto, diferentes enunciados, todos tentando expressar o fato de que na natureza há uma busca pelo equilíbrio térmico e que este movimento estabelece um certo sentido temporal para a ocorrência dos fenômenos.

Desta forma, em 1872, o físico estatístico austríaco Ludwig Edward Boltzmann (1844-1906) formula outro enunciado para a segunda lei afirmando que em qualquer sistema físico, a tendência natural é o aumento da desordem; o restabelecimento da ordem só é possível mediante o dispêndio de energia. Boltzmann estabelecia que a desordem é uma grandeza termodinâmica fundamental e que a tendência dos fenômenos naturais à irreversibilidade e à degradação era resultado de uma maior probabilidade estatística.

Foi devido ao trabalho de Boltzmann (pai da mecânica estatística) em conjunto com o de James Clerk Maxwell (1831-1879) que foi estabelecida a Teoria Cinética dos Gases que explicava microscopicamente os fenômenos termodinâmicos mesmo antes da descoberta do átomo. As contribuições de Maxwell foram ainda de grande relevância para a Teoria Eletromagnética.

⁵ Entropia é um termo derivado do grego e significa transformação, matematicamente esta grandeza Física é definida por $S = Q/T$, e sua variação por $\Delta S = \Delta Q/T$. A entropia de um sistema tende a aumentar com o recebimento de energia e diminuir com a perda de energia.

Ainda em 1906 Hermann Walther Nernst (1864-1941) propõe a terceira lei da termodinâmica afirmando não ser possível, por nenhuma série finita de processos, a temperatura de zero kelvin (o zero absoluto). Mesmo que se atinja um estado de ordem absoluta das partículas, isto não significará a inexistência absoluta de movimento, pois continuará existindo uma energia residual, que por não causar desordem, não tem como se transferir sob a forma de calor, e conseqüentemente, não será eliminada.

2.3.2 Contribuições da Teoria Eletromagnética

No século XIX, o estabelecimento da teoria eletromagnética abre espaço para considerações sobre a energia presente nos campos elétricos e magnéticos, e confirma a radiação como um novo processo de transferência de energia, sendo a luz uma onda eletromagnética. A conservação da energia no eletromagnetismo considerará que as variações de energia dos campos em uma determinada região do espaço será igual à radiação mais o trabalho realizado pelos campos sobre as cargas no interior desta região. Ou seja, um enunciado muito parecido com o da primeira lei da termodinâmica.

2.3.3 Contribuições da Física Moderna e Contemporânea

No início do século XX, o mundo microscópico começa a ser descortinado com maior profundidade, com isso se começa a questionar, por exemplo, de onde resulta a energia proveniente das reações nucleares? Há transformação de massa em energia ou elas continuam a se conservar de forma independente uma da outra?

A partir da Teoria da Relatividade de Albert Einstein (1879-1955), quando se introduz o conceito de equivalência entre massa e energia ($E = m.c^2$), passa-se a acrescentar a massa de repouso no somatório de energias do princípio de conservação, considerando este um princípio mais amplo que pressupõe o princípio de conservação da massa.

O advento da Mecânica Quântica, através das contribuições de Max Planck (1858-1947) e Einstein, introduz as idéias de quantização da energia ($E = h.f$), ressignificando novamente o conceito que passa a fazer parte, e de forma relevante, de um novo paradigma na ciência, o “quântico-relativista”.

Quisemos, até aqui, destacar a forma como se deu a emergência do conceito científico de energia, principalmente no que se refere às suas relações com fenômenos mecânicos e termodinâmicos. Ainda tentamos ilustrar como este conceito se manteve presente no arcabouço teórico da ciência mesmo após grandes reestruturações. O importante papel do conceito de energia na estrutura teórica de campos de estudo como o das ondas, da eletricidade, do magnetismo e da física moderna e contemporânea é inequívoco. Contudo, no lugar de aprofundarmos a análise destas contribuições vamos agora dar continuidade a este trabalho analisando um pouco melhor quais são as principais implicações para o ensino de ciências que este tipo de abordagem histórico-conceitual pode oferecer.

3. O SABER ESCOLAR

Assim, buscando fazer um contraponto com o que foi discutido na primeira parte deste texto, passaremos agora a avaliar algumas questões relativas à transposição didática deste saber científico para a educação escolar, ou seja, vamos avaliar quais são as principais características do saber escolar sobre o conceito de energia.

3.1 ENERGIA NO COTIDIANO

Energia é um termo amplamente utilizado na descrição e na explicação de fatos cotidianos, sendo um tema de grande relevância para a sociedade moderna. Notícias sobre construções de hidrelétricas e termelétricas, preço do petróleo, uso de fontes renováveis de energia, riscos da energia nuclear, são freqüentes nos meios de comunicação.

Sabemos que as principais fontes de energia em uso atualmente: movimento das águas e do ar, o calor produzido por reações químicas ou nucleares e a luz solar são todas conversíveis por meio de dispositivos adequados em energia elétrica. Esta por sua vez, depois de servir como “intermediária” até os locais de consumo, é convertida em outras “formas” desejadas. Outra maneira de transportar energia até seu local de consumo é através da energia química ou nuclear “armazenada” nos diversos combustíveis. Estes, da mesma forma que no caso da energia elétrica, deverão passar por um processo de transformação a fim de que possamos dispor da energia neles contida.

Assim, após ser produzida e transportada, a energia estará disponível para o consumo. Contudo, como nas sociedades modernas atuais o consumo é muito alto, passam a ser relevantes os problemas de ordem ambiental, social, econômica e geopolítica envolvidos em todas estas etapas. Desta forma, a experiência cotidiana nos revela que a energia, além de ser indispensável ao nosso atual modo de vida, precisa ser tratada de modo sustentável desde sua produção, até seu armazenamento, transporte e consumo.

Esta presença da energia em nosso dia-a-dia, indubitavelmente, nos leva a construir significados para ela. Se formos, por exemplo, consultar um dicionário⁶ encontraremos diversas acepções:

*“S.f. [Do gr. *enérgeia*, pelo lat. *energia*.]*

1. Maneira como se exerce uma força.

2. Força moral; firmeza: Notável a energia de seu caráter: Tem agido com grande energia.

3. Vigor, força: Com a idade, perdeu a energia.

4. Filos. Segundo Aristóteles (v. aristotélico), o exercício mesmo da atividade, em oposição à potência da atividade e, pois, à forma.

