

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
DEPARTAMENTO DE FÍSICA TEÓRICA E EXPERIMENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS NATURAIS E
MATEMÁTICA

UMA ABORDAGEM PARA O ENSINO DO CONCEITO DE ENERGIA
E DE SUA CONSERVAÇÃO

ANTONIO MOREIRA BARROS

NATAL

2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
DEPARTAMENTO DE FÍSICA TEÓRICA E EXPERIMENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS NATURAIS E
MATEMÁTICA

UMA ABORDAGEM PARA O ENSINO DO CONCEITO DE ENERGIA
E DE SUA CONSERVAÇÃO

ANTONIO MOREIRA BARROS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências – Modalidade Física.

Orientador: Prof. Dr. Marcílio Colombo Oliveros

ANTONIO MOREIRA BARROS

**UMA ABORDAGEM PARA O ENSINO DO CONCEITO DE ENERGIA
E DE SUA CONSERVAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências – Modalidade Física.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

**Professor Dr. Marcílio Colombo Oliveros – Orientador
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN**

**Professora Dra. Auta Stella de Medeiros Germano
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN**

**Professor Dr. José Ronaldo Pereira da Silva
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN**

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / SISBI / Biblioteca Setorial
Especializada do Centro de Ciências Exatas e da Terra – CCET.

Barros, Antonio Moreira.

Uma abordagem para o ensino do conceito de energia e de sua
conservação / Antonio Moreira Barros. – Natal, 2006.

168 f. : il.

Orientador: Marcílio Colombo Oliveros

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro
de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências
Naturais e Matemática - Modalidade Física.

1. Ensino de física - Dissertação. 2. Energia – Dissertação. 3. Conservação de
energia – Dissertação. 4. Degradação de energia - Dissertação I. Oliveiros, Marcílio
Colombo. II. Título.

AGRADECIMENTOS

O trabalho de pesquisa e reflexão teórico aqui apresentado é resultado da colaboração e companheirismo de muitos que direta ou indiretamente participaram de sua construção. Pela contribuição técnica, pessoal e profissional meus agradecimentos especiais:

Ao meu orientador professor Marcílio Colombo Oliveros pelo apoio intelectual no processo de orientação desta dissertação, pelos questionamentos, sugestões e caminhos apontados, e acima de tudo, pela confiança e amizade;

Aos colegas de trabalho do CEFETRN em especial aos professores da Gerência de Formação Educacional – GEFOR que souberam compreender a minha ausência nas reuniões pedagógicas;

Ao professor Zanoni Tadeu, a sua filha Flora pela colaboração;

Ao professor Tércio Gonzaga que na qualidade de Gerente de Ensino atendeu meus pedidos possibilitando minha plena dedicação ao trabalho de pesquisa;

Aos Professores Araújo, Leonel e Calistrato por suas sugestões e comentários que apontaram caminhos novos;

Aos alunos da turma do primeiro ano do ensino médio do CEFETRN – 1.302.1 – atores principais de todo o processo que muito contribuíram para este trabalho;

Aos integrantes do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática que partilharam as angústias e descobertas apoiando o crescimento mútuo, companheiros e companheiras com quem tive o privilégio de dedicar parte da minha vida;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, que pelo excelente trabalho desenvolvido vem mostrando o rumo certo para desenvolvimento do ensino de ciências no Brasil;

À minha família, pelo apoio e manifestação de carinho fraterno souberam superar a minha ausência;

Em especial à minha companheira Maria pela sabedoria e tolerância em ficar ao meu lado durante todo o processo de construção deste trabalho.

A todos, registro meu carinho e respeito dizendo o quão importante foi conhecê-los e amá-los.

RESUMO

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN+) destacam a importância do conhecimento do conceito de energia, de sua conservação e de sua degradação. O objetivo deste trabalho é propor uma metodologia e produzir material didático para o ensino desses conceitos no Nível Médio. Na primeira etapa fizemos um amplo levantamento bibliográfico coletando artigos e livros que nos permitiram detectar as preocupações com o ensino – aprendizagem do conceito de energia e outros correlacionados. Na análise destes trabalhos destacamos alguns pontos importantes para o processo ensino aprendizagem como as concepções alternativas ou prévias, a necessidade de se trabalhar com sistemas, tratar a energia como algo abstrato. Identificamos também alguns problemas como os diferentes usos da palavra energia e de conceitos correlacionados com trabalho e calor, a consideração de diferentes formas de energia, tratamento da energia como algo material etc. Neste trabalho apresentamos uma proposta pedagógica baseada numa abordagem problematizadora e em fundamentos da aprendizagem por construção do conhecimento por parte do aluno levando à sua participação ativa através de um estímulo à reflexão. Iniciamos fazendo um levantamento de algumas concepções prévias dos alunos sendo que isso levou a uma discussão e colocação do problema. Agindo assim deixamos o ensino tradicional no sentido de o aluno somente receber a informação sem refletir sobre ela. Na seqüência foi feita uma revisão de alguns conceitos de Mecânica Clássica no sentido de reafirmar algumas idéias que serão importantes na compreensão do sistema Terra+bola, utilizado como sistema básico e da vivência do aluno para colocação das idéias sobre energia, conservação e degradação. A seguir foram apresentadas as idéias de modelo e sua importância na compreensão da descrição da natureza, através de uma atividade com molas. Ainda como fundamentação da metodologia foi realizada uma atividade com bolas de gude onde seguimos as idéias colocadas por Feynman sobre como compreender o conceito de energia. Tal atividade também foi importante no estabelecimento de conceitos como sistema aberto ou fechado e de algoritmos para descrever situações às quais não temos acesso direto. A partir disso aplicamos essas idéias a sistemas como Terra+bola e massa+mola+superfície, desenvolvendo argumentos e algoritmos para descrever os seus comportamentos em termos de energia, de sua conservação e degradação. A generalização dos conceitos em estudo – energia, conservação, degradação – foi realizado considerando-se outras situações na natureza onde os sistemas podem interagir, tais como por diferença de temperatura, radiação eletromagnética, e outros. Foram realizadas duas atividades: aquecimento da água por radiação solar e aquecimento da água por diferença de temperatura. Vários exemplos foram considerados descrevendo várias situações na natureza utilizando-se os conceitos apresentados. Para implementação da metodologia escolhida foram preparados textos com informações cadenciadas para levar os alunos a conflitos entre as concepções prévias e conhecimento científico. Na aplicação das atividades os alunos foram divididos em grupos para responder às perguntas à medida que avançavam nas leituras. Ao final de cada atividade havia uma discussão e síntese no sentido de buscar garantir que o objetivo da atividade fosse alcançado. O texto para o aluno foi necessário em função da necessidade de se colocar os conceitos em novas bases e em novos significados para os vários termos, o que raramente se encontra na literatura. O material desenvolvido foi aplicado numa turma regular do primeiro ano do ensino médio do CEFETR/RS, composta de 29 alunos. Ao final foi aplicado o mesmo questionário, agora crescido de duas perguntas específicas sobre a idéia de conservação e degradação de energia. Da experiência vivida na aplicação do material constatamos que a metodologia utilizada é bastante viável e efetiva para o que se visa, mas

encontra alguns problemas relacionados com o tempo de operacionalização, com a formação de professores e com os pré-requisitos dos alunos que ingressam ao ensino médio. Os problemas envolvendo a formação dos professores serão considerados na seqüência desse trabalho através de cursos de formação continuada. Fazendo isso estaremos divulgando nossas idéias junto à comunidade e aperfeiçoando o trabalho.

Palavras chaves: Ensino de Física, energia, conservação da energia, degradação da energia, concepção prévia, abordagem problematizadora.

ABSTRACT

The National Parameters for Physics teaching in high school (PCN+) points to the importance of the knowledge of the concepts of energy, its conservation and degradation. The main objective of this work is to develop a methodology and produce didactic material for teaching these concepts in high school. At first a bibliographic research was done collecting articles and books which allowed us to detect the main difficulties related to the teaching – learning process of the concepts of energy and other related concepts. In analyzing these materials we point out some important considerations for the teaching – learning process such as previous conceptions, the necessity of working with systems, consider energy as abstract. We identified as well some problems related to the multiple use of word energy and correlated concepts as work and heat, to considering different forms of energy, to considering energy as something material, etc. In this research work we present a pedagogic proposal based on a problematizing approach and on principles of learning by knowledge construction by the students and, this way, stimulating their active and reflexive participation. In the beginning, as the first class, we asked the students to answer some questions related to the subject in order to detect students previous conceptions and, after analyzing their answers, an open discussion was stimulated where the problem was established. Acting like that we leave the traditional teaching in which the student only gets the information without reflecting on it. Afterwards a revision on some concepts of Classical Mechanics was considered in the sense of reaffirming some ideas that will be important in the understanding of the earth+ball system considered as a basic system because it is part of every day life and ideal for introducing the idea of energy, conservation and degradation. Following we present the idea of model and its importance in a better understanding of the nature description, introducing an activity with springs. Yet as fundamentals of the methodology we developed an activity with glass balls and, in this, we followed Feynman ideas about how to understand the energy concept. This activity is important to establish concepts such as system open or closed and algorithms to describe situations in which we do not have direct access. Next we applied these ideas to describe systems like earth+ball and mass+spring+surface, establishing arguments and algorithms in order to describe their behaviors in terms of energy, its conservation and degradation. A generalization of these concepts was established by considering other situations in nature where the systems can interact in other way such as: difference of temperature, electromagnetic radiation, and others. In order to consider these interactions two activities are proposed: heating of water by solar radiation and heating of water by temperature difference. Various examples are considered describing situations in nature considering the concepts in study. In order to practice the methodology proposed here some texts were prepared with information and questions in sequence in order to stimulate students reflexions about some conflicts among previous conceptions and scientific knowledge. In the application of these activities the students were divided in small groups to follow the sequence presented in the text. After each activity a discussion and synthesis were done with the whole group in order to assure that the activities objectives were reached. The students texts were necessary because of the need to establish the contents in new terms, a new meanings of the basic words what we do not find in the literature. The developed material was applied in a regular group of the first year of the medium teaching of CEFETR, composed of 29 students. At the end the same questionnaire was applied, now grown of two specific questions about the conservation idea and degradation of energy. Of the experience lived in the application of the material we verified that the used methodology is quite viable and

effective, but we find some problems related with the time necessary for the application of this material, with the teachers' formation and with the students' pré-requirements that enter to the medium teaching. The problems involving the teachers' formation will be considered in the sequence of that work through continuum formation courses. Making that will be publishing our ideas close to the community and improving the work.

Key words: Physics teaching, energy, conservation of the energy, degradation of the energy, previous conception, problematizing approach.

LISTA DE TABELAS E FIGURAS

Quadro 1	Resposta da questão 1	68
Quadro 2	Resposta da questão 2	72
Quadro 3	Resposta da questão 3	75
Quadro 4	Resposta da questão 4	78
Quadro 5	Resposta da questão 5	80
Quadro 6	Resposta da questão 6	82
Quadro 7	Resposta da questão 7	84
Quadro 8	Resposta da questão 8	86
Quadro 9	Resposta da questão 9	89
APÊNDICE C	O Comportamento do Sistema Terra + Bola	113
Figura 1	Interação gravitacional entre duas massas quaisquer. b) Interação gravitacional entre a Terra e uma maçã.....	114
Figura 2	Bola caindo em direção ao solo e se deformando ao tocar o solo.....	114
Figura 3	Variação da força de atração gravitacional entre a Terra e uma massa m qualquer em função da distância entre os centros de massa da Terra e da massa m	115
Tabela 1	Variação de g para alguns valores de h	116
Figura 4	Esquema da queda de uma bola de uma altura h	117
Figura 5	Interação elástica da bola com a superfície.....	118
Figura 6	Interação elástica entre um bloco e uma mola	118
APÊNDICE D	Modelização Matemática de um Sistema Físico e as Linguagens da Física	121
Figura 1	Fotografia de três molas e massas diferentes	122
Figura 2	Foto de três molas diferentes, penduradas livremente	122

Figura 3	Foto de uma massa pendurada no extremo de uma mola..	123
APÊNDICE E	Uma Analogia importante: uma quantidade que se conserva	128
Figura 1	a) bola solta de uma altura h atinge o solo e se deforma; b) bola retoma a forma original e é impelida para cima; c) bola para após sucessivas quedas.....	128
Figura 2	a) Bola solta de certa altura h ; b) retorna para uma altura h' menor que h ; c) bola para após sucessivas quedas.....	133
APÊNDICE F	Aplicando as idéias de Feynman	135
Figura 1	Figura ilustrando a evolução do sistema, passando por diferentes estados até a bola ficar em repouso do ponto B	135
Figura 2	Estado inicial (bola afastada de uma altura h em relação ao solo) $mgh = \text{máx}$ e $\frac{1}{2} mv^2 = 0$ e estado final (bola sobre o solo) $mgh = 0$ e $\frac{1}{2} mv^2 = \text{máx}$	137
Figura 3	Representação de 3 estados do movimento de queda da bola: estado inicial (bola a uma altura h do solo e velocidade zero); estado intermediário (bola a uma altura h_1 e velocidade v_1) e estado final (bola a uma altura $h = 0$ e velocidade v).....	139
Figura 4	A figura representa a situação em que uma massa m é encostada numa mola, a mola é comprimida e depois solta. A massa é arremessada pela mola com velocidade $v_{\text{máx}}$, percorre certa distancia e para devido ao atrito com a superfície.....	142
Figura 5	A figura ilustra uma bolinha rolando em um trilho e os possíveis pontos A, B, C, D ou E em que a bolinha pode alcançar.	151
Figura 6	Foto de dois calorímetros	153
Figura 7	Foto de calorímetros sendo exposta a radiação solar.....	154
Figura 8	Fotografia da montagem de um calorímetro em que uma lâmpada é colocada em seu interior.....	157
Figura 9	A figura representa um esquema geral mostrando as diversas maneiras em que um sistema pode interagir com a vizinhança.	161

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

UFRN – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CEFETRN – CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO RIO GRANDE DO NORTE

CEFETMT – CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO MATO GROSSO

UERN – UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE

LDB – Leis de Diretrizes e Bases da Educação Nacional

DCNEM – Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

PCNEM - Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

GRAF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física

STB – Sistema Terra – bola

SMMS – Sistema massa-mola-superfície

SUMÁRIO

1	O ENSINO DO CONCEITO DE ENERGIA E DE SUA CONSERVAÇÃO: DIRETRIZES E PROBLEMAS	16
1.1	O Ensino do Conceito de Energia e de Sua Conservação no Ensino Médio .	16
1.2	Análise de Alguns Livros Didáticos sobre o Ensino do Conceito de Energia e Sua Conservação no Ensino Médio.....	17
2	AS PESQUISAS RECENTES RELACIONADAS COM O ENSINO DO CONCEITO DE ENERGIA E DE SUA CONSERVAÇÃO NO NÍVEL MÉDIO E A PROPOSTA DESTES TRABALHOS	29
2.1	Concepções Prévias em Relação aos Conceitos de Energia e de Conservação de energia.....	29
2.2	Algumas Dificuldades Encontradas para o Ensino e Aprendizagem do Conceito de Energia e Sua Conservação.	31
2.3	Possíveis Caminhos para Vencer os Obstáculos no Ensino do Conceito de Energia.e Sua Conservação.....	37
3	METODOLOGIA	43
3.1	O Contexto da Pesquisa.....	43
3.2	O Questionário Inicial e a Etapa de Problematização.....	44
3.3	Revisão: O Comportamento Dinâmico do Sistema Terra-bola.....	45
3.4	Modelagem e Linguagens da Física.....	47
3.5	Contextualizando as Idéias de Feynman: contando bolas de gude.....	50
3.5.	As idéias de Feynman: energia como quantidade.....	51

3.5.2	A Analogia : contando uma quantidade cubos	51
3.6	Aplicando as Idéias de Feynman.....	54
3.7	Generalizando Ainda Mais: a primeira e a segunda lei da termodinâmica.....	59
3.8	O Questionário Final.....	62
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	64
4.1	Avaliação do Texto para o Aluno, das Atividades de Problematização, da Metodologia Utilizada no Módulo Didático.....	64
4.2	Análise da Avaliação Final em Comparação com o Resultado do Questionário Inicial.....	67
4.3	As Falhas e Dificuldades Encontradas n a Aplicação do Material.....	92
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	94
6	REFERÊNCIAS.....	97
	APÊNDICES:	
	APÊNDICE A - As Questões do Questionário	105
	APÊNDICE B - Questões levantadas para estimular a discussão com os alunos na aula de problematização	109
	APÊNDICE C - O Comportamento Dinâmico do Sistema Terra + bola	113
	APÊNDICE D - Modelização Matemática de um Sistema Físico e as Linguagens da Física	121
	APÊNDICE E - Uma Analogia Importante: uma quantidade que se conserva	128
	APÊNDICE F - Aplicando as Idéias de Feynman	135
	ANEXOS:	
	ANEXO A - O Conceito de Energia e a Educação Ambiental	167

**1 O ENSINO DO CONCEITO DE ENERGIA E DE SUA CONSERVAÇÃO:
DIRETRIZES E PROBLEMAS**

“A física é a mais fundamental e abrangente das ciências e exerceu um profundo efeito em todo o desenvolvimento científico”.

Feynman.

1.1 O ensino do Conceito de Energia e Sua Conservação no Ensino Médio

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), de 1996, as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM), os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) têm como um dos objetivos convidar os educadores a reorientar, se necessário, suas práticas de sala de aula de acordo com as necessidades de sua comunidade escolar.

Segundo os PCNEM, a escola deve deixar de ser mero cenário burocrático na vida dos alunos e passar a ser um ambiente de formação para a autonomia, para se buscar saídas, e não para formatá-los de acordo com o mercado.

Uma física amparada em acúmulo de informações e intermináveis pré-requisitos contribuem pouco para a autonomia do aluno, pois fica a seu encargo juntar o que aprendeu e utilizar para compreender e intervir em sua realidade vivida.

O estudo da energia se constitui num dos núcleos básicos no currículo da disciplina de Física. Sua presença é marcante nos diversos campos como a mecânica, termodinâmica, eletricidade, processos químicos, biológicos e geológicos, entre outros. E mais, é indispensável para a compreensão do funcionamento de máquinas e equipamentos que fazem parte da vida das pessoas, além do que está presente nos debates sobre questões ambientais, desequilíbrio ecológico, fontes alternativas de energia e o uso racional dos combustíveis, muito em voga ultimamente.

A vida das pessoas envolve processos no qual a energia está sempre presente. Embora elas convivam com esse fato, muitas vezes não conseguem compreender o conceito físico por trás de tais processos. Isso se traduz pelo fato de que a formulação moderna do conceito de energia não é suficiente para uma compreensão inequívoca.

O ensino da Física deve ser mais formativo e menos conteudista, isto é, não deve visar apenas o vestibular e nem achar que todos os alunos seguirão uma carreira relacionada com a Física.

Segundo os PCNs, o ensino de Física deve apresentar-se como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos. Competências em Física para a vida se constroem em um presente contextualizado, em articulação com competências de outras áreas. O trabalho de construção do conhecimento físico a ser empreendido deve ser direcionado através da realidade educacional e dos projetos pedagógicos das escolas que expressam os objetivos formativos mais amplos a serem alcançados.

As estratégias de ação propostas pelos PCNEM para enfrentamento de situações-problema se baseiam na idéia de que frente a uma situação ou problema concreto, deve-se reconhecer a natureza dos fenômenos envolvidos, situando-os dentro do conjunto de fenômenos da Física e identificar as grandezas relevantes, em cada caso. Assim, diante de um fenômeno envolvendo energia, por exemplo, deve-se identificar “fontes”, processos envolvidos e seus efeitos, reconhecendo variações de temperatura como indicadores relevantes.

O estudo dos fenômenos físicos naturais se dá pela compreensão de quatro princípios fundamentais de conservação: o princípio de conservação do momento, da massa, da carga elétrica e da energia, sendo este último, o princípio da conservação da energia, o mais difícil de ser ensinado devido à natureza de sua abstração.

O princípio físico da conservação da energia está presente na vida das pessoas e permite a elas a compreensão dos processos químicos, biológicos e geológicos, que resultam na compreensão de própria vida, até o funcionamento das máquinas e equipamentos presentes no seu dia-dia.

1.2 Uma Análise do Ensino do Conceito de Energia e Sua Conservação no Ensino Médio

Para melhor identificar os problemas relacionados ao ensino do conceito de energia e de sua conservação no ensino médio, a análise de alguns livros didáticos dentre os adotados neste nível de estudo foi realizada e na análise destacamos a impropriedade da apresentação do conceito pelos seus autores.

Para a análise foram escolhidos cinco livros entre os adotados no município em que se realizou a pesquisa. Os livros selecionados foram:

1. “Física”, da Coleção Magistério 2º Grau, Série – Formação Geral, dos autores Demétrio Delizoicov e José André Angotti – 1991;
2. “Física” – Mecânica, do Grupo de Reelaboração do Ensino de Física – GREF, 3ª edição – 1993;
3. “Física – um outro lado” – Faces da Energia, dos autores Aníbal Figueiredo e Maurício Pietrocola – 2000;
4. Curso de Física Volume 1, dos autores Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga. 5ª edição, editora Scipione 2000.
5. Física Mecânica volume 1 do autor Aberto Gaspar. 1ª edição editora Ática. 2000, São Paulo.

Começaremos pelo livro “Física”, da Coleção Magistério 2º Grau, Série: Formação Geral de Demétrio Delizoicov e José André Angotti (1991). Neste livro os autores propõem que o curso de Física no ensino médio se inicie pelo estudo e discussão de um texto cujo título é: “Produção, distribuição e consumo de energia elétrica”. O texto tem como propósito priorizar uma visão em extensão da Física citando conceitos e leis, e mostrando a relação entre a ciência e a tecnologia.

O texto procura mostrar as diversas etapas do processo que vai desde a água armazenada na barragem até a eletricidade disponível nas residências, ele aborda a energia elétrica como algo possível de ser produzida, distribuída e consumida como o próprio título revela. Será que a energia é algo que podemos produzir distribuir e consumir como algo material? Segue um trecho do texto:

“Do ponto inicial ao ponto culminante – da **produção** de energia elétrica na usina à sua distribuição para os locais de **consumo** (via linha de alta tensão, subestações, transformadores, fiação nas ruas, casas ou prédios residenciais ou não) – ocorrem processos de **transformação de energia**”. (Delizoicov e Angotti, 1991, p. 38).

Do ponto de vista dos autores a energia elétrica é algo que pode ser produzida na usina hidrelétrica e depois distribuída para outros lugares em que será consumida como algo

material através de processos de transformação. Essa concepção leva a uma compreensão equivocada acerca do conceito de energia visto que a Primeira Lei da Termodinâmica proíbe a produção e destruição da energia. Vejamos ainda outro trecho do texto em que a energia é destacada como algo que pode ser armazenada.

“Dizemos que a água (quantidade material: massa) represada pela barragem, por estar em um nível (altura) acima da posição das turbinas, tem energia **acumulada**, que denominamos energia potencial ou de posição (em Itaipu a queda máxima é de 130 m). Conforme a água desce pelo tubo (perde altura), a água vai perdendo essa energia, isto é, sua energia de posição vai diminuindo; porém simultaneamente aumenta a sua energia devido ao movimento, a qual denominamos energia cinética, que é máxima quando a água atinge a turbina”. (Delizoicov e Angotti, 1991, p. 39).

Do ponto de vista físico os autores descrevem o processo como uma transformação de energia em que a matéria (água) possui, antes da colisão com a turbina, uma quantidade de energia do tipo potencial gravitacional que será transformada em energia do tipo cinética. Apresentada dessa forma a energia é compreendida como algo material que pode ser transformada.

Para explicar o processo pelo qual a represa é reabastecida, o ciclo da água e do ar é descrito como um trabalho realizado pelo Sol na evaporação. Este trabalho é visto, pelos autores, como um processo de transformação de energia em que o calor é o agente responsável.

A seguir transcrevemos um trecho do texto.

“... Em termos microscópicos, as moléculas de água no estado líquido estão espacialmente distribuídas, em posições que caracterizam uma energia potencial (não gravitacional, mas sim elétrica). A mudança para o estado gasoso requer a realização de um trabalho; dele resulta o aumento da distância relativa entre as moléculas, uma característica dos corpos gasosos. Este **trabalho é realizado pelo calor**, que leva à evaporação, resultado da interação da radiação solar (ou da atmosfera já

aquecida) com a superfície da água”. (Delizoicov e Angotti, 1991, p. 45).

“A identificação do calor como uma **forma de energia em trânsito**, devido à diferença de temperatura entre dois ou mais corpos é relativamente recente...”. (Delizoicov e Angotti, 1991, p. 46).

O estudante tende a compreender o calor como fluido capaz de escoar de um corpo material para outro, toda vez que esta grandeza é conceituada como energia em trânsito e a concepção dessa grandeza como agente capaz de realizar trabalho reforça a compreensão da sua possível existência concreta. Calor é identificado como um tipo de energia quando na verdade trata-se de um processo.

Quando os autores abordam a mudança de estado físico da água passando para o estado gasoso eles estão se referindo, na verdade, a mudança para o estado de vapor, nesta ocasião os autores perdem a oportunidade de discutir com os alunos tanto a noção de energia interna como a noção de degradação da energia. Uma discussão que pouco se faz no primeiro ano do ensino médio.

O Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF) procura estudar o princípio de conservação e variação através de um levantamento de coisas e de conceitos ligados a cada uma delas. Nesse levantamento são destacados vários tipos de coisas como: usina hidrelétrica, combustível, motor, furadeira, bate estacas, veículo partindo e freando, etc. Esses objetos são agrupados por semelhança de funcionamento e a cada grupo são associados os princípios de conservação de momento e de energia. Para estudar a energia e seu princípio de conservação o Grupo recorre à concepção de transformação e transferência que são percebidas no funcionamento das coisas apresentando a idéia de que a energia pode ser transformada de um tipo em outro. Segue alguns trechos do livro:

“As atividades humanas são realizadas a partir de transformações de uma quantidade de energia, de natureza eletroquímica, que provém diariamente dos alimentos ingeridos. Isto é igualmente válido para as atividades de animais de todas as espécies”. (GREF, 1993, p. 107).

“Carros, aviões, foguetes, também necessitam de energia para se movimentar. Para o carro avançar (e empurrar a Terra para trás) ele tem

que transformar em energia de movimento parte da energia que provém do combustível”. (GREF, 1993, p. 107).

“Outras máquinas como: liquidificador, ventilador, furadeira, não são movidas pela energia de um combustível. Nestes aparelhos é a energia elétrica que é **transformada** em energia cinética. Esta energia elétrica vem de uma usina até nossa casa”. (GREF, 1993, p. 107).

Afirmando que a energia pode ser armazenada no campo gravitacional o Grupo atribui materialidade tanto para o campo gravitacional como para energia que pode compreendida como mercadoria que pode ser guardada para depois ser consumida e transformada.

Quando o Grupo aborda o funcionamento das máquinas como liquidificador ventilador e furadeira, por exemplo, ele perde a oportunidade de fazer, como já foi dito, uma discussão preliminar sobre a energia interna e a degradação da energia.

Para explicar a energia associada à eletricidade o Grupo destaca além da usina hidrelétrica outras usinas: a termelétrica e a nuclear. Nelas o Grupo refere à energia como algo armazenado. Descrevemos um trecho.

“No caso da usina hidrelétrica existe uma barragem que armazena água, a certa altura em relação à turbina. Devido à atração gravitacional da Terra sobre a água, podemos dizer que o sistema Terra-água **armazena** uma forma de energia que denominamos energia potencial gravitacional”. (GREF, 1993, p. 107).