5. Fís. Propriedade de um sistema que lhe permite realizar trabalho. A energia pode ter várias formas (calorífica, cinética, elétrica, eletromagnética, mecânica, potencial, química, radiante), transformáveis umas nas outras, e cada uma capaz de provocar fenômenos bem determinados e característicos nos sistemas físicos. Em todas as transformações de energia há completa conservação dela, i. e., a energia não pode ser criada, mas apenas transformada (primeiro princípio da termodinâmica). A massa de um corpo pode se transformar em energia, e a energia sob forma radiante pode transformar-se em um corpúsculo com massa [símb.:E].”

⁶ Dicionário Aurélio Eletrônico, versão 3.0, 1999.

Percebe-se, portanto, que a definição Física de energia é apenas uma das muitas outras que os dicionários trazem, ou que estão presentes em determinada cultura. Além, é claro, da infinidade de definições associadas às adjetivações relativas ao termo: “Energia atômica, Energia nuclear, Energia térmica, Energia cinética, Energia de ativação, Energia de ligação, Energia de repouso, Energia interna, Energia livre, Energia magnética, Energia nuclear, Energia potencial, Energia radiante, Energia térmica, Energia vital, Energia eólica, etc”.

Contudo, a concepção Física do conceito de energia não é muito clara, ela está associada a um modelo conceitual compartilhado pela comunidade científica e este modelo, como vimos na breve história da gênese do conceito de energia, não é imutável, estático, ele evolui, passa por reelaborações que devem, por isso mesmo, serem contextualizadas historicamente. Antes de discutirmos algumas formas de expressar a concepção científica atualmente aceita, que como veremos, não tem uma versão única, consensual, seja na ciência Física ou na Física escolar, vamos antes destacar o papel das chamadas concepções alternativas dos estudantes a respeito da energia.

3.2 CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS

Ao longo da vida nos deparamos com experiências físicas, sociais e culturais que, segundo a concepção construtivista de aprendizagem, contribuem para a formação tanto de sua estrutura cognitiva quanto de sua ecologia conceitual⁷. Esta construção, contudo, não se estabelece dentro de uma lógica científica, ela está dominada pela percepção pessoal, por uma visão parcial que não busca explicações coerentes e rigorosas para os fatos do cotidiano, apenas explicações funcionais, utilitárias, sem maiores cuidados inclusive com a linguagem utilizada para expressá-las (Hierrezuelo e Montero, 1988).

Assim, quando pretendemos ensinar concepções científicas, temos de considerar uma ecologia conceitual específica de cada estudante, que por sua vez acabará tendo forte influência sobre a forma como eles aprenderão e utilizarão o saber científico (Moreira, 1983). As chamadas concepções alternativas, portanto, fazem parte desta ecologia, e podem ser identificadas com estruturas conceituais que podem preceder ou formar-se durante o processo de escolarização, levam a interpretações da realidade que não estão inteiramente de acordo com as concepções cientificamente aceitas, tornando-se motivo de confusão, e induzindo a erros na interpretação e solução de problemas da ciência.

Estas concepções alternativas caracterizam-se por serem superficiais e coerentes com o ponto de vista do estudante, explicando, equivocadamente, situações do dia-a-dia ou questões colocadas pela educação formal. Também são resistentes à mudança, manifestando-se mesmo após o ensino formal, revelando-se como estruturas conceituais que não estão isoladas e que podem estar explícitas ou implícitas para os estudantes.

⁷ Estrutura cognitiva diz respeito às condições do estudante em relação ao seu desenvolvimento mental. Segundo Piaget, um estudante de nível médio precisa estar em plenas condições de trabalhar no nível das operações formais para dominar conceitos abstratos como é o caso do conceito de energia. Ecologia conceitual (Hewson, 1993), compreende diferentes tipos de conhecimento e formas de pensamento que juntos formam o contexto no qual o sujeito que aprende interagirá com o novo conhecimento que se apresenta. A ecologia conceitual consiste em anomalias, analogias, metáforas, modelos, componentes epistemológicas (como a consistência e a capacidade de generalização), crenças metafísicas, conhecimentos específicos de uma determinada área (sejam compartilhados cientificamente ou não - concepções alternativas), a cultura, as tradições, compondo um todo que se “desenvolve” e “interage” continuamente.

A partir da década de 70, com muita força na década de 80 e entrando em declínio com o fim da década de 90, as pesquisas neste campo foram realizadas na tentativa de identificar e produzir a chamada mudança conceitual destas concepções alternativas para as científicas. A maioria destas pesquisas entendia ser a experiência que o estudante tem com o mundo físico a principal origem destas concepções, contudo, autores como Mortimer (2001) defendem a idéia de que a origem destas concepções é muito mais cultural do que da interação com o mundo físico. Não nos interessa aqui aprofundar este debate, mas sim posicionarmo-nos frente a ele para o caso específico das concepções alternativas sobre o conceito de energia.

Sendo o conceito de energia um conceito original, resultado de um processo de evolução da leitura de mundo feita pelas teorias científicas, e de uso bastante disseminado na sociedade atual, entendemos que os estudantes acabam por construir concepções alternativas sobre o mesmo não apenas por sua experiência direta com manifestações da energia no mundo físico, mas, principalmente, pela influência cultural da linguagem fortemente difundida pelos meios de comunicação em torno do conceito de energia. Desta forma, concordamos com Mortimer (2001, p.32) quando afirma que:

“...nos parece inútil o esforço em mudar concepções que têm raízes profundas nas nossas formas cotidianas de falar sobre o mundo e que são compartilhadas pelos indivíduos de uma mesma cultura.”

Admite-se, com isso, que a maior parte das concepções alternativas associadas ao conceito de energia deverá conviver com a concepção cientificamente aceita dentro da ecologia conceitual do estudante, de forma que no lugar de se buscar uma mudança conceitual, como se tentou durante muito tempo sem muito sucesso, deve-se buscar uma estratégia mais desenvolvimentista, procurando enriquecer as concepções alternativas de forma que gradualmente o estudante adquira condições de diferenciar melhor os significados (Moreira, 1994).