“Nas usinas termelétricas, a energia necessária para aquecer a água provém geralmente de combustíveis, derivados do petróleo ou carvão. Nas nucleares o combustível utilizado é o urânio. A função de qualquer uma destas usinas é **transformar** estas energias (potencial química ou potencial nuclear) em energia elétrica, será depois transformada em outras formas nas casas, escolas, indústrias, etc.”. (GREF, 1993, p. 107).

Para estudar a conservação da energia mecânica o GREF descreve o processo num bate-estaca em que a energia associada às posições e a energia associada ao movimento são analisadas como algo material acumulado no sistema (bloco-Terra) que posteriormente será transformado. Isso pode ser constatado através de um trecho do livro:

“Não é só o sistema Terra-água que pode **armazenar** energia potencial gravitacional: qualquer objeto que se afaste da Terra pode também fazê-lo. Um bate-estaca, por exemplo, tem um motor diesel que eleva um grande bloco e o deixa cair livremente. À medida que o bloco vai subindo, o sistema vai **adquirindo** energia potencial gravitacional, pela transformação da energia do combustível no motor do bate-estaca”. (GREF, 1993, p. 108).

“Num bate-estaca, é possível acumular a energia potencial gravitacional, elevando um bloco, e posteriormente utilizá-la deixando-o cair livremente, de forma a enterrar a estaca no chão” (GREF, 1993, p. 117).

A concepção da energia relativa às posições como algo guardado que será transformado leva à idéia de que a energia pode ser guardada ou acumulada. Para o GREF a energia relativa a posição de um bloco em relação a Terra pode ser acumulada no sistema toda vez que o bloco é elevado a certa altura.

O grupo cita ainda outros sistemas que podem armazenar energia do tipo potencial. Vejamos mais um trecho do livro.

“Inúmeros outros sistemas também acumulam energia. Por exemplo, para colocar a bolinha dentro do cano do revólver de brinquedo ilustrado na figura temos que aplicar uma força para comprimir a mola. Esta força realiza trabalho transferindo energia que fica armazenada no sistema” (GREF, 1993, p. 119).

Para estudar a energia associada ao movimento o GREF admite transformação de energia associada ao campo gravitacional durante a queda do bloco como se durante o processo algo material, inicialmente armazenado, sofresse mutação.

No livro: Faces da energia, os autores apresentam o estudo sobre a energia por meio de uma analogia em que é estabelecido um diálogo com a energia. De início os autores procuram deixar esclarecido que a energia é algo abstrato. No “diálogo” estabelecido com a energia eles procuram mostrar os “disfarces” que ela utiliza. Estes disfarces, para os autores, são transformações pelas quais a energia pode passar.

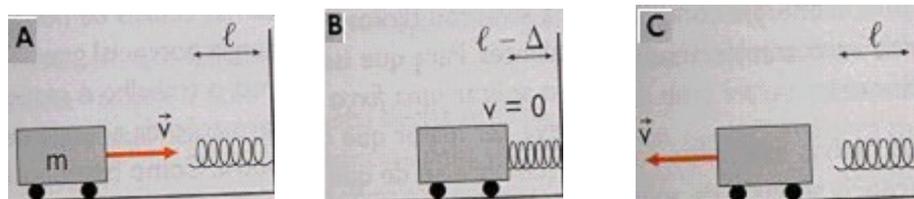
Como os próprios autores afirmam, “procuramos enfatizar o princípio de conservação da energia, explorando as transformações da energia no contexto da mecânica e mostrar que o trabalho representa o meio como a energia muda de forma”. (Aníbal Figueiredo e Maurício Pietrocola, 2000, p. 04). Em outros trechos do livro eles escrevem:

“O interessante é que ao identificarmos uma **forma de energia** que desaparece, outra(s) forma(s) estarão aparecendo. A energia é, para nós, algo que não se perde. Apesar de estar sempre se transformando, ela se conserva. Em Física, expressamos isso através do princípio de conservação de energia (PCE)”. (Aníbal Figueiredo e Maurício Pietrocola, 2000, p. 14).

“Nessa designação da energia, o termo potencial dá a idéia de algo que pode vir a se manifestar. A situação do tijolo a uma certa altura do solo não parece indicar a existência de energia capaz de realizar trabalho. Porém, basta abandoná-lo para que essa energia seja perceptível na forma cinética e possa resultar na realização de trabalho”. (Aníbal Figueiredo e Maurício Pietrocola, 2000, p. 18).

“A situação representa um sistema composto por um bloco, uma mola e piso sem atrito. Na situação A da figura acima a energia aparece claramente na forma cinética. Na situação C da figura o bloco encontra-se parado indicando que não há mais energia cinética. Porém, observe o que aconteceu com o resto do sistema: a mola antes distendida, agora está comprimida. Na situação D da mesma figura o bloco está com o mesmo movimento que antes. Repare que, como na situação apresentada na primeira situação a energia cinética sai de cena para reaparecer pouco depois da mesma forma. Como acreditamos que a energia não desaparece, concluiremos que no momento em que o bloco

pára a energia se transfere da forma cinética para uma forma associada com a deformação da mola. Em outras palavras, a energia se transformou valendo-se da elasticidade da mola”. (Aníbal Figueiredo e Maurício Pietrocola, 2000, p. 19).



Os “disfarces” utilizados pela energia mecânica são, para os autores, a energia associada ao campo gravitacional e energia associada ao movimento além da energia associada à deformação elástica quando o corpo sofre deformação. Vemos mais uma vez a contradição quando os autores apresentam, inicialmente, a energia como algo abstrato agora eles afirmam a energia como um agente material mutável que pode ser transferida de um local à outro.

No livro: Curso de Física, os autores, na abertura do tema trabalho e energia cinética, destacam a importância do conceito de energia para a Física falando sobre a empregabilidade da palavra energia no cotidiano das pessoas e afirmam acreditar que a introdução do conceito de trabalho físico se constitui, ao que parece, num bom modo de começar esse estudo pela dificuldade de definir, em poucas palavras o que é energia.

Para MÁXIMO e ALVARENGA (2000) uma pessoa possui energia porque se alimenta de produtos que possuem energia. Dizem os autores:

“...Dizemos que uma pessoa **possui energia** se ele for capaz de realizar o trabalho de suspender um corpo graças à energia que lhe é fornecida pelos alimentos que a pessoa ingere”. (Antonio Máximo e Beatriz Alvarenga, 2000, P. 306).

Ainda para MÁXIMO e ALVARENGA (2000) a água possui energia quando está numa cachoeira e por isso realiza trabalho físico. Diz os autores:

“...do mesmo modo, a água em uma cachoeira possui energia, porque é capaz de realizar o trabalho de movimentar as turbinas de uma usina elétrica.” (Antonio Máximo e Beatriz Alvarenga, 2000, P. 306).

“...podemos dizer que um corpo, situado em uma certa altura, possui energia, pois tem capacidade de realizar um trabalho ao cair.” (Antonio Máximo e Beatriz Alvarenga, 2000, P. 311).

Para estes autores a energia é algo que os corpos podem ganhar e perder dependendo da situação. Além disso, energia é conceituada como a capacidade de se realizar trabalho, o que é negado pela Segunda Lei da Termodinâmica que prega um aumento de entropia toda vez que um sistema fechado evolui de um estado a outro. Essas interpretações levam ao surgimento de dificuldades para se construir a idéia científica do conceito de energia em sala de aula.

O livro: Física, cujo autor é Alberto Gaspar, inicia o estudo do conceito de energia apresentando um pequeno texto em que é discutido o pouso de um ônibus espacial. No texto ele apresenta as diversas formas em que a natureza se manifesta argumentando que a energia pode ser consumida nos processos envolvidos durante a frenagem do ônibus espacial.

Escreve o autor

“O ônibus espacial atinge o solo com uma enorme energia cinética, que deve ser **consumida** pelo trabalho realizado, ao longo da pista, pelo seu sistema de freios...”. (Gaspar, 2000, p. 207).

“O trabalho realizado sobre um corpo pode consumir energia ou transferir energia a esse corpo”. (Gaspar, 2000, p. 207).

O autor cria uma materialidade para a energia quando apresenta essa idéia como algo que se consume como alimentos, isso decorre da associação da concepção de energia a atividade das pessoas que consomem alimentos para trabalhar.

Para GASPAR (2000), do ponto de vista da Física clássica só existem na natureza duas formas de energia: a energia cinética e a energia potencial, todas as outras são derivações destas fundamentais. O que podemos concluir desta análise é que, pedagogicamente, criam-se obstáculos quando imaginamos a energia mudando de forma ou sendo consumida. Se a

energia é algo abstrato não podemos atribuir-lhe nenhuma materialidade visto que estaríamos dando-lhe forma e isso nós sabemos que não é possível.

No livro: Física Volume 2 (Óptica, Ondas e Termodinâmica) do mesmo autor, ele apresenta a idéia de calor como energia que flui (**concepção de Calórico**) entre corpos em contatos e temperaturas diferentes. Para GASPAR (2000)

“...dois ou mais corpos a temperaturas diferentes, formando um sistema isolado, tende a atingir a mesma temperatura. Quando isso ocorre, costuma-se dizer que esses corpos trocam calor. Como calor é energia, o princípio da conservação da energia garante que a energia total envolvida no processo é constante”.

A concepção apresentada pelo autor de troca de calor entre dois corpos e de calor como energia não estão adequadas com a concepção científica de calor. Considera-se atualmente que calor é um processo pelo qual um sistema interage com a vizinhança e não uma forma de energia em trânsito. Essa interpretação de calor é generalizada em muitos livros didáticos.

No meio acadêmico aprendemos a quantificar a variação de energia por diferentes fórmulas (com diferentes parâmetros de medidas) em diferentes situações, por exemplo, para quantificar a variação de energia relacionada com o campo gravitacional o parâmetro empregado é o de posição relativa das partes integrantes do sistema ($E_{pg} = m.g.h$); para quantificar a variação de energia relacionada com o movimento o parâmetro empregado é de velocidade relativas das partes envolvidas além de suas massas ($E_c = \frac{1}{2} m.v^2$), e para quantificar a variação de energia relacionada com a deformação o parâmetro empregado é o de deformação das partes envolvidas (para a mola helicoidal é $E_{p_{elást.}} = \frac{1}{2} k.\Delta x^2$). Dessa maneira, parece que lidamos com diferentes tipos de energia visto que as fórmulas para seu cálculo são diferentes. Será que existem diferentes tipos de energia? Será que a energia pode ser transformada de um tipo em outro? Ou a energia é apenas algo associado às múltiplas formas de manifestação da natureza.

A concepção da energia como algo que se transforma é bastante reforçada no primeiro ano do ensino médio toda vez que se ensina que há uma energia do tipo potencial gravitacional que é transformada em energia do tipo cinética quando um corpo cai de certa altura em relação ao solo. Esta concepção deve ser questionada. Se deformarmos uma mola (alterando seu equilíbrio natural) ao soltá-la, ela busca sempre retornar para seu estado de

relaxamento, ou seja, seu equilíbrio natural. Quando levantamos uma bola de borracha até certa altura h em relação ao solo e depois a abandonamos, a sua tendência é retornar ao estado de equilíbrio que é o repouso no solo.

Quando se ensina que a energia pode se transformar, em verdade, estamos referindo às múltiplas formas pelas quais a natureza pode se manifestar, isso implica em dizer que podemos associar a idéia de variação de energia às múltiplas maneiras de manifestação da natureza.

Como podemos construir / reconstruir um conceito de variação de energia que esteja associada às múltiplas manifestações da natureza?

Um outro problema grave em relação ao ensino-aprendizagem do conceito de conservação de energia em um sentido mais amplo é que não se faz uma integração entre os fenômenos mecânicos e os fenômenos térmicos. Dá-se pouco valor à integração, revolucionária para a época, proporcionada pelos trabalhos de Joule, ao apresentar o equivalente mecânico do calor. Além disso, muitos livros apresentam o princípio de conservação de energia como se fosse deduzido das leis da mecânica. Entretanto o princípio de conservação de energia, como será enfatizado neste trabalho, é uma afirmação independente sobre a ordem na natureza. Para uma visão mais geral do princípio de conservação se faz necessário considerar variações de energia, além do processo de trabalho e calor, por exemplo, a troca por radiação, reações nucleares, etc.

Diante das dificuldades para se estabelecer um conjunto de conhecimento consistente em relação à energia, sua conservação e degradação, acreditamos ser bastante justificado que se faça um esforço nesse sentido.

Este trabalho propõe *uma abordagem para o ensino do conceito de energia e sua conservação* de forma a mostrar que a variação de energia está associada aos sistemas físicos e suas manifestações e pode ser medida por diferentes algoritmos e por isso recebe nomes diferentes.

A proposta deste trabalho é desenvolver e testar um planejamento didático em que o aluno tenha participação ativa em sala de aula podendo assim desenvolver a sua formação integral, tanto na parte social quanto crítico-reflexiva.

Acreditamos que a motivação do aluno é essencial para a aprendizagem. Assim, se desenvolve uma etapa inicial de discussão e de levantamento dos pontos importantes para se compreender o que está acontecendo na atividade mediadora. Nesse sentido, se procura estimular a atividade criativa do aluno já que este terá que explicar os fatos naturais através de um modelo ou esquema.

A pesquisa está constituída em capítulos ordenados da seguinte forma: O capítulo introdutório tratou das Diretrizes Curriculares, os Parâmetros Curriculares Nacionais, a importância do conceito de energia na compreensão e descrição dos fenômenos da natureza e a análise da impropriedade de alguns autores na apresentação do conceito de energia e de sua conservação. O capítulo 2 discute a proposta do trabalho e as pesquisas recentes relacionadas com o ensino do conceito de energia e de sua conservação. O capítulo seguinte expõe as metodologias utilizadas para se alcançar os objetivos em relação ao processo – ensino aprendizagem. O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos com a aplicação do material didático e a metodologia proposta. O capítulo 5 intitulado Considerações Finais sintetiza a proposta, os resultados e as perspectivas futuras.

2 AS PESQUISAS RECENTES RELACIONADAS COM O ENSINO DO CONCEITO DE ENERGIA E DE SUA CONSERVAÇÃO NO NÍVEL MÉDIO E A PROPOSTA DESTE TRABALHO

“Primeiro descubra por que quer que os alunos aprendam o tema e o que quer que saibam, e o método resultará mais ou menos por senso comum.”