Hierrezuelo y Montero (1988, p.137) também se posicionam desta forma argumentando que não é tarefa do professor evitar que os estudantes utilizem o termo energia na linguagem cotidiana com o significado que tem nestas ocasiões, mas sim procurar fazer com que os mesmos saibam utilizá-la como conceito científico abstrato que pode ser útil na descrição de numerosos fenômenos físicos, químicos e biológicos.

O conceito de energia é muito abstrato e como já se disse, bastante difícil de se definir com precisão, a ponto de alguns autores preferirem não defini-lo, a não ser matematicamente, de forma bastante operacional, apreendendo-o através do estudo e quantificação de suas diversas manifestações. Porém, se não temos muita facilidade em afirmar o que é a energia, por outro lado temos boas condições de esclarecer aquilo que a energia não é. Por isso, passaremos a enumerar algumas concepções alternativas de energia, adaptadas das pesquisas com estudantes⁸, de forma a avaliar como elas podem influenciar a construção da concepção científica sobre energia.

⁸ Adaptado de Duit, 1984; Sevilla, 1986; Gallastégui y Lorenzo, 1993; Solomon, 1985; Watts, 1983; Hierrezuelo y Montero, 1988.

1. Energia como vida, ou como algumas manifestações específicas dos seres vivos.

Além de toda forma de vida ser identificada como possuindo energia, também qualidades humanas como força, vigor e disposição, também são associadas à energia. Por tratar-se de uma associação com claras referências à linguagem e à cultura, poderá ser diferenciada do conceito científico de energia sem necessariamente ser substituída por outra concepção. Usar o termo energia num contexto associado à vida ou a algumas emoções caracteriza uma metáfora válida se explicitamente identificada como metáfora.

2. Energia confundida com outras grandezas Físicas.

A associação energia-força talvez seja uma das mais presentes entre os estudantes. A própria história da ciência, como já vimos, nos mostra que o termo força durante muito tempo foi utilizado para representar aquilo que hoje denominamos de energia. A própria concepção cotidiana de energia, expressa nos dicionários, está claramente vinculada à idéia de força. Deve-se, portanto, dedicar-se bastante atenção a esta associação. Dar oportunidade ao estudante para que em diversos momentos ele possa refletir sobre a necessária diferenciação dos dois conceitos. Vejamos alguns argumentos e exemplos que podem contribuir para esta reflexão:

- destacar o caráter vetorial da força em comparação ao caráter escalar da energia, desta forma energia é um estado e força é uma ação, se diz: “eu tenho energia” e “eu fiz uma força”, e não o contrário;
- usando um exemplo do estudo de máquinas simples (alavancas ou roldanas), pode-se comprovar que é possível elevar um corpo fazendo uma força, por exemplo, seis vezes menor que o peso do mesmo. Para o estudante que confunde força com energia, pareceria estar sendo utilizada uma menor quantidade de energia nesta situação. Neste momento, se for evidenciada que a força menor só foi possível de ser feita às custas de um deslocamento seis vezes maior do que a elevação que se produziu no corpo, evidenciando que a energia utilizada não é proporcional apenas à força, mas ao produto da força pelo deslocamento a ela associado, mostramos a ele além da conservação da energia seu significado diferenciado do de força.

3. O movimento ou a atividade.

Esta concepção identifica a energia com tudo aquilo que demonstra atividade, movimento. Assim, por exemplo, um brinquedo de corda só é visto como possuindo energia quando está em movimento e nunca no momento em que lhe “dão corda”. Identificações da energia com algum tipo de exercício físico, algo que se percebe como possuindo movimento, devem ser trabalhadas de forma a aproximá-las do conceito de energia cinética, não esquecendo de se dar destaque ao caráter de latência da energia potencial.

4. Algo concreto, material.

Superada cientificamente com a queda da “teoria do calórico”, a concepção de energia como algo material vai desde a tradicional confusão com algum tipo de combustível até a identificação com as mais diversas coisas como o Sol, a água, o vento. Num claro processo de “coisificação” da

energia, isto é, de dar a este conceito abstrato um caráter concreto, os estudantes podem identificar como energia tanto a substância em si (a gasolina, o carvão, o álcool) como também darem materialidade a algo que estaria dentro destas substâncias, como se houvesse um fluido a ser liberado. Parece ser importante partir destes tipos de concepção para se introduzir o conceito de energia interna, energia térmica e energia química.

5. Alguns fenômenos físicos ou tecnológicos.

A associação da energia com alguns fenômenos físicos facilmente observados como a luz, o som, o calor, ou com as máquinas ou outros mecanismos tecnológicos que manifestem algum dos fenômenos físicos citados. Aqui se faz necessária a diferenciação entre a energia e o fenômeno a ela associado, ou ao dispositivo responsável pelos processos de conversão. Mas, de forma geral, o importante é poder partir destas concepções, para que possamos acompanhar o caminho a ser percorrido pelos estudantes até chegarem aos modelos cientificamente aceitos.

3.3 A DEFINIÇÃO DE ENERGIA

A educação científica tradicionalmente praticada na grande maioria das nossas salas de aula, embasada por uma visão propedêutica do ensino médio, tem um forte apelo matemático e conceitual, desenvolvendo o conteúdo como se todos os estudantes fossem se tornar especialistas e precisassem dominar os conceitos, princípios e leis comuns às disciplinas da área; especialmente quando se fala em ensino de Física. Identifica-se esta orientação curricular como tendo sido largamente disseminada a partir da década de 60, principalmente por teóricos americanos, referenciados em uma representação racional-cientificista de currículo.

Questiona-se o quanto esta abordagem realmente contribuiu para formar bons cientistas, pois a falta de interesse que os estudantes vêm demonstrando ter por este tipo ensino acaba por desarticular sua eventual motivação para buscar uma formação superior na área de ciências (Matthews, 1994; Solbes e Vilches, 1997).