Feynman

No capítulo 1 apresentamos algumas diretrizes colocadas pelos órgãos oficiais responsáveis pelo ensino destacando a importância dos conceitos de energia, conservação e degradação de energia. Através de uma análise de alguns livros didáticos utilizados no ensino médio verificamos que não tem havido uma preocupação em um tratamento mais consistente desses conteúdos. Neste capítulo vamos apresentar algumas preocupações relacionadas com o ensino–aprendizagem dos conceitos de energia, conservação, trabalho, calor, energia interna, energia térmica, degradação, manifestadas por vários pesquisadores na área de ensino de física.

2.1 Concepções Prévias em Relação aos Conceitos de Energia e de Conservação de Energia.

Estudos sobre concepções espontâneas voltadas para o conceito de energia calor, trabalho, conservação de energia têm sido realizados já há muitos anos, mas pouco tem sido feito para vencer tais concepções ou acomodar o conhecimento do senso comum com o conhecimento científico na prática de sala de aula.

Em virtude da complexidade e abrangência desses conceitos verifica-se uma série de interpretações diferentes, principalmente, no que se refere à concepção do senso comum. Assim, a seguir, procuramos abordar alguns aspectos relacionados ao ensino e aprendizagem desses conceitos, destacando as pesquisas mais recentes sobre as concepções prévias dos alunos. Tais concepções podem originar dificuldades durante o processo de ensino e aprendizagem.

O interesse de muitos pesquisadores na compreensão das concepções prévias dos estudantes em relação a energia, calor, trabalho e conservação de energia tem levado à publicação de vários trabalhos importantes.

Um dos primeiros trabalhos extensivos de levantamento de concepções prévias sobre o conceito de energia e conceitos correlacionados, foi realizado por Brook e Driver (1984). Elas identificaram as seguintes concepções alternativas:

- Energia está associada somente, ou primeiramente, com objetos animados.
- Energia é vista como sendo sinônimo de força, ou energia e força estão diretamente relacionadas.
- Energia está associada somente com movimento.
- Energia é armazenada dentro dos objetos.
- Energia é combustível.
- Energia se comporta como um fluido.
- Energia é um ingrediente ou um produto

A partir da análise das respostas (escrita e oral) a um questionário sobre energia Brook e Driver (1984) apresentam um resumo sobre aspectos da compreensão do conceito de energia por parte de estudantes secundarista. Assim,

- a) Poucos estudantes tendem a utilizar o conceito de energia espontaneamente para explicar e interpretar fenômenos;
- b) Algumas associações para energia não fazem parte da visão científica de energia;
- c) Alguns estudantes associam força e movimento com energia, mas poucos associam energia com o conceito científico de trabalho;
- d) Vários estudantes apresentam dificuldades na interpretação qualitativa de situações nas quais ocorrem transferências de energia.

Uma síntese das pesquisas mais recentes realizadas para estudar as concepções espontâneas está apresentada em Assis e Teixeira (2003, p.23) onde são referidos os seguintes trabalhos: (TRUMPER, 1991 e 1993); (HIGA, 1988); (HENRIQUE, 1996); (PÉREZ-LANDEZÁBAL et al., 1995), (SOLOMON, 1985), (BLISS & OGBORN, 1985). Esses trabalhos chegaram a resultados similares com relação às concepções de energia do senso comum, tais como:

- a) Energia como causa para que ocorra um processo (energia faz as coisas trabalharem, se moverem);

- b) Energia como produto de um processo (energia pode ser produzida de muitas maneiras diferentes);
- c) Transformação de energia (energia se transforma em outros tipos de energia);
- d) Energia como propriedade da matéria (permite a materialização da ação);
- e) Associação entre calor e energia e calor como sinônimo de temperatura;
- f) Energia como sinônimo de força, de potência, de trabalho;
- g) Energia associada à atividades humanas (antropocêntrica);
- h) Energia associada ao movimento;
- i) Energia como algo material que pode ser transformado;
- j) Energia como propriedade da matéria;
- k) Energia como fonte de força ou poder;

Segundo Henrique (1996) a concepção de energia como algo que se conserva, possui natureza mais figurativa do que quantitativa associada à idéia de uma entidade quase material. A concepção de energia como algo que não se conserva surge em função da linguagem com termos tais como: produzir energia/consumir energia.

2.2 Algumas Dificuldades Encontradas para o Ensino e Aprendizagem do Conceito de Energia e Sua Conservação.

A natureza pode se manifestar de diversas formas e a cada uma delas associamos uma variação de energia, por isso o termo energia se revela um conceito chave na Física moderna, principalmente a partir de meados do século XIX. Devido à multiplicidade de processos que ocorrem na natureza se definem diversos algoritmos com os quais se mede a variação da energia. Cada situação recebe um nome diferente e há um algoritmo para representar a variação de energia em cada situação: energia associada ao movimento, energia associada à posição, energia associada à deformação e etc. Mais precisamente existem tantos algoritmos quantos forem às diversas formas da natureza se apresentar.

As formas como a natureza se apresenta foram analisadas ao longo da história e posteriormente foi tentada uma unificação entre os diversos nomes dados a energia. Um exemplo dessa situação é o cálculo do equivalente mecânico do calor; pois durante muito tempo a física térmica e a mecânica foram considerados campos distintos, sem conexão mútua. Esse entendimento perdurou até quando Joule propôs um experimento que mediria a equivalência citada. Nesse experimento um conjunto de pesos suspensos seria solto, e através

de cordas faria girar diversas pás que se encontravam submersas em um líquido. Na medida em que girassem as pás, o líquido aqueceria. O que se pretendia era equacionar a variação de energia potencial gravitacional do conjunto de pesos e a variação da temperatura do líquido. Em 1879, Rowland fez uma determinação extremamente cuidadosa e estimou que 1caloria = 4,186Joules.

Alguns autores (desde a Idade Média) sugerem a energia como sendo uma espécie de substância quase material (noção de calórico) presente em todos os eventos que nos rodeiam. Esta caracterização da energia como um fluido coincide basicamente com o significado que usamos no cotidiano. Embora seja de mais fácil apreensão, esta definição cria obstáculos para o ensino e aprendizagem da idéia científica de energia, porque esta não está vinculada ao aspecto da energia como ingrediente que os corpos possuem.

A partir do século XVII se construiu a concepção da energia como capacidade de realizar trabalho; esta concepção, embora coerente para a mecânica clássica, tem sua utilidade questionada na termodinâmica principalmente porque a disciplina considera explicitamente que os processos naturais que envolvem sistemas físicos devem obedecer a mais um critério além da conservação mecânica da energia. A degradação.

Para Feynman (2001), a conservação é a característica mais relevante da energia, afirmando que embora não se saiba exatamente o que seja energia, “existe certa quantidade, que chamamos de energia, que não muda nas várias transformações pelas quais passa a natureza”.

Desse modo algumas dificuldades no ensino e na aprendizagem (inclusive em nível universitário) de conteúdos relativos à energia surgem por causa desta falta de precisão e unificação conceitual. As dificuldades encontradas pelos estudantes em compreender o conceito científico de energia e em desenvolver e interpretar os fenômenos físicos através da conservação da energia também têm sido apontadas por outros investigadores (DUIT, 1981; DRIVER e WARRINGTON, 1985; GRIMELLINI et al., 1993).

As principais dificuldades relacionadas ao aprendizado do conceito de energia, segundo Solbes e Tarín (1998), são:

a energia é associada ao movimento, à atividade ou aos processos (causa ou produto de um processo); a energia pode ser gasta ou armazenada; não há distinção entre formas e fontes de energia; não há compreensão da transformação, conservação e degradação da energia,

características imprescindíveis para o entendimento do princípio da conservação da energia.

Historicamente a natureza do conceito de energia se relaciona com a idéia de sua transformação e conservação. Dessa forma podemos acreditar que a construção da concepção da energia está vinculada a própria concepção de sua conservação e isso pode ser compreendido pela conclusão a que chegou James Prescott Joule afirmando:

“Não perderei tempo repetindo e estendendo essas experiências, pois estou seguro de que os grandes agentes da natureza são *indestrutíveis*, pelo *fiat* do Criador; e que quando se gasta poder mecânico, obtém-se *sempre* um calor exatamente equivalente.” (James Prescott Joule 1842)

O conceito de energia como função de estado (atualmente concebido) data de pouco mais de um século. Ele adquiriu significado preciso a partir do estabelecimento da relação calor-trabalho, mais especificamente, nos destaques dados por Clausius às “leis” da termodinâmica, em 1865.

Segundo Morin (2005) precisamos pensar/repensar o saber, não com base numa pequena quantidade de conhecimentos, como nos séculos 17-18, mas no estado atual de proliferação, dispersão, parcelamento dos conhecimentos. Para o autor

a energia não é um objeto visível; é um conceito produzido para dar conta de transformações e de invariâncias físicas, desconhecido antes do século 19. É necessário enraizar o conhecimento físico, e igualmente biológico, numa cultura, numa sociedade, numa história, numa humanidade.

Há três concepções fundamentais identificadas no pensamento do conceito de energia e de acordo com a literatura existente a mais comum é a idéia de fonte de energia, na qual energia é vista como um agente causal, causa/fonte de atividade. Energia também costuma ser identificada como a presença explícita de ação/atividade, particularmente movimento (de qualquer tipo). Energia é identificada não com a causa e, sim, com a própria ação. Há ainda, uma outra característica do conhecimento do senso comum que se expressa significativamente no pensamento sobre energia: a materialização de entidades abstratas (SANTOS, 1991; VIENNOT, 1994).

A linguagem utilizada “gastar energia”, “produzir energia”, “consumir energia”, denuncia a concepção de energia como algo que possui uma existência quase material.

Uma pesquisa sobre o raciocínio do senso comum sobre conservação (MARIANI e OGBORN, 1990) mostra que entidades abstratas muitas vezes são imaginadas na forma de objetos reais que têm alguma permanência em mudanças. No caso específico de energia, essa entidade é frequentemente tratada de tal forma que implique indestrutibilidade e substancialização. Portanto, causa, ação e materialização são os aspectos mais fundamentais e significativos sobre a concepção de energia.

A concepção de energia como agente causal, associada à tendência em se atribuir um caráter quase material a essas entidades, denuncia que o senso comum tende a interpretar os fenômenos a partir de um ponto de vista local, aonde as entidades e quantidades são concebidas como propriedades absolutas dos corpos. (HENRIQUE, 1996).

Vários autores têm destacado a importância do conceito de energia. Solbes e Tarín, (1998:71); Sevilla, (1986); Pérez-Landazábal et al., (1995) afirmam que a energia é como um elemento de ligação entre diferentes partes da física, destacando a importância desse conceito, tanto do ponto de vista científico, quanto tecnológico. Angotti (1991) afirma que a energia “é a grandeza que pode e deve, mais do que qualquer outra, balizar as tendências de ensino que priorizam hoje as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade”. Solbes e Tarín (1998) defendem que este conceito é apontado como “um dos mais potentes, frutíferos e unificadores da física clássica, julgando evidente a necessidade de introduzi-lo desde os primeiros anos de ensino secundário obrigatório”.

Para Auth e Angotti (2001) “a categoria unificadora do conceito de energia reúne potencial para articular tópicos de uma área intradisciplinar, bem como favorece que sejam estabelecidas relações com temas de outras áreas, em nível interdisciplinar.”

Solomon (1985) acredita que “o primeiro passo para a compreensão da idéia da conservação da energia vem da percepção da energia como uma quantidade contínua e mensurável”.

O conceito de energia, da forma como o entendemos hoje, é bastante recente. É um conceito abstrato e, portanto, apresenta algumas dificuldades para o ensino aprendizagem.

Além disso, como apresentado por Assis e Teixeira (2003:58), a palavra energia apresenta múltiplas utilizações e significados no cotidiano das pessoas. É muito importante explicitar esses diferentes significados e diferenciá-los do conceito científico. Acredito que neste caso seja muito difícil uma mudança conceitual, mas, pelo menos, que ocorra a aprendizagem do significado do conceito científico de energia.

Ainda em relação ao ensino do conceito de energia, Domenech et all. (2003) sugerem que podemos associar a energia, em uma primeira aproximação, à capacidade de produzir transformações e tais transformações nas configurações dos sistemas podem ser associadas à variações de energia em tais sistemas ou em partes dos mesmos.

Outro ponto ao qual não tem sido dada a devida importância é a questão de se considerar sistemas. Vários autores como Bauman (1992a), Mallinckrodt e Leff (1992), Van Huis e Van den Berg (1993), Van Heuvelen e Zou (2001) destacam a importância de se considerar o caráter sistêmico da energia para se contrapor às concepções dos estudantes que atribuem a energia a corpos específicos e não ao sistema formado pelos objetos que interagem. A energia é uma propriedade dos sistemas e não tem sentido falar em energia de um objeto isolado.

Beynon (1990) chama atenção sobre a importância de enfatizar que devemos trabalhar com a idéia de variação de energia e não com valores absolutos. Segundo ele não tem sentido pensar que é possível determinar o valor absoluto da energia de um sistema; somente podemos determinar suas variações, quando ocorre um determinado processo.

Uma outra preocupação manifestada por vários pesquisadores é em relação ao conceito de calor, pois vários autores confundem o conceito de calor com o de energia e alguns chegam a preconizar de a palavra calor deveria ser abolida. Segundo Domenech et all. (2003) “calor não é uma substância (calórico) nem tampouco uma forma de energia, como frequentemente se afirma, inclusive em livros textos. Um objeto ou um sistema não tem calor, do mesmo modo que não tem trabalho. O calor, da mesma forma que o trabalho, não é uma forma de energia, mas um mecanismo de troca de energia.”

Para Sevilla (1986), é necessário estar atento à freqüente confusão entre “calor” e “energia térmica”. Quando falamos em energia térmica estamos nos referindo a parte da energia interna associada com a temperatura. Ele destaca que o termo “calor” deve ser utilizado apenas para o processo de troca de energia que ocorre entre dois corpos a temperaturas diferentes. Ele destaca que, por exemplo, não é correto se falar em conversão de energia cinética em calor no processo em que um bloco pára devido ao atrito, mas que devemos falar de transferência de energia cinética em energia interna térmica.

Também para Bauman (1992b) as maiores dificuldades associadas ao desenvolvimento do conceito de calor são: i) a confusão entre calor e temperatura, ii) a concepção do calor como fluido material (teoria do calórico), iii) a freqüente interpretação do calor como uma forma de energia.

Para Domenech et all. (2003) a associação entre energia, interações e variações é importante no sentido de se chegar ao conceito de degradação. Segundo eles:

Como resultado das interações e conseqüentes transformações dos sistemas, a energia se degrada ou se distribui homogeneamente. Isto é, os sistemas isolados evoluem para os estados mais desordenados, que são mais prováveis: é mais provável, por exemplo, que as partículas de um sistema se agitem em todas as direções do que todas elas se movam em uma mesma direção. Essa evolução para configurações mais desordenadas faz com diminua a probabilidade de posteriores transformações espontâneas dos sistemas. Por isso se fala em degradação de energia e se introduz uma nova grandeza, a entropia S , que mede, de certa maneira, o grau de desordem, e que, portanto, a entropia de um sistema isolado sempre aumenta (mas a energia permanece constante).

... deveríamos dizer que a distribuição de energia (o crescimento da entropia) diminui a possibilidade de transformações ...macroscópicas dos sistemas isolados. É necessário insistir sobre esta precisão, (que não vemos tratada na literatura didática) porque as interações (e, portanto, as transformações) continuarão ocorrendo a nível submicroscópico. O que é realmente muito improvável (embora não impossível) são as transformações “macroscópicas” que pressupõem a obtenção de “ordem” a partir de “desordem”.

Essas idéias são reforçadas por Ogborn (1990) e Goldring e Osborne (1994). Para eles existe uma contradição que contribui para dificultar a compreensão dos estudantes. Segundo eles,

A compreensão dos processos de degradação e homogeneização da energia (crescimento da entropia) permite explicar a aparente contradição entre as expressões como “crise energética” e o princípio de conservação de energia: quando falamos de “consumo de energia”, “crise de energia”, etc., não queremos dizer que a energia desaparece,

mas que se homogeneíza e deixa de ser útil (a configuração do sistema já não permite que ocorram mudanças “macroscópicas”).

Até aqui destacamos alguns pontos que têm sido apontados como obstáculos para o processo ensino – aprendizagem do conceito de energia e os conceitos correlacionados. A seguir vamos apresentar alguns caminhos que são sugeridos e alguns fundamentos utilizados neste trabalho

2.3 Possíveis Caminhos para Vencer os Obstáculos no Ensino do Conceito de Energia e Sua Conservação.

As pesquisas sobre as concepções prévias e a questão da mudança conceitual bem como do modelo de perfil conceitual mostra a importância de se considerar o aluno como um agente ativo na construção de seu próprio conhecimento muito embora essas duas propostas puguem aspectos diferentes na construção do conhecimento. Enquanto a primeira prega a incorporação do pensamento científico com o conseqüente abandono das concepções prévias a segunda prega a democracia na convivência de ambas concepções.

Se por um lado o aluno tem seus próprios conhecimentos, sua maneira própria de pensar sobre o mundo, por outro a escola tem a obrigação de criar as condições para que ele vincule o que aprende com suas experiências e visão de mundo. Quando isso acontece, a escola aponta para o aprendizado significativo. Isso nos remete a seguinte questão: Qual a melhor estratégia para ensinar o princípio físico de conservação da energia no ensino médio? É possível o aluno conviver com os dois conceitos de energia, o do senso comum e o científico e empregá-los em seu dia-a-dia, conforme as circunstâncias? Para Peduzzi (2001), sim. Diz ela: “...a descrição da aprendizagem em ciências deve enfatizar o esforço de aumentar a capacidade dos estudantes em distinguir entre concepções apropriadas para cada contexto específico e não o esforço para mudar concepções já existentes entre os estudantes”. Então, como levar o aluno a construir conhecimento acerca de energia e de conservação de energia que seja significativo para sua vida, sem que ele abandone suas concepções prévias?

Para que ocorra uma aprendizagem significativa, o aluno deve relacionar um novo conhecimento a proposições e conceitos relevantes em estrutura cognitiva que já existem de forma clara e estável. Nesta perspectiva, o professor e os materiais instrucionais participam como mediadores da aprendizagem sendo que o professor deve adotar uma postura de mediador e o material deve ser potencialmente significativo.

A necessidade de implantação de métodos ativos e de uma escola ativa, não significa que a iniciativa seja totalmente do aluno. O diretivismo puro, como no ensino tradicional, leva ao conformismo e o não diretivismo puro leva à desorganização, insegurança ou mera repetição. Em relação a isso, Moreira (1999) coloca que “a implicação imediata da teoria de Piaget para o ensino é que ele deve ser acompanhado de ações e demonstrações e, sempre que possível, deve dar aos alunos a oportunidade de agir (trabalho prático)”. Ainda segundo o autor

“...estas ações e demonstrações devem estar sempre integradas à argumentação, ao discurso, do professor. Seria uma ilusão acreditar que ações e demonstrações, mesmo realizadas pelos alunos, têm em si mesmas o poder de produzir conhecimento: elas podem gerá-lo somente na medida em que estiverem integradas à argumentação do professor”. (MOREIRA, 1999)

Na prática da Educação, a análise dos obstáculos epistemológicos contribui para que se suplante o que Bachelard (1989 In LOPES, 1999) denomina de “*obstáculo pedagógico*”: entraves que impedem o aluno de empreender o conhecimento científico. A aprendizagem de um novo conhecimento é um processo de questionamento de nossas concepções prévias, a partir da superação dos obstáculos epistemológicos existentes nestes conhecimentos.

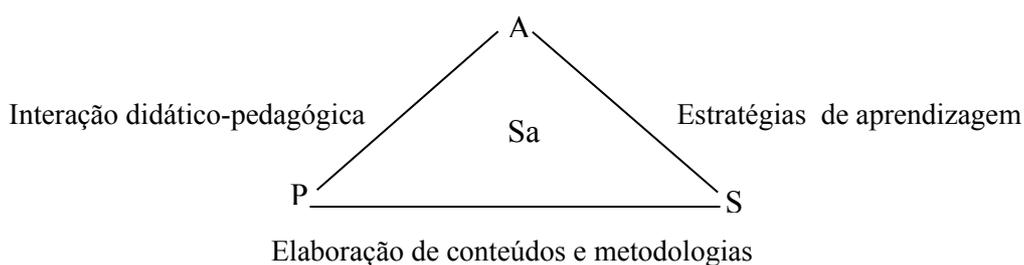
Para Bachelard (1989, in LOPES, 1999)

quando uma teoria diz não a outra, institui uma nova racionalidade setorial a um campo da ciência. Esta nova racionalidade limita a razão anterior, mas não necessariamente implica seu abandono. Pode existir a convivência plural de diferentes racionalidades. É evidente que duas coisas podem pertencer a dois corpos de racionalidade diferentes e que se podem opor em determinados pontos permanecendo válidas individualmente no seu próprio corpo de racionalidade. Esse é um dos aspectos do pluralismo racional que só pode ser obscuro para os filósofos que se obstinam em acreditar num sistema de razão absoluto e invariável.

A estrutura do ensino médio brasileiro vem se mostrando cada vez mais inadequada para atender às expectativas daqueles que nele buscam uma preparação para os desafios que esperam encontrar em um tempo posterior à escola. Esta não pode mais servir de mero cenário a contemplar passivamente as transformações que ocorrem no mundo, limitando-se a formatar seus alunos para se adaptarem ao ambiente atual. (RICARDO, 2004; CUSTÓDIO, 2004; REZENDE JUNIOR, 2004).

Ao contrário, a escola deverá proporcionar aos seus alunos uma formação que lhes permita encontrarem saídas e a buscar modelos alternativos. Assim, uma escola repetidora de práticas que visam a simples memorização e ao mero acúmulo de informações, desarticuladas dos acontecimentos sociais significativos, contribui muito pouco para a construção de um sujeito capaz de compreender sua realidade e nela atuar de modo crítico e criativo. (RICARDO, 2004; CUSTÓDIO, 2004; REZENDE JUNIOR, 2004).

O aluno não está separado do seu contexto social, inclusive com suas expectativas em relação ao que a escola pode lhe oferecer para alcançar seus objetivos pessoais e coletivos. A relação didática comporta um complexo conjunto de elementos que influenciam diretamente o seu funcionamento. De modo simplificado, é possível sintetizar essa relação no seguinte esquema:



A representa o aluno, **P** o professor, **S** o saber a ser ensinado, que não coincide necessariamente com o saber trabalhado na sala de aula, e **Sa** as situações de aprendizagem. Todas essas interações e mediações estão relacionadas entre si e ocorrem dentro de um sistema didático que, por sua vez, estaria inserido em um sistema de ensino, com influências externas e internas. (RICARDO, 2004 et al.).

Muitos professores e livros didáticos apresentam os conteúdos mascarando as dificuldades pelas quais passaram apresentando uma simplicidade que para o aluno basta

decorar as fórmulas e os principais conceitos, sem necessidade de se perguntar de onde vieram esses saberes.

Há dois aspectos do ensino da física na escola: a física enquanto cultura e enquanto possibilidade de compreensão do mundo. O ensino de física teria que pensar pelo menos nos seguintes processos: situação – problema – modelo, entendendo-se situação nesse caso como sendo a referência de uma idéia física, a saber, a realidade. Essa é uma característica da física: a de modelizar a realidade para entendê-la; obter meios para enfrentar um determinado problema. O entendimento dessa dinâmica constitui uma importante competência, dentro da grande competência de investigação e compreensão, e está estreitamente relacionada à contextualização e interdisciplinaridade. (RICARDO, 2004 et al.)

Pietrocola (2005) defende que

a física como conhecimento só poderá ser integrada ao patrimônio intelectual dos indivíduos caso ela possa ser percebida em ligação com o mundo que nos cerca. É necessário mostrar na escola as possibilidades oferecidas pela física e pela ciência em geral como formas de construção de realidades sobre o mundo que nos cerca.

Ainda **Peduzzi (2001)** afirma que na literatura existe um relativo consenso a respeito das estratégias a serem utilizadas de modo a favorecer a mudança conceitual do conjunto de idéias que os estudantes trazem para a sala de aula para aquele aceito pela ciência. Segundo ele, para que isso ocorra, é importante que: os alunos se conscientizem de suas próprias concepções alternativas;

- a) o modelo científico e o alternativo sejam comparados quanto ao seu poder explicativo e suas limitações;
- b) o modelo científico seja aplicado em situações conhecidas e novas;
- c) suas concepções sejam analisadas e discutidas em sala de aula. Para isso, pode-se fazer uso:
 - de experiência de laboratório, tanto em nível qualitativo quanto quantitativo (Clement, 1982);
 - da apresentação de exemplos e contra-exemplos (Miguel, 1986);
 - da resolução de problemas;
 - da discussão de aspectos ligados à História da Ciência como forma de estabelecer um paralelismo.

Posner, Strike, Hewson e Gertzog (In Pietrocola, 2005) postularam quatro condições necessárias a uma mudança conceitual:

- a) deve haver descontentamento com as concepções existentes;
- b) uma idéia ou conceito novo deve ser inteligível;
- c) uma idéia ou conceito novo deve parecer inicialmente plausível e;
- d) uma idéia ou conceito novo deve ser útil.

Peduzzi (1999) analisando a mudança conceitual à luz das teorias de Ausubel, Novak e Gowin, diz que a mudança conceitual no sentido de adotar a concepção científica e abandonar a alternativa é muito difícil, pois as concepções alternativas são produtos de aprendizagem significativa, ou seja, são idéias que tem significado para o aluno.

Para Mortimer o modelo de perfil conceitual

...permite entender a evolução das idéias dos estudantes em sala de aula não como uma substituição de idéias alternativas por idéias científicas, mas como a evolução de um perfil de concepções, em que as novas idéias adquiridas no processo de ensino-aprendizagem passam a conviver com as idéias anteriores, sendo que cada uma delas pode ser empregada no contexto conveniente. Através dessa noção é possível situar as idéias dos estudantes num contexto mais amplo que admite sua convivência com o saber escolar e com o saber científico.

Para Peduzzi (1999)

Seja sob a perspectiva do modelo de mudança conceitual de Posner ou do modelo de perfil conceitual, é imprescindível que seja feito um esforço maior do que o atual para tratar as concepções alternativas, sendo necessário familiarizar o professor com o modo de o aluno entender a realidade e orientá-lo para o uso de estratégias que favoreçam a sua conscientização sobre seus modelos conceituais.

As pesquisas em ensino de física já somam um grande conjunto de concepções espontâneas e representações dos alunos que persistem mesmo após a conclusão da escolaridade básica, conclui Ricardo (2004).

Ferracioli (2001) afirma que parece *não* existir soluções definitivas sobre como articular o processo de ensino-aprendizagem, formal e não formal, no sentido de promover a evolução conceitual das diferentes concepções do senso comum para a conceituação científica de energia dentro de uma perspectiva do *publicentrismo*. Segundo o autor,

...uma possível abordagem no estudo do conceito de energia é através da Segunda Lei da Termodinâmica, que explicita que todo processo natural ocorre devido a circunstâncias específicas naturalmente ou intencionalmente pré-fixadas e ocorre em direção ao equilíbrio atingindo um estado de máxima dispersão de energia.

Solomon In Santos (1999) acredita que tanto um cientista quanto os estudantes devem ser capazes de pensar em ambos os *domínios de conhecimento*, científico e de senso comum, por forma de manterem sua capacidade de comunicação com as pessoas em geral, mas, para isso, é necessário que estejam bem conscientes da existência desses dois domínios e dos significados distintos das palavras em cada um deles.