No caso do ensino do conceito de energia esta abordagem assume um certo “reducionismo conceitual” ao apresentá-lo como uma idéia abstrata, inventada pelos cientistas para que lhes ajudasse na investigação quantitativa dos fenômenos (Hierrezuelo y Molina, 1990, p.23).

Apresentada desta forma, a concepção científica de energia parece ter pouco a ver com o dia-a-dia dos estudantes, de maneira que acabará sendo assumida apenas como uma ferramenta matemática, associada mais com o domínio de uma série de estratégias para resolução de problemas comuns à disciplina de Física, do que ao desenvolvimento de uma poderosa visão não só do mundo físico, mas também de questões tecnológicas, sociais, econômicas e geopolíticas relacionadas à forma como a energia participa da cultura e da sociedade atual.

Além de não oferecer uma visão qualitativa e descritiva do conceito, a abordagem tradicional não evita que os estudantes construam suas próprias visões sobre o mesmo. Sem a necessária reflexão mais aprofundada eles ficam sujeitos a uma provável utilização de diferentes concepções alternativas, que, como vimos, acabarão por constituir-se em obstáculo para o uso adequado do saber científico.

Esta crítica vem se fortalecendo não só no meio acadêmico, através da pesquisa em Ensino de Ciências, mas também no meio jurídico, através da nova legislação educacional (Brasil, 1999, 2002, 2004). Como alternativa apresenta-se uma abordagem mais abrangente, com vistas à preparação não só para os estudos posteriores, mas também para o mundo do trabalho e a construção da cidadania. Uma educação que proporcione uma visão de ciência em seu contexto histórico, que preste mais atenção a aspectos relacionados à Ciência, à Tecnologia, à Sociedade e ao Ambiente (CTSA), não se limitando apenas aos aspectos conceituais e formais.

Busca-se, portanto, superar o “reducionismo conceitual”, e alcançar uma prática curricular no ensino de ciências que se aproxime mais do contexto de vida do estudante, de seu conhecimento prévio, agregando aos aspectos conceituais e formais, aspectos procedimentais e atitudinais, oferecendo mais oportunidades e apoio para a reflexão não só sobre o significado, mas também sobre a relevância destes conceitos.

Como alternativa, portanto, alguns autores defendem que se deva partir de uma definição descritiva de energia, evitando as definições formais, operacionais, para gradualmente ir agregando novos atributos. Hierrezuelo e Molina (1990, p.23) adotam este ponto de vista e sugerem a seguinte definição como uma primeira aproximação ao conceito de energia:

“La energía es una propiedad o atributo de todo cuerpo o sistema material en virtud de la cual éste puede transformarse, modificando su situación o estado, así como actuar sobre otros originando en ellos procesos de transformación.”⁹

A partir de uma definição como esta podemos desenvolver um tratamento mais abrangente da energia, não se limitando apenas ao campo da mecânica, quando se apresenta o conceito de energia como “a capacidade de realizar trabalho”, mas atendendo também o campo da termodinâmica incluindo os processos associados ao calor. Temos ainda que considerar, no entanto, as limitações deste tipo de definição à medida que sugere que “a capacidade de produzir mudanças” é algo que se conserva. A capacidade de produzir mudanças “macroscópicas” não é algo que se conserve, assim, por exemplo, se considerarmos a energia associada ao movimento de um corpo que ao colidir com o solo desencadeia uma série de conversões (cinética para sonora, térmica, elástica, etc.) de forma que apesar da energia se conservar a capacidade do corpo em realizar trabalho (macroscópico) não se conservará.

Outro exemplo de definição descritiva para o conceito de energia foi sugerido por Michinel y D’Alessandro (1994, p.370):

“Energía es una magnitud Física que se presenta bajo diversas formas, está involucrada en todos los procesos de cambio de estado, se transforma y se transmite, depende del sistema de referencia y fijado éste se conserva.”¹⁰

Definições como estas podem não ser unanimidade entre físicos e professores, mas permitem interpretações mais ricas, que talvez estimulem mais a reflexão, permitindo um horizonte mais amplo para o conceito. Definições mais descritivas, principalmente para uma primeira aproximação do conceito de energia talvez possam permitir um maior “diálogo” entre as chamadas concepções alternativas dos estudantes e a concepção científica que a educação escolar deseja apresentar.

⁹ A energia é uma propriedade ou atributo de todo corpo ou sistema material em virtude da qual este pode transformar-se, modificando sua situação ou estado, assim como atuar sobre outros originando neles processos de transformação.

¹⁰ Energia é uma magnitud Física que se apresenta sob diversas formas, está envolvida em todos os processos de mudanças de estado, se transforma e se transmite, depende do sistema de referência e, fixado este, se conserva.

3.4 TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

Das diversas propostas de análise e planejamento curricular encontradas na literatura referentes à pesquisa em Ensino de Física, nos basearemos em quatro trabalhos para fazer uma síntese de algumas propostas de introdução do conceito de energia no ensino médio: Solbes e Tarín, 1998; Doménech et. al., 2003; Hierrezuelo e Montero, 1988 e Moreira, 1999.

Considerando que devemos, inicialmente, buscar oferecer condições frutíferas para futuras retomadas o conceito de energia, entendemos que algumas orientações básicas devem direcionar o planejamento curricular que introduz este conceito no ensino médio:

1. A energia pode ser vista como uma propriedade que expressa as alterações ocorridas nos sistemas devido aos processos de transferência e transformação realizados através de interações

As mudanças pelas quais passa um determinado sistema estão diretamente relacionadas com as interações que envolvem o mesmo, nestas mudanças manifesta-se uma propriedade comum a qualquer tipo de sistema denominada energia. As interações se referem às forças fundamentais da natureza (gravitacional, eletromagnética, forte e fraca). A energia de modo geral se refere à configuração (parte potencial) e à movimentação (parte cinética) de qualquer sistema, tanto do ponto de vista macroscópico, quanto microscópico. Esta configuração e movimentação serão alteradas durante as mudanças. Assim, as transferências ou transformações promovidas pelas interações (forças) podem ser analisadas observando-se as modificações ocorridas na energia (configuração-movimentação) dos sistemas.