Como vimos, as pesquisas apontam possíveis caminhos para o processo ensino-aprendizagem do conceito de energia e sua conservação. Entretanto pelo levantado na pesquisa bibliográfica, se faz necessário realizar mais esforços para que esses resultados possam chegar à sala de aula. Dessa forma, a nossa proposta busca levar algumas dessas idéias para a sala de aula.

A fundamentação do presente trabalho baseia-se na observação das concepções espontâneas de energia, na participação ativa do aluno, no trabalho com atividades contextualizadas e na construção de modelos.

3 METODOLOGIA

Diante do que foi exposto nos capítulos anteriores fica claro a importância de se trabalhar o ensino de energia, a conservação de energia e a degradação de energia: i) pela sua relevância na formação conceitual para a compreensão de fenômenos da natureza, ii) pela inadequada apresentação do tema nos livros didáticos, iii) pela necessidade de propiciar uma nova abordagem para o trabalho do professor em sala de aula. Cabe ressaltar que a pesquisa teve como objetivo, além de destacar os aspectos citados, elaborar uma seqüência de atividades para trabalhar o tema energia, integrando conteúdo e metodologia. Tal seqüência pode ser utilizada por professores do ensino médio.

Dessa forma, das questões de estudo derivam orientações como:

- Elaborar atividades e recursos didático – pedagógicos para uma abordagem contextualizada para o tema energia e sua conservação;
- Desenvolver a proposta de abordagem do tema energia e sua conservação com alunos do ensino médio.

Neste capítulo relatamos o percurso metodológico seguido para alcançar os objetivos propostos.

3.1 O Contexto da Pesquisa

A primeira etapa da pesquisa foi fazer um amplo levantamento de pesquisas já realizadas em relação ao tema. Como mostrado no cap 2, o número de pesquisadores preocupados com esse tema é bastante grande. Além disso, foi feito um levantamento sobre como esses conteúdos são apresentados em alguns livros didáticos ou similares. Tendo os resultados desses estudos como parâmetros norteadores foi elaborada uma seqüência de atividades para trabalhar o tema energia e sua conservação, integrando conteúdo e metodologia. Procurou-se sempre contextualizar as atividades considerando-se situações da natureza que fazem parte da vivência dos alunos.

O material elaborado foi aplicado em uma turma regular de primeiro ano do ensino médio do CEFET/NATAL onde o mestrando estava trabalhando (hoje transferido para O CEFETMT - CUIABÁ). A turma era composta de 29 alunos com faixa etária de 16 anos e que o mestrando assumiu em substituição a outro professor. Essa turma tinha três aulas semanais de 45 minutos, sendo uma aula nas segundas feiras e duas conjugadas nas quintas feiras. O material foi aplicado em 15 aulas.

Algumas dificuldades foram encontradas porque o material foi aplicado nas 15 aulas do último bimestre devido ao movimento de greve dos servidores do CEFETR, além do que o pesquisador já estava com data marcada para se apresentar ao CEFETMT, para onde tinha sido transferido. Isso fez com duas aulas extras fossem marcadas para o procedimento final de avaliação e entrega dos resultados.

Consideramos que os conteúdos tratados nessa proposta requerem que os alunos tenham familiaridade com as leis de Newton e com as relações para descrição dos movimentos.

O Questionário Inicial e a Etapa de Problematização

O trabalho com os alunos foi iniciado com a aplicação de um questionário para levantamento das suas concepções prévias. Foi explicado aos alunos que as aulas seguintes, no que se referia ao material, conteúdo e metodologia, faziam parte de um trabalho de pesquisa envolvendo a produção de material didático e de novas abordagens no ensino. Foi explicado ainda que eles estavam vivendo a fase de aplicação do material e por consequência eles formavam uma parte fundamental do laboratório da pesquisa e que suas opiniões e sugestões seriam importantes no processo.

Após as informações iniciais, antes de apresentar qualquer tipo de conhecimento relacionado à energia e sua conservação, foi aplicado um questionário (apêndice A) envolvendo situações relacionadas com a idéia de energia e de sua conservação. O objetivo foi o de levantar as concepções prévias sobre esses assuntos e verificar qual era o nível de conhecimento que os alunos tinham sobre os mesmos. Foi informado que eles não se preocupassem com o certo e o errado nas respostas, mas que o importante era a opinião sincera no seu preenchimento. O questionário foi aplicado em aula dupla de 45 minutos cada e respondido em aproximadamente 01h10min.

O questionário inicial constitui parte importante da metodologia deste trabalho. Nessa proposta fizemos a comparação das respostas dadas inicialmente a essas perguntas com as respostas dadas ao mesmo questionário, acrescido de outras perguntas específicas, que foi aplicado no final do curso.

O questionário inicial foi composto de sete situações de fácil compreensão para os alunos, envolvendo energia e sua conservação. Quatro delas foram escolhidas do trabalho de BROOK and DRIVER (1984) e as outras três foram elaboradas pelo pesquisador. As questões

são importantes porque ajudam a alimentar a futura discussão e a servir de exemplos contextualizados sobre os conceitos a serem aprendidos.

Após a aplicação do questionário foi feita uma discussão (uma aula) sobre cada uma das questões para explicitar as idéias dos alunos e criar conflitos em relação às diferenças apresentadas. Além disso, ao longo de toda aplicação do material houve uma retomada dessas questões. Todavia, deve-se lembrar que não se pretende neste trabalho, esgotar a discussão acerca da energia e seu princípio de conservação e degradação.

Nessa etapa de problematização as respostas do questionário inicial foram analisadas e os questionamentos feitos sobre cada uma das questões para orientar as discussões, estão apresentados no apêndice B.

3.3 Revisão: O Comportamento Dinâmico do Sistema Terra+bola

Considerou-se necessário fazer a revisão de alguns conceitos de dinâmica aplicados diretamente a um sistema que será considerado nas aulas futuras, que é a queda de uma bola de borracha no campo gravitacional da Terra (apêndice C). Aqui introduzimos a descrição do STB (sistema Terra + bola) utilizando as leis de Newton (força, aceleração, interação). Em aulas subseqüentes esse sistema é retomado e analisado do ponto de vista de energia e sua conservação. Neste caso achamos importante que o aluno perceba que há mais de uma maneira de descrever as situações na natureza.

Nesse estudo preliminar, com o objetivo de levantar as condições para se estudar energia relacionada com campo gravitacional próximo da Terra, se procurou investigar: i) o motivo pelo qual a bola cai quando solta de uma altura h em relação ao solo, ii) para que altura em relação ao solo o valor de g pode ser considerado constante, e conseqüentemente a força peso pode ser considerada constante, iii) porque as equações da cinemática para movimentos com aceleração constante podem ser aplicadas para movimentos próximos da Terra.

Consciente das concepções prévias dos alunos, algumas perguntas problematizadoras foram feitas procurando motivá-los para o estudo que seria desenvolvido: uma bola é elevada até certa altura em relação ao solo e depois é abandonada. Por que a bola cai? O que determina a sua queda? Será que a bola e a Terra interagem e essa interação determina a queda da bola? E a Terra, também cai para a bola? Se ela cai, por que não percebemos? Podemos considerar a Terra e a bola como um sistema?

Para direcionar o estudo foi elaborado pelo pesquisador o material apresentado no apêndice C e entregue aos alunos. Esse material procurou destacar o sistema físico Terra-bola como um sistema fechado em que a força de atração gravitacional como proposta por Newton é a responsável pela queda da bola. Foi discutido o conceito de sistema físico fechado como também o conceito de força interna.

Para compreender a força peso como constante uma descrição matemática da aceleração devido à gravidade (g) foi realizada e uma tabela com os valores de g foi construída. Na tabela consideramos alturas de $h = 0$ m (nível do mar) até a altura $h =$ distância terra – lua $D_{TL} = 3,84 \times 10^8$ m (centro-centro). Procuramos mostrar também, pela descrição matemática, que o valor da aceleração devido à gravidade não depende da massa do corpo de prova.

Sabendo que a aceleração g não depende da massa e considerando seu valor constante para pequenas alturas, passamos a considerar que todos os corpos caem, com a mesma aceleração, a mesma velocidade e chegam ao solo no mesmo intervalo de tempo, quando soltos da mesma altura h em nosso laboratório. Não consideramos a resistência do ar, muito embora seja necessário para determinadas situações como a chuva, o pára-quedas e a folha de papel, etc. Foi essencial estabelecer um referencial para determinar um ponto a partir do qual as distâncias são medidas e também para estabelecer o sentido positivo para o movimento. Como estamos na Terra o nosso referencial escolhido foi o solo.

Nesta aula construímos a idéia de que a força interna (força peso) desencadeará uma mudança na configuração do sistema Terra + bola. Ressaltamos o sistema como fechado e que a força gravitacional (ação e reação prevista pela terceira lei de Newton) é uma força interna e por isso não altera a quantidade de movimento do mesmo.

Um aluno destacou a força gravitacional como energia que a bola possuía e por isso ela podia cair. Identificamos a confusão entre força e energia respondida no questionário.

Ao final da aula foi feita uma síntese para consolidar as idéias básicas

- A massa M_T da Terra e a massa m constituem um sistema. Para um sistema existe um ponto denominado Centro de Massa que fica fixo para as interações internas ao sistema;
- A massa da Terra e a massa m estão ligadas pela força gravitacional: $f_g = -G \cdot \frac{M_T \cdot m}{r^2}$, que é a chamada força peso;
- Ação mútua (terceira lei de Newton – ação e reação);

- O mesmo valor da força atua nas duas massas: a intensidade da força que a Terra exerce sobre uma massa m qualquer é igual à força que a massa m exerce sobre a Terra (pois depende do produto das massas). Atenção os efeitos são diferentes, pois as massas são diferentes - segunda lei de Newton;
- O valor da aceleração da gravidade $g(r \geq R_T) = G \cdot \frac{M_T}{(R_T + h)^2}$ varia com h (ou com a distância ao centro da Terra), mas pode ser considerada constante para pequenos valores de h em comparação com o raio da Terra;
- Como a aceleração não depende da massa do corpo, temos que todos os corpos caem com a mesma aceleração e chegam ao solo no mesmo intervalo de tempo e com a mesma velocidade, se soltos da mesma altura h . (não considerando a resistência do ar que é necessário considerar em determinadas situações: chuva, para quedas, folha de papel, etc.);
- O nosso referencial básico é a Terra porque estamos na Terra. Toda a descrição que fazemos do movimento leva em conta esse fato embora não tenhamos consciência disso;

3.4 Modelagem e Linguagens da Física

As leis físicas são modelos construídos ao longo dos anos pelos cientistas para interpretar a natureza. Entendemos que é necessário para uma melhor aprendizagem que o aluno compreenda a idéia de modelo e de como essa idéia é importante na física. Por isso explicamos aos alunos que no decorrer do trabalho algumas atividades seriam desenvolvidas para se construir uma idéia (modelo) que daria suporte a compreensão do conceito de energia e sua conservação.

Explicamos que o modelo teórico é o tipo de modelo mais importante utilizado pela ciência e que é definido como um conjunto de pressupostos que tratam de explicar um objeto ou sistema atribuindo ao objeto ou sistema, uma estrutura ou mecanismo interno. Esclarecemos que essas estruturas ou mecanismos é o responsável por certas propriedades do objeto ou sistema descrito pelo modelo e que, no caso dos modelos físicos, além dessas características, eles devem ser expressos na forma de equações matemáticas.

Explicamos que a compreensão física da natureza só se estabelece quando um modelo conceitual ou objeto modelo se estabelece cientificamente.

Para concretizar essas idéias foi realizada uma atividade (apêndice D) onde se estudou o comportamento dinâmico de três molas helicoidais diferentes. A atividade foi realizada no laboratório de física em grupo de três alunos. Os alunos fizeram a montagem e as medidas da variação de comprimento das molas quando várias massas são penduradas na extremidade das molas. Foi construída uma tabela contendo: i) os valores das forças aplicadas, ii) os valores dos comprimentos das respectivas molas, iii) as variações de comprimento de cada mola. Durante o processo de medição foi feita uma discussão sobre precisão de medidas. Com os valores registrados na tabela foram marcados os pontos em uma folha de papel milimetrado, e nessa oportunidade, foi feita uma discussão sobre como utilizar o papel milimetrado. Em seguida discutiu-se como, a partir de um conjunto de pontos, se pode traçar um gráfico e, como a partir desse gráfico se pode obter uma relação matemática (modelo matemático) para descrever o comportamento de uma mola genérica qualquer.



Figura 1. Fotografia dos alunos em atividade no laboratório

Foi destacado que, a partir do traçado da melhor curva que representa os dados, fica representado, registrado no papel, o salto que o ser humano dá para a construção de um modelo e que ao considerarmos o modelo abandonamos a realidade dos dados e passamos a representar sua **idealização**. Foi importante ressaltar que as três molas têm comportamentos semelhantes e por isso podem ser representadas por uma mesma relação matemática e que todas as diferenças entre as molas (formato, material, espessura do fio, etc.) estão na constante elástica **k**. Aqui também se estabeleceu a idéia de **objeto-modelo**.

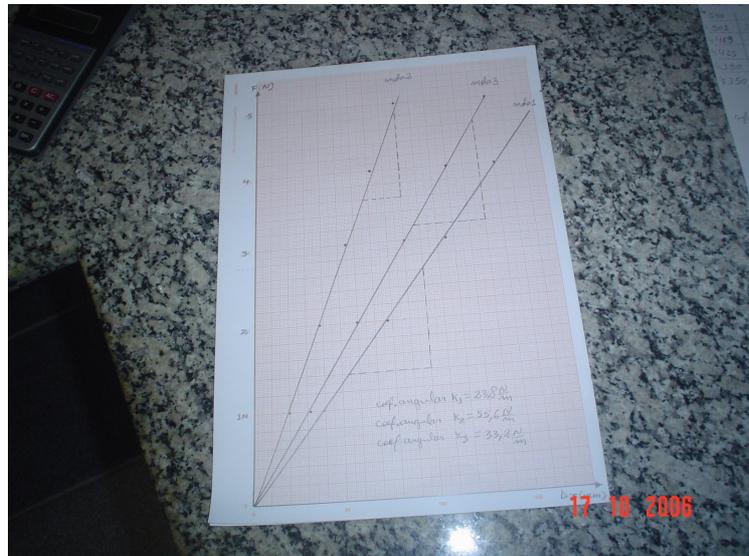


Figura 2. Representação em papel milimetrado da melhor curva que representa o conjunto de dados coletados

Entretanto foi necessário frisar que os procedimentos adotados não são os únicos e que não é a partir de uma quantidade discreta e singular de dados que um modelo se estabelece como conhecimento científico, mas que o processo de desenvolvimento do conhecimento científico é muito mais complexo e no caso dos procedimentos utilizados nas atividades experimentais, um conhecimento só adquire a condição de conhecimento científico após ser exaustivamente discutido e testado. Além disso os modelos construídos apresentam um limite de validade que precisa ser estabelecido. No caso de uma mola real existe um limite, denominado limite elástico, a partir do qual essa equação não pode ser utilizada, pois a mola não se comporta mais segundo a lei de Hooke.