2. Quatro formas básicas da energia podem se manifestar nos mais diversos tipos de sistemas

O conceito de energia admite quatro formas básicas: a cinética, a potencial, a da massa (energia de repouso) e a dos campos (gravitacional e eletromagnético) (Solbes e Tarín, 1998, p.391); apesar de que talvez as duas últimas possam ser incorporadas pelas duas primeiras. Termos como: energia química, energia elétrica, energia mecânica, etc., não devem ser entendidos como novas formas de energia, mas sim como manifestações das formas básicas em diferentes sistemas. Havendo, inclusive, a possibilidade de conversão entre estes diferentes tipos de manifestação da energia, conforme a possibilidade de interação entre as diferentes configurações-movimentações possíveis de serem assumidas pelos sistemas.

3. Energia com uma grandeza sistêmica e relativa

É bastante comum o equívoco de se falar em uma “energia potencial da pedra”, e não na “energia potencial do sistema pedra-Terra”. Nesta situação o sistema a ser analisado não se resume apenas à pedra, mas envolve a pedra e a Terra, pois a energia potencial gravitacional está relacionada a uma interação gravitacional entre estas duas massas.

Da mesma forma, a energia no que diz respeito à movimentação é relativa. Ao nos referirmos à energia cinética precisamos ter claro seu caráter relativo, não há sentido em falar da energia cinética sem previamente estabelecermos um sistema de referência.

Quando não deixamos claro este caráter sistêmico e relativo da energia, acabamos por dar oportunidade ao desenvolvimento de concepções sobre a energia que a associam a um corpo isolado. Por trás de tudo isto está a idéia equivocada de se querer interpretar as medidas de energia como se fossem valores absolutos, sem ter claro que só podemos medir a energia quando ocorre alguma variação em seu valor, justamente devido à ocorrência de algum processo de transformação ou transferência.

4. A energia e seu relacionamento com os conceitos de calor e trabalho

Sabemos que para a transferência de energia será necessária “alguma coisa”, seja esta coisa uma onda, uma partícula ou um sistema de partículas, e que esta transferência será denominada de trabalho - se envolver interações macroscópicas - ou de calor - se envolver interações microscópicas (incluindo aqui a radiação eletromagnética como uma forma de calor).

Sabemos também que a energia é uma “função de estado”, e o calor e o trabalho são “processos” que envolvem mudanças de estado. Sabe-se ainda que enquanto a energia se conserva, o calor e o trabalho não se conservam (Michinel e D’Alessandro, 1994, p.373). Assim, após uma primeira aproximação do conceito de energia, é preciso que o mesmo seja diferenciado e integrado com os conceitos de trabalho e calor.

Apesar da maioria dos livros de texto introduzirem o conceito de trabalho antes do conceito de energia, sugerimos aqui se apresentar o conceito de trabalho após uma primeira aproximação qualitativa do conceito de energia cinética. Esta opção por definições qualitativas visa estabelecer uma linguagem menos abstrata e formal que faça mais sentido para os estudantes e lhes permita, inclusive, iniciar uma diferenciação entre o conceito científico e o conceito cotidiano de trabalho. As pesquisas sobre concepções alternativas (Hierrezuelo y Montero, 1988; Driver y Warrington, 1985) mostram que os estudantes tendem a associar o conceito de trabalho à idéia de esforço físico, com uma clara influência da linguagem cotidiana. Sugere-se, portanto, buscar uma diferenciação entre esta linguagem cotidiana e a científica. Apresentá-lo de forma operacional, a partir de sua definição matemática $W = F \cdot d \cdot \cos\theta$, e geralmente antes do conceito de energia, parece não favorecer esta diferenciação.

Alguns autores (Doménech, 2003) sugerem que se utilize também para o conceito de trabalho uma definição mais qualitativa do tipo: “trabalho corresponde ao ato de transformar a matéria aplicando forças”, esclarecendo seu caráter de processo de transferência de energia e não o limitando apenas às situações específicas da mecânica.

No caso do conceito de calor, considerando uma perspectiva de aprendizagem que busque a construção do conhecimento por parte do estudante, temos de dar uma atenção muito especial às concepções alternativas associadas ao termo. A confusão entre calor e temperatura, a concepção de calor como um fluido material e a concepção de calor como uma forma de energia, desempenham um papel fundamental no processo de ensino-aprendizagem. Sugere-se, portanto, que partindo destas concepções alternativas, se deva procurar levar o estudante a perceber como, no processo de construção de conhecimento científico, avançamos da “teoria do calórico” até a equivalência entre calor e trabalho da termodinâmica com um modelo “cinético-molecular”.

Doménech (2003, p.298) esclarece que tanto o calor quanto o trabalho não são formas de energia, mas sim processos de transferência de energia equivalentes, só que um em nível macroscópico e o outro em um nível microscópico, respectivamente. Entendendo o calor a partir da teoria cinético-molecular que o considera uma grandeza que representa o processo de transferência de energia resultante do conjunto de um grande número de (micro)trabalhos realizados em nível microscópico como consequência das (micro)forças exteriores que atuam sobre as partículas do sistema interagente.

Afirmações como a de que devido ao atrito a energia cinética se transforma em calor, ou que parte da energia elétrica se transforma em calor durante sua transmissão, revelam um uso inadequado da linguagem que tende a gerar confusão para o estudante. Estabelecer que o calor é um processo de transferência de energia não é suficiente, é preciso buscar uma linguagem científica adequada a esta visão.

Assim, o uso de algumas expressões deveria ser revisto, justamente por serem confusas:

- a) Fluxo de calor ($Q/\Delta T$) – se o calor é um processo de transferência de energia, enquanto processo ele não pode fluir. Deve-se, portanto, adotar a expressão fluxo de energia térmica, ou taxa de transferência de energia térmica para designar tal grandeza.
- b) Formas de propagação do calor (condução, convecção e irradiação) – novamente trata-se o calor como uma forma de energia. Deve-se usar a denominação: formas de propagação (ou transferência) de energia térmica, ou simplesmente formas de calor.
- c) Calor cedido ou absorvido – novamente, o que se cede ou se absorve não é o calor e sim a energia térmica.
- d) Energia térmica é uma parte da energia interna que depende exclusivamente da temperatura do sistema, identificada pela energia cinética média das partículas do sistema ou, para um gás ideal, pela expressão $E=3KT/2$ (Michinel e D’Alessandro, 1994, p.372)
- e) Energia interna não é sinônimo de energia térmica, pois ela é resultado de uma componente cinética, associada à parte térmica, mas também a uma parte potencial, associada às ligações entre as partículas.

5. Energia e os princípios de conservação e degradação

A energia pode se apresentar sob diversas formas, sendo que estas estão diretamente associadas ao tipo de interação existente no sistema. As transformações existentes entre estas diferentes formas de energia ocorrerão, justamente, através de alterações nestas diferentes formas de interação. Durante estas transformações vale o “Princípio de Conservação da Energia” (1ª Lei da Termodinâmica) que estabelece que “a energia *total* de um sistema *isolado* permanece constante”, ou seja, a energia se conserva. A energia total, portanto, inclui todas as formas de energia, principalmente a energia térmica; o que muitas vezes não é bem esclarecido parecendo ser o princípio de conservação válido apenas para fenômenos mecânicos onde não exista atrito (dissipação e degradação da energia).

Deve ser esclarecido para o estudante que o surgimento do princípio de conservação deve-se mais às contribuições da termodinâmica do que da mecânica, ou melhor, da integração entre o

estudo do movimento e do calor (como já discutimos anteriormente). E que o princípio de conservação é geral, válido para todos os campos da Física, não se restringindo à mecânica.

Solomon (1985) propõe uma forma mais afirmativa para a expressão do Princípio de Conservação de Energia:

“En todas las transformaciones energéticas que ocurren en un sistema aislado, cambia la forma en la que se presenta la energía pero no cambia la cantidad total de energía, es decir, la energía antes de la transformación es la misma que hay después de la transformación, sólo que estará localizada en distintas partes.”¹¹

Alerta-se ainda para uma interpretação incorreta da primeira lei da termodinâmica que considera o calor e o trabalho como formas de energia e não como possíveis processos que poderão produzir variações de energia. Assim, na equação $\Delta E = Q - W$, o trabalho e o calor não indicam o valor da energia de um dado sistema, e sim que tanto o trabalho quanto o calor são capazes de produzir variações no valor da energia de um dado sistema (Michinel y D’Alessandro, 1994, p.376)

Deve ficar claro, também, que mesmo que a energia total de um sistema permaneça constante, sempre que este sistema sofrer algum tipo de mudança deverão ocorrer transformações ou transferências de energia em seu interior. Diante disto, talvez seja mais adequado apresentarmos a expressão $\Delta E = 0$ ou $E = \text{constante}$ (para um sistema isolado) de maneira mais completa, deixando claro o envolvimento de diversas variações internas ao sistema das diferentes formas de energia, de forma que a variação total seja nula:

$$\Delta E_c + \Delta E_{p,\text{grav}} + \Delta E_{p,\text{elétr.}} + \Delta E_{p,\text{elást.}} + \Delta E_{\text{interna...}} = 0$$

Como consequência da idéia de que as transformações pelas quais passa um sistema deverão ocorrer de forma que sua energia total se conserve, surge a necessidade de se discutir a forma pela qual a energia, apesar de conservada, pode assumir formas que não são mais úteis, ou seja, a maneira como a energia se degrada.

Neste momento parece ser adequada a introdução do conceito de entropia (S) associando-o, por exemplo, à impossibilidade de um sistema converter completamente sua energia térmica em trabalho. Ou seja, “é impossível construir uma máquina térmica que, funcionando ciclicamente, converta em trabalho toda a energia recebida através do calor que recebe de uma fonte térmica” (2ª Lei da Termodinâmica). Assim, a energia convertida em trabalho é energia útil e a energia cedida ao sistema responsável pela conversão é inútil, isto é degradada.

Segundo, Candel et. al. (1984, p.201) podemos identificar o aumento da entropia de um sistema que evolui de forma isolada com a diminuição da quantidade de energia útil, ou seja, com a degradação. A idéia de degradação contribui para ressignificar à idéia de consumo, reforçando a concepção de que a energia não pode nem ser criada nem destruída.

A idéia de entropia traz consigo outra consideração importante, qual seja, a de que as diversas formas de energia não são equivalentes. Ou seja, sabemos ser possível a transformação total da energia mecânica em energia térmica, contudo, o processo inverso, de térmica em mecânica nunca terá rendimento máximo. Assim, temos energias com qualidades diferentes, a energia

¹¹ Em todas as transformações energéticas que ocorrem em um sistema isolado, muda a forma pela qual se apresenta a energia mas não muda a quantidade total de energia, quer dizer, a energia antes da transformação é a mesma que existe depois da transformação, só que estará localizada em diferentes partes.

potencial gravitacional é de melhor qualidade, permite mais transformações do que a energia térmica, por exemplo. Podemos afirmar que o grau de entropia aumenta da primeira para a segunda.

Tabela 2 – Ordem de mérito de algumas manifestações da energia segundo a entropia associada a cada unidade energética. Sendo a entropia ($\Delta S = \Delta Q/T$) uma grandeza que varia com o inverso da temperatura, como nas três primeiras formas de energia não existe uma temperatura associada a entropia para elas é zero. A energia geralmente fluirá das formas superiores de energia para as inferiores (adaptado de Dyson, 1975).