Esclarecemos que embora o modelo construído fora para uma mola helicoidal ideal, ele pode ser generalizado para qualquer corpo que apresente comportamento elástico, apenas é claro, equacionado diferentemente porque nem todos se deformam da mesma maneira o que é o caso da bola de borracha cuja deformação não se processa da mesma forma que a mola helicoidal. Além do que existe ar dentro da bola cuja deformação também se processa diferentemente.

Síntese das idéias importantes a serem compreendidas:

- Comportamento elástico – um corpo se deforma quando é submetido a esforço paralelo;
- Mola helicoidal – mola em forma de espiral;
- Eixos coordenados – eixos das abscissas (x) e ordenadas (y) que forma entre si, 90 graus;
- Papel milimetrado – papel subdividido em milímetros destinado para construção de gráficos;
- Objeto modelo – objeto idealizado que serve como padrão;
- Idealização – extrapolação ou generalização de uma idéia;
- Coeficiente angular – um valor numérico que expressa um ângulo, não tem dimensão física;
- Constante elástica – um valor que caracteriza ou identifica uma mola no seu comportamento elástico;
- Força elástica – força exercida por uma mola quando é deformada.

3.5 Contextualizando as Idéias de Feynman: contando bolas de gude.

3.5.1 As idéias de Feynman: energia como quantidade

Uma das idéias centrais para se estabelecer o conceito de energia e de sua conservação, como apresentada neste trabalho, foi proposta por Feynman (2001) em seu livro “Física Em Seis Lições”. Feynman considera que a energia é como algo abstrato que se conserva e que pode ser calculada por diferentes algoritmos de acordo com o estado do sistema. Segundo Feynman

Existe um fato ou, se você preferir, uma *lei* que governa todos os fenômenos naturais conhecidos até agora. Não se conhece nenhuma exceção a essa lei – ela é exata, pelo que sabemos. A lei chama-se *conservação de energia*. Segundo ela, há certa quantidade, que denominamos energia, que não se modifica nas múltiplas modificações pelas quais passa a natureza. Trata-se de uma idéia extremamente abstrata, por ser um princípio matemático; diz que há uma quantidade numérica que não se altera quando algo acontece. Não é a descrição de um mecanismo ou de algo concreto; é apenas o fato estranho de que

podemos calcular certo número e, quando terminamos de observar a natureza em suas peripécias e calculamos o número de novo, ele é o mesmo.

Por se tratar de uma idéia abstrata Feynman utiliza de uma analogia para desenvolver seu raciocínio em que a lei da conservação da energia é apresentada.

3.5.2 A Analogia : contando uma quantidade cubos

Como se trata de uma idéia central no trabalho apresentamos a seguir, textualmente, a metodologia indicada por Feynman (1999) para se introduzir o conceito de energia como uma grandeza abstrata e que se conserva. Assim,

Imagine uma criança, talvez “Denis, o Pimentinha”, que possui cubos absolutamente indestrutíveis e que não podem ser divididos em pedaços. Todos são idênticos. Suponhamos que possui 28 cubos. Sua mãe o coloca com seus 28 cubos em um quarto no início do dia. No final do dia, sendo curiosa, ela conta os cubos com cuidado e descobre uma lei fenomenal – não importa o que ele faça com os cubos, restam sempre 28! Isto prossegue por vários dias, até que um belo dia só há 27 cubos, mas uma pequena investigação mostra que um deles foi parar debaixo do tapete – ela tem de procurar por toda a parte para se assegurar de que o número de cubos não mudou. Um dia, porém, o número parece mudar – só há 26 cubos. Uma investigação cuidadosa indica que a janela foi aberta e, após uma procura lá fora, os outros dois cubos são encontrados. Outro dia, uma contagem cuidadosa indica que há 30 cubos! Isso causa uma consternação considerável, até que se descobre que Bruce fez uma visita, trazendo consigo seus cubos, e deixou alguns na casa de Denis. Depois de se desfazer dos cubos extras, a mãe fecha a janela, não deixa Bruce entrar e, então, tudo volta às mil maravilhas, até que um dia ela conta os cubos e só encontra 25. Entretanto, há uma caixa no quarto, uma caixa de brinquedos, e, quando a mãe tenta abri-la, o menino protesta: “Não, não abra minha caixa de brinquedos”. A mãe não pode abrir a caixa de brinquedos.

Sendo extremamente curiosa e um tanto engenhosa, ela inventa um truque! Ela sabe que um cubo pesa 84 gramas; assim, pesa a caixa certa vez em que vê 28 cubos e descobre que seu peso são 448 gramas. Da próxima vez em que quer verificar o número de cubos, pesa a caixa de novo, subtrai 448 gramas e divide o resultado por 84. Descobre o seguinte:

$$(\text{número de cubos visíveis}) + \frac{(\text{peso da caixa} - 448 \text{ gramas})}{84 \text{ gramas}} = \text{constante } 28 \quad (4.1)$$

Passado algum tempo, parece haver novo desvio, mas um exame cuidadoso indica que a água suja na banheira está mudando de nível. O menino está jogando cubos na água e ela não consegue vê-los devido à sujeira, mas consegue descobrir quantos cubos há na água acrescentando outro termo à fórmula. Como a altura original da água era 15 centímetros e cada cubo eleva a água meio centímetro, a nova fórmula seria:

$$(\text{n}^\circ \text{ de cubos visíveis}) + \frac{(\text{peso da caixa} - 448 \text{ gramas})}{84 \text{ gramas}} + \frac{(\text{altura da água} - 15 \text{ cm})}{0,5 \text{ cm}} = 28 \quad (4.2)$$

Como aumento gradual da complexidade de seu mundo, ela descobre toda uma série de termos representando meios de calcular quantos cubos estão em lugares que ela não pode olhar. Como resultado, encontra uma fórmula complexa, uma quantidade que tem que ser calculada e que sempre permanece idêntica em sua situação.

Após apresentar a analogia, Feynman esclarece qual a sua relação com a conservação de energia. Ele diz que “o aspecto mais notável a ser abstraído é que *não há cubos*. Se retiramos os primeiros termos de (4.1) e (4.2), estaremos calculando coisas mais ou menos abstratas”. Ele destaca ainda alguns pontos em sua analogia.

Primeiro, quando calculamos a energia, às vezes parte dela deixa o sistema e vai embora ou, outras vezes, alguma entra no sistema. Para verificar a conservação de energia, é preciso ter cuidado para não colocar ou retirar energia. Segundo, a energia tem um grande número

de formas diferentes, e há uma fórmula para cada uma. Elas são: energia gravitacional, energia cinética, energia térmica, energia elástica, energia elétrica, energia química, energia radiante, energia nuclear, energia da massa. Se totalizarmos as fórmulas para cada uma dessas contribuições, ela não mudará, exceto quanto à energia que entra ou sai.

Dessa maneira Feynman procura mostrar que a **energia é algo abstrato que pode ser verificado por diversos algoritmos sendo um para cada estado do sistema**. Os diferentes nomes atribuídos às diferentes maneiras para se calcular a energia ou a sua variação, leva à falsa interpretação de que existem diferentes tipos de energia. Esses nomes decorrem dos parâmetros empregados para escrever os algoritmos com o qual medimos a variação da energia. Parâmetros como: altura, velocidade, temperatura, deformação, etc.

Para Feynman “é importante perceber que, na física atual, ignoramos o que é energia. Não temos um quadro de que a energia vem em pequenas gotas de magnitude definida. Não é assim. Porém, há fórmulas para calcular certa quantidade numérica e, ao somarmos tudo, o resultado é “28” - sempre o mesmo número”.

As idéias de Feynman foram transpostas para a sala de aula através de uma atividade em que os cubos foram substituídos por bolas de gude (elemento que está mais próximo da vivência dos alunos) e o quarto foi substituído pela casa do Rafael (nome do menino). O texto escrito que foi trabalhado com os alunos está no apêndice E.

Alguns conceitos importantes trabalhados nessa atividade foram:

- Sistema físico – um corpo ou conjunto de corpos que são tratados isolados do seu entorno;
- Sistema físico isolado – um corpo ou conjunto de corpos que hipoteticamente interage apenas entre si. Um exemplo é o quarto do Rafael em que o garoto brinca, sem que as bolas de gude possam sair;
- Sistema físico aberto – um corpo ou conjunto de corpos que podem além de interagir entre si, interagem também com seu entorno. Um exemplo é o quarto do Rafael em que o garoto brinca, e as bolas de gude podem sair;
- Parâmetro de medida – grandeza física como massa, comprimento, velocidade, etc.;
- Algoritmos: expressões matemática para descrever determinada situação ou estado do sistema, principalmente em relação à variações de alguma grandeza.

3.6 Aplicando as Idéias de Feynman

Nesta atividade o STB é retomado e a idéia da **energia como algo abstrato que se conserva em um sistema fechado** é desenvolvida através da analogia apresentada. Para desenvolver a idéia uma atividade mediadora foi realizada. A atividade mediadora se constitui de uma bola de borracha de 50g (0,05kg) que é elevada até uma altura h por um agente externo (em sala de aula foi colocado como sendo o próprio aluno) e, em seguida essa bola é abandonada em queda livre, de 2m de altura em relação ao solo, e após bater várias vezes no solo rígido e horizontal a bola acaba parando. A pergunta crucial para a qual procuramos resposta é, após analisar a evolução do STB, qual a diferença entre a situação inicial em que a bola estava em repouso no piso e aquela final?

Para fazer uma análise mais detalhada a evolução do sistema foi dividida em etapas. O texto desenvolvido apresentando todo o roteiro e as atividades estão apresentadas no Apêndice F. Na primeira etapa foi introduzida a palavra trabalho que foi sendo caracterizada aos poucos ao longo do texto e a palavra interação externa causando uma interferência no STB. Na segunda etapa (a queda da bola até o piso) foi mostrado que há uma quantia que se conserva ao longo da evolução do sistema. Ao cair a bola, que está inicialmente na altura h , tem velocidade inicial igual à zero que aumenta até chegar ao solo, onde está na altura zero. Foi mostrado que esta situação da segunda etapa pode ser descrita por um algoritmo

$$\text{Quantidade inicial} = mgh = \frac{1}{2}mv^2 = mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 = \text{constante} \quad (\text{segunda etapa})$$

Com o objetivo de tratar a questão de “transformação de energia”, que é uma terminologia muito utilizada (mas não recomendada sob o ponto de vista da nossa abordagem), foi perguntado se a quantidade inicial (mgh) tinha se transformado na quantidade final ($\frac{1}{2}mv^2$). Um aluno respondeu que não porque não sabíamos o que era essa quantidade. Nesse ponto foi construído o conceito de energia como algo abstrato. Não se pode afirmar que a energia se transforma de um “tipo” para outro como alguns livros didáticos apresentam. A energia é que pode ser calculada através de algoritmos diferentes, mas energia é energia. Foi chamado a atenção que, em função dos parâmetros que são utilizados para calcular essa quantidade, se utiliza nomes diferentes tais como: i) a energia relacionada com a posição relativa das massas do sistema (energia potencial gravitacional), ii) a energia relacionada com

o movimento (energia cinética), mas que a energia é uma quantidade matemática abstrata quantificada por meio de algoritmos diferentes. A palavra transferência, embora o seu uso dê a idéia de que a energia é algo material, foi utilizada por ser menos comprometedora do que a palavra “transformação” e por absoluta falta de linguagem adequada.

Foi destacado ainda que o campo gravitacional é conservativo e que o trabalho externo realizado pelo aluno é $W_{\text{ext}} = mgh$ e que este é exatamente igual à variação de energia do STB. Nessa oportunidade foi discutido de onde vem a energia que o aluno transferiu para o STB. Além disso, foi introduzida a idéia de trabalho mecânico como sendo o produto da força pela distância percorrida, desde que a força fosse paralela à trajetória e que, se isso não ocorresse seria necessário calcular a componente da força ao longo da trajetória.

Na terceira etapa analisamos a colisão da bola elástica com o piso. Observando a bola em queda tocar o solo, percebe-se que ela para por um instante e depois torna a subir. O que acontece nesse pequeno intervalo de tempo que determina a completa parada da bola?

Trabalhamos a idéia de que não havia contato direto entre a Terra e a bola, mas apenas uma aproximação muito pequena que não podíamos perceber. Que esse “contato” era em verdade o efeito de uma força de natureza eletromagnética variável que se processava num intervalo de tempo muito pequeno e por isso não a estudaríamos matematicamente, mas apenas qualitativamente.

Para melhorar a compreensão do que estava ocorrendo durante a colisão da bola com a superfície, trabalhamos um outro sistema importante que é o **sistema massa + mola + superfície (SMMS)**.

Nesta situação o aluno, como agente externo, empurrou a massa m contra a mola e depois soltou, deixando o sistema evoluir até o corpo ser empurrado pela mola e parar depois de percorrer uma distância d .

A pergunta crucial aqui foi a mesma já apresentada. Qual é a diferença entre o estado inicial (em que o bloco está em repouso e antes de o aluno comprimir a mola) e o estado final após a evolução, em que a mola está em seu estado natural e o bloco está em repouso?