FORMA DE ENERGIA	ENTROPIA POR UNIDADE ENERGÉTICA (eV^{-1})
Gravitacional	0
Rotação planetária	0
Translação orbital	0
Reações nucleares	10^{-6}
Interna das estrelas	10^{-3}
Luz solar	1
Reações químicas	1 -10
Radiação térmica da Terra	10 -100
Radiação cósmica de microondas	10^4

Candel et. al. (1984) ainda argumentam que esta interpretação da entropia associada com a degradação da energia é mais adequada que outra muito comum que é de se associar entropia com aumento de desordem. É bastante comum no ensino médio introduzir-se o conceito de entropia associando-o com o grau de desordem em que se encontra o sistema, de maneira que, para um sistema isolado, apesar da energia total permanecer constante, sua entropia cresce, ou seja, o nível de desordem em que se encontram as partículas que constituem o sistema aumenta. Argumenta-se que os sistemas evoluem para estados mais prováveis de configuração, que de forma geral são configurações mais desordenadas que as anteriores. Estas configurações mais desordenadas que o sistema vai assumindo diminuem as possibilidades de se realizar novas transformações (Moreira, 1999). No entanto, existem alguns exemplos (cristalização espontânea de líquidos e misturas de RNA com algumas proteínas que permitem a formação espontânea de alguns tipos de vírus) em que aparentemente houve um aumento da ordem no sistema. Isto se deve ao fato da entropia possuir duas componentes: uma espacial outra energética, sendo que normalmente na metáfora da entropia com a desordem se destaca apenas uma destas componentes, a espacial.

Candel et.al (1984, p.200) destacam que quando um sistema isolado evolui com aumento da entropia, este aumento provém de dois termos: de uma entropia “configuracional” (S_c) e de uma entropia “térmica” (S_t). Cada uma destas pode aumentar ou diminuir, mas a entropia total aumenta $dS = dS_c + dS_t$. Podem ocorrer, portanto, processos que se traduzam em uma ordenação espacial do sistema as expensas de uma ampliação da distribuição energética.

Doménech et. al (2003, p.302) destacam ainda o cuidado que se deve ter em considerar que o aumento de entropia diminui a possibilidade de transformações macroscópicas, e apenas elas, porque, microscopicamente, as interações que mantêm a energia total constante continuarão se produzindo.

Conclui-se que serão duas as condições que um sistema isolado precisa satisfazer para que ocorram mudanças: primeira, é a de que deverão ocorrer transferências ou transformações de energia entre partes do sistema de forma que as mesmas satisfaçam globalmente o princípio de conservação, e, segunda, é a de que será necessário que a energia existente não esteja distribuída de maneira muito uniforme, havendo possibilidades para que o sistema evolua para configurações mais uniformes (de maior entropia), mesmo que a entropia de algumas partes do sistema ainda venha a diminuir (Doménech et. al., 2003, p.303).

Esperamos, portanto, que estas cinco orientações que agora apresentamos associadas com as demais considerações já foram expostas neste texto, possam contribuir não só para uma nova estratégia de introdução do conceito de energia, mas também para chamar a atenção para a relevância que a temática da energia deve ter para o ensino de física.

Acreditamos que um planejamento curricular mais contextualizado, tanto historicamente quanto com o dia-a-dia dos estudantes, seja fundamental para darmos maior significado e relevância aos tópicos a serem trabalhados na educação básica. No que se refere ao 1º ano do ensino médio entendemos ser necessária uma maior atenção aos tópicos referentes ao ensino do conceito de energia de forma que se aproveite mais seu potencial interdisciplinar e seja melhor integrado com as demais disciplinas, tanto na área de ciências (Química e Biologia) como de humanidades (História e Geografia).

REFERÊNCIAS

- AUTH, M. A.; ANGOTTI, J. A. P. O processo de ensino aprendizagem com aporte do desenvolvimento histórico de universais: a temática das combustões. In: PIETROCOLA, M. (Org). **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001. p. 197-232.
- BÉCU-ROBINAULT, K.; TIBERGUIEN, A. Integrating experiments into the teaching of energy. **International Journal of Science Education**, London, v. 20, n. 1, p. 99-114, Jan. 1998.
- BRASIL. Departamento de Políticas de Ensino Médio (Física). **Orientações curriculares do ensino médio**. Brasília: SEB/MEC, 2004.
- BRASIL. **Orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais: ensino médio (PCN+)**. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002.
- BRASIL. **Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio (PCNEM)**. Brasília: MEC/SEMTEC, 1999. 360p.
- CANDEL, A. R.; SATOCA, J. V.; SOLER, J. B. L. Interpretación errónea del concepto de entropía (revisión del concepto de orden). **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 15, n. 2, p. 198-201, jun. 1984.
- COTIGNOLA, M. I. et al. Difficulties in learning thermodynamic concepts: are they linked to the historical development of this field? **Science & Education**, Dordrecht, v. 11, n. 3, p. 279-291, May 2002.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P. **Física**. São Paulo: Cortez, 1992. (Magistério 2º grau: série formação geral).
- DOMÉNECH, J. L. et al. La enseñanza de la energía: una propuesta de debate para un replanteamiento global. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 20, n. 3, p. 285-311, dez. 2003.
- DRIVER, R.; WARRINGTON, L. Students' use of the principle of energy conservation in problem situations. **Physics Education**, London, v. 20, n. 4, p.171-176, July 1985.
- DUIT, R. Learning the energy concept in school: empirical results from the Philippines and west Germany. **Physics Education**, London, v. 19, n. 2, p. 59-66, Mar. 1984.
- DYSON, F. J. La energía en el universo. In: SCIENTIFIC American, **La energía**. Madri: Aliança Editorial, 1975.
- FERREIRA, A. B. de H. **Novo Aurélio século XXI: o dicionário da língua portuguesa: dicionário eletrônico. Versão 3.0**. São Paulo: Nova Fronteira, 1999. 1 CD-ROM.
- GASPAR, A. **Física**. São Paulo: Ed. Atica, 2001. 3v.
- HEWSON, P.W. El cambio conceptual en la enseñanza de las ciencias y la formación de profesores. In: DIEZ años de investigación e innovación en la enseñanza de las ciencias (CIDE), Madri: [s. n.], 1993. p. 332-351.
- HIERREZUELO, J. M.; MOLINA, E. G. Una propuesta para la introducción del concepto de energía en el bachillerato. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 8, n. 1, p. 23-30, 1990.
- HIERREZUELO, J. M; MONTERO, A. M. **La ciencia de los alumnos: su utilización en la didáctica de la física y química**. Barcelona: Ed. Laia, 1988.

- KUHN, T. **A tensão essencial**. Lisboa: Edições 70, 1977.
- MATTHEWS, M. Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 12, n. 2, p. 255-277, 1994.
- MICHINEL, J. L. M.; D'ALESSANDRO, A. M. El concepto de energía en los libros de textos: de las concepciones previas a la propuesta de un nuevo sublenguaje. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 12, n. 3, p. 369-380, nov. 1994.
- MOREIRA, M. A. Cambio conceptual: crítica a modelos actuales y una propuesta a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. In: INTERNATIONAL CONFERENCE SCIENCE AND MATHEMATICS EDUCATION FOR THE THE 21ST CENTURY: towards innovatory approaches, 1994, Concepcion, Chile. **Proceedings of the ... [Conception]**: Universidad de Concepcion, 1994. p. 81-92.
- MOREIRA, M. A. **Energia, entropia e irreversibilidade**. Porto Alegre, Instituto de Física UFRGS, 1999. (Textos de apoio ao professor de física, n. 9).
- MOREIRA, M. A. **Uma abordagem cognitivista ao ensino de física**. Porto Alegre, Ed. Universidade UFRGS, 1983.
- MORTIMER, E. F. Uma agenda para a pesquisa em educação em ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa e Educação em Ciências**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 25-35, jan./abr. 2002.
- PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da história da ciência. In: PIETROCOLA, M. (Org.). **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001. p.151-170.
- PÉREZ-LANDEZÁBAL, M. C. et al. La energía como núcleo en el diseño curricular de la física. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 13, n. 1, p. 55-65, enero 1995.
- PONCZEC, R. L. A polêmica entre Leibniz e os cartesianos: mv ou mv^2 ? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n. 3, p. 336-347, dez. 2000.
- ROCHA, J. F. (Org.). **Origens e evolução das idéias da física**. Salvador: EDUFBA, 2002.
- SEVILLA, C. S. Reflexiones en torno al concepto de energía: implicaciones curriculares. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 4, n. 3, p. 247-252, nov. 1986.
- SNEDDEN, R. **Energia**. São Paulo: Moderna, 1996. (Coleção polêmica, série horizonte da ciência)
- SOLBES, J.; TARÍN, F. Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 16, n. 3, p. 387-397, nov. 1998.
- SOLBES, J.; TARÍN, F. La conservación de la energía: un principio de toda la física: una propuesta y unos resultados. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 22, n. 2, p. 185-194, jun. 2004.
- SOLBES, J.; VILCHES, A. STS interactions and the teaching of physics and chemistry. **Science Education**, New York, v. 81, n. 4, p. 377-386, July 1997.
- SOLOMON, J. Teaching the conservation of energy. **Physics Education**, London, v. 20, n. 4, p. 165-170, July 1985.
- WATTS, M. Some alternative views of energy. **Physics Education**, London, v. 18, n. 5, p. 213-220, Sept. 1983.
- WILSON, M. **A energia**. Rio de Janeiro: José Olympio, 1968. 200p.

Instituto de Física – UFRGS

MPEF – Mestrado Profissional em Ensino de Física

Textos de Apoio ao Professor de Física

- n° 1: Um Programa de Atividades sobre Tópicos de Física para a 8ª Série do 1º Grau.
Axt., R., Steffani, M.H. e Guimarães, V. H., 1990.
- n° 2: Radioatividade.
Brückmann, M.E. e Fries, S.G., 1991.
- n° 3: Mapas Conceituais no Ensino de Física
Moreira, M.A, 1992.
- n° 4: Um Laboratório de Física para Ensino Médio
Axt, R e Brückmann, M.E., 1993.
- n° 5: Física para Secundaristas – Fenômenos Mecânicos e Térmicos.
Axt, R. e Alves, V.M., 1994.
- n° 6: Física para Secundaristas – Eletromagnetismo e Óptica.
Axt, R e Alves, V.M., 1995.
- n° 7: Diagramas V no Ensino de Física.
Moreira, M.A, 1996.
- n° 8: Supercondutividade – Uma proposta de inserção no Ensino Médio.
Ostermann, F., Ferreira, L.M. e Cavalcanti, C.H., 1997.
- n° 9: Energia, entropia e irreversibilidade.
Moreira, M.A. 1998.
- n° 10: Teorias construtivistas.
Moreira, M.A, e Ostermann, F., 1999.
- n° 11: Teoria da relatividade especial.
Ricci, T.F., 2000.
- n° 12: Partículas elementares e interações fundamentais.
Ostermann, F., 2001.
- n° 13: Introdução à Mecânica Quântica. Notas de curso.
Greca, I.M. e Herscovitz, V. E., 2002.
- n° 14: Uma introdução conceitual à Mecânica Quântica para professores do ensino médio.
Ricci, T. F. e Ostermann, F., 2003.
- n° 15: O quarto estado da matéria.
Ziebell, L. F. 2004.
- v. 16 n.1: Atividades experimentais de Física para crianças de 7 a 10 anos de idade.
Schroeder, C. 2005.
- v. 16 n. 2: O microcomputador como instrumento de medida no laboratório didático de Física.
Silva, L. F. da e Veit, E. A., 2005.
- v. 16 n. 3: Epistemologias do século XX
Massoni, N. T. 2005.
- v. 16 n. 4: Atividades Ciências para a 8ª série do Ensino Fundamental: Astronomia, Luz e Cores.
Mees, A. A. Andrade, C.T.J. e Steffani, M.H. 2005.
- v. 16 n. 5: Relatividade: a passagem do enfoque galileano para a visão de Einstein.
Wolff, J.F.S. e Mors, P. 2005.

- v. 16, n. 6, Trabalhos trimestrais: pequenos projetos de pesquisa no ensino de Física
Mützenberg, L. A., 2006
- v. 17, n. 1 Circuitos elétricos: novas e velhas tecnologias como facilitadoras de uma aprendizagem significativa no nível médio
Moraes, M. B. Dos S. A., Ribeiro-Teixeira, R. M.
- v. 17, n. 2 A estratégia dos projetos didáticos no ensino de física na educação de jovens e adultos (EJA)
Espindola, K. E Moreira, M. A. , 2006
- v. 17, n.3 Introdução ao conceito de energia
Bucussi, A. A
- v. 17, n.4 Roteiros para atividades experimentais de Física para crianças de seis anos de idade
Grala, R. M