Mostramos que essa situação é bastante semelhante à situação anterior em que um agente externo interferiu no sistema fazendo variar a sua energia. Essa situação também foi considerada em 3 etapas. Na primeira se considerou o trabalho externo do aluno obtendo-se uma expressão diferente em função da força ser diferente como já estudado em aulas anteriores.

Na segunda etapa (a mola empurra o bloco de massa m) foi trabalhada a idéia de energia potencial elástica do SMMS ($\frac{1}{2}k x^2$), energia total do sistema em um estado intermediário, chegando à expressão:

$$EM = Ep_e + Ec_b = \frac{1}{2} m v_1^2 + \frac{1}{2} k x_1^2 = \frac{1}{2} k x_{\max}^2 = \frac{1}{2} m v_{\max}^2$$

De uma forma geral escrevemos para qualquer estado do SMMS

$$W_{\text{ext}} = \Delta E = \Delta Ep_e + \Delta Ec_b$$

Na terceira etapa a mola volta ao seu estado normal e o bloco para após percorrer uma distância d . Portanto, temos que a mola volta ao seu estado natural e o bloco também está em repouso. Os alunos foram instigados a explicar para onde foi a energia que o aluno transferiu para o sistema?

Depois da discussão se fez necessária a intervenção do professor. Foi destacado que, se observarmos cuidadosamente as superfícies do bloco e da mesa, notaremos que elas estão ligeiramente aquecidas (é comum as pessoas esfregarem as suas mãos para aquecê-las). Verifique. Podemos assim identificar que a energia que você transferiu para o sistema, foi transferida inicialmente para a mola (energia potencial elástica), que interagiu com o bloco transferindo-a para ele (energia cinética) e por último o bloco interagiu com a superfície através do atrito e a transferiu para o bloco e para a mesa. Explicamos que neste estado do sistema dizemos que a energia se transferiu para os átomos e moléculas que compõem o bloco e a mesa. Dizemos que agora temos energia interna do bloco e energia interna da mesa.

Neste caso do SMMS para levar em conta todos os possíveis estados (configurações) do sistema escrevemos a equação:

$$W_{\text{ext}} = \Delta E = \Delta Ep_e + \Delta Ec + \Delta E_{\text{int}}$$

Em que

W_{ext} = trabalho realizado sobre o SMMS pela força externa.

ΔE = variação da energia total ou mecânica do SMMS

ΔEp_e = variação da energia potencial elástica da mola

ΔEc = variação da energia cinética do bloco como um todo

ΔE_{int} = variação na energia interna do bloco e da superfície

Foi chamado a atenção para a importância das interações que neste caso são: i) interação externa empurrando o bloco contra a mola, ii) interação interna da mola empurrando o bloco, iii) interação interna de atrito entre as duas superfícies. Foi enfatizado que sempre que há uma interação, seja ela interna ou externa, há uma mudança no estado do sistema. Para cada interação há um algoritmo próprio para se calcular a transferência de energia que ela desencadeia no sistema.

Chamou-se a atenção que quando a **mudança é forçada por um agente externo** temos o estabelecimento de um **estado de desequilíbrio** (neste caso a mola é comprimida). Quando a **mudança do sistema é espontânea** ela ocorre sempre no sentido de procurar o seu **estado de equilíbrio**. Com o intuito de ir introduzindo uma generalização chamou-se a atenção para o fato que podemos ter um trabalho externo negativo e que, neste caso, em vez de transferir energia para um sistema qualquer, é o sistema que transfere energia para a sua vizinhança.

Após ter avançado na construção de um modelo para a descrição do SMMS, retomamos o STB para, à luz das novas idéias e conceitos, completar a sua descrição.

Na descrição da terceira etapa, isto é, na descrição do processo de colisão, foi apontado que aqui se trata de um sistema mais complicado que a mola e que, sendo a bola um sistema mais complicado, não havia um modelo matemático simples para descrever o que acontece com ela, com o ar em seu interior e com a superfície do piso. Entretanto, por analogia podemos dizer que parte da energia cinética com que a bola toca o piso é, momentaneamente, transferida para energia potencial elástica da bola e do ar em seu interior. Explicamos que da mesma forma que ocorre na mola, essa energia é transferida de novo para a bola e esta sobe até a altura $h' < h$. Depois de repetir esse processo por várias vezes a bola acaba parando sobre o piso. Explicamos que a diferença é que, no caso da bola, parte da energia cinética antes de cada colisão não retorna para elevar a bola, ficando como energia interna da bola e da superfície nesse estado do STB a bola está em repouso na superfície.

Para complementar esse raciocínio utilizamos pedaços de arame onde foram feitas várias flexões onde cada um teve oportunidade de notar o aquecimento no local que estava sendo flexionado. Nessa atividade foi enfatizado que a energia manifestada pelo aquecimento do arame (variação na energia interna) estava sendo transferida por cada um, isto é, cada um estava realizando um trabalho externo sobre o arame (difícil de ser quantificado através de um algoritmo). Outras situações foram apontadas tais como martelar uma placa de ferro, sendo sugerido que eles experimentassem.

Com esse raciocínio foi possível responder à pergunta: Qual a diferença entre o estado final da bola e o estado antes de você realizar o trabalho sobre ela? Para onde foi a energia que você transferiu para o STB? A resposta a essas perguntas pode ser apresentada dizendo que a energia transferida para o sistema acabou como energia interna da bola, energia interna da superfície, energia interna do ar que está dentro da bola e até uma pequena parte foi compartilhada com o ar por onde a bola passou. Assim foi possível escrever uma **equação com os vários algoritmos que nos permite descrever a evolução do STB por todos os seus vários estados possíveis:**

$$W_{\text{ext}} = \Delta E = \Delta E_p_g + \Delta E_{p_{\text{deform}}} + \Delta E_c + \Delta E_{\text{int}}$$

Em que

W_{ext} = trabalho realizado sobre o STB pela força externa. ($W_{\text{ext}} = mg(h_f - h_i)$)

ΔE = variação da energia total ou mecânica do STB

ΔE_p = variação da energia potencial gravitacional do STB ($\Delta E_p = mg(h_f - h_i)$)

ΔE_c = variação da energia cinética da bola como um todo no STB. $\Delta E_c = \frac{1}{2} m (v_f^2 - v_i^2)$

ΔE_{int} = variação na energia interna da bola, do ar e da superfície da mesa.

$\Delta E_{p_{\text{deform}}}$ = variação da energia potencial elástica da bola

Novamente reforçamos que a idéia da descrição do sistema passa pela compreensão de como o sistema evolui, isto é, passa pela compreensão das diferentes interações possíveis na natureza. Considerando a queda da bola destacamos: i) a interação inicial externa que elevou a bola até a altura h (responsável pela energia inicial do STB - mgh); ii) a interação interna ao STB fazendo com que o sistema evolua e a bola caia em direção à Terra e, nesse processo, a energia potencial gravitacional se transferiu para energia cinética do sistema, que é igual à energia cinética da bola; iii) interação interna da bola colidindo com a superfície onde, nesse processo, há a deformação da bola e a energia vai sendo transferida para dentro das partes do sistema.

A partir do estudo e descrição desses dois sistemas particulares fizemos a generalização para um sistema qualquer em que a interação externa ocorre através de processos mecânicos. Foi colocado que a equação que foi obtida e que descreve a conservação de energia nos dois sistemas – STB e SMMS, é bastante geral e que ela pode ser utilizada para um sistema qualquer onde ocorrem interações mecânicas do tipo gravitacional, elástica, tensão (onde a força aplicada sobre o corpo faz com que esse corpo se desloque como um todo - conceito de partícula material) e de atrito (onde o corpo não pode ser considerado uma

partícula material, mas sim um corpo com uma estrutura interna que pode receber energia). Assim, escrevemos a série de algoritmos como

$$\Delta E_c + \Delta E_p + \Delta E_{int} = W_{ext}$$

Em que

- E_c = energia cinética associada ao movimento global (translação ou rotação) dos corpos no sistema, medidos de um sistema de referência inercial conveniente (por exemplo, o referencial da Terra);
- E_p = energia potencial associada às forças conservativas que os objetos dentro do sistema exercem uns sobre os outros;
- E_{int} = energia interna das partes do sistema, incluindo aí as energias cinéticas e potenciais microscópicas dos átomos ou moléculas do sistema;
- W_{ext} = trabalho realizado pelas forças externas que atuam sobre o sistema.

Na oportunidade foi feita uma discussão sobre a natureza do que estamos chamando como energia interna. Aqui foi mais uma chamada de atenção para o fato de que os materiais são compostos por átomos e ou moléculas e que, frequentemente, pode-se representar a energia interna como a soma da energia cinética associada com os movimentos aleatórios dos átomos ou moléculas e a energia potencial associada com as forças entre os átomos ou moléculas: $E_{int} = E_{c_{int}} + E_{p_{int}}$.

Para reforçar a compreensão do significado dos diferentes termos dessa equação foram apresentados e analisados alguns exemplos: i) um atleta saltando, ii) patinador no gelo, iii) uma bola que cai de uma altura h , iv) analisar o STB considerando a bola como sistema e aplicar o princípio de conservação de energia, v) analisar o caso do SMMS, considerando que apenas o bloco é o sistema e aplicar o princípio de conservação de energia.

Foram propostos alguns exercícios para os alunos.

3.7 Generalizando Ainda Mais: a Primeira e a Segunda Lei da Termodinâmica

O resultado de conservação de energia obtido para sistemas mecânicos foi generalizado considerando-se que o trabalho é apenas uma das formas possíveis de interação na natureza em que um sistema pode trocar energia com sua vizinhança. Foram levantadas outras formas de interação para transferência de energia tais como: processo de transferência

de energia devido a uma diferença de temperatura (esse processo se denomina calor e é representado pela letra Q), transferência de energia através de radiação eletromagnética – energia radiante, processos de combustão, processos de reações nucleares, etc..

Para focalizar dois desses processos os alunos realizaram duas atividades: i) medindo a energia recebida pela Terra como transferência de energia por radiação transferida a partir do sol utilizada para aquecer a água; ii) energia transferida por uma lâmpada (que se aquece por trabalho elétrico) devido a uma diferença de temperatura entre o filamento da lâmpada e da água, que vai aquecer a água. Neste ponto foi chamada a atenção para o fato de que a água foi aquecida por duas maneiras diferentes, mas que depois de aquecidas as duas amostras não podemos distingui-las, isto é, a energia interna é uma só independente de como ela foi transferida para a água. Não existem tipos diferentes de energia.

Através da experiência de aquecimento de uma amostra de água foi introduzido o algoritmo que permite que se determine quanto de energia foi transferida para a água por radiação ou por diferença de temperatura, isto é, $\Delta Q = m c \Delta T$. Aproveitou-se a oportunidade para se introduzir o significado de c = calor específico como propriedade que caracteriza o comportamento dos diferentes materiais, e de T = temperatura como um parâmetro que caracteriza o estado de um sistema ou de um corpo. Foi discutido que a palavra “calor” tem sido utilizada de forma indiscriminada pelos livros e por pessoas em geral, causando certa confusão. Foi alertado que eles devem estar atentos para realmente compreender o significado em cada situação. Em ciência **calor** é apenas o **processo de realização de trabalho** por diferença de temperatura e é representado pela letra Q. Tem um significado similar à palavra trabalho que é o processo de transferência de energia por forças.

Em relação ao processo de transferência de energia através de radiação foi ressaltado que ele é muito importante desde o início dos tempos e cada vez mais nos dias atuais, pois é através desse processo que podemos ter vida na Terra devido à energia radiante que recebemos do sol, e toda a tecnologia baseada em ondas eletromagnéticas. Essas ondas foram previstas teoricamente em 1864 por James Clerk Maxwell e geradas experimentalmente por Hertz em 1888. Uma discussão importante foi a de se estabelecer que a Terra é um sistema aberto que recebe continuamente energia transferida a partir do Sol através de radiações eletromagnéticas.

Foi ainda considerado o fato de existirem outras situações na natureza que, com as devidas interações, podem desencadear processos de transferência de energia: energia química (exemplos: processo de combustão, processo de detonação de uma dinamite, etc.), energia nuclear – compreendida pela relação de Einstein $E = mc^2$ que é uma das relações mais mal

compreendidas ainda hoje, pois se fala em transformação de massa em energia e vice-versa enquanto o correto é falar em equivalência massa – energia. Einstein nunca considerou que a massa varia em função da velocidade.

Informamos que essa generalização levou à formulação **da primeira lei da Termodinâmica** que é o princípio geral de conservação de energia. Assim,

$$\Delta E_c + \Delta E_p + \Delta E_{\text{int}} = \Delta E_{\text{total}} = W_{\text{ext}} + Q + E_{\text{rad}} + \text{outros processos.}$$

- transferência de energia através do processo de realização de trabalho pela vizinhança sobre o sistema (se o trabalho considerado for aquele realizado pelo sistema sobre a vizinhança, terá o mesmo valor mas o sinal trocado) , representado por W_{ext} ;
- transferência de energia por um processo onde há uma diferença de temperatura entre o sistema e a vizinhança representada pela letra Q ;
- transferência de energia em um processo envolvendo radiação eletromagnética representada por $E_{\text{rad.}} = \text{Potência} \times \text{intervalo de tempo}$
- Outros processos

Um ponto que causa certa confusão é a questão do sinal de todos esses termos porque todas essas formas de interação podem transferir energia para o sistema, e nesse caso são positivas, ou podem fazer com que a transferência seja do sistema para a vizinhança e nesse caso são negativas. Exemplificando que se $Q > 0$ implica que há uma transferência de energia para o sistema e que se $Q < 0$ implica que há transferência de energia para fora do sistema.

Alguns exemplos foram discutidos com os alunos utilizando o modelo construído ao longo das aulas: 1) bloco deslizando sobre uma superfície horizontal, 2) experimento de Joule, e 3) uma furadeira sendo utilizada para perfurar um pedaço de madeira.

A partir de um texto escrito por Laércio Ferracioli (2005) discutimos várias situações na natureza que poderiam ocorrer considerando-se apenas a lei de conservação de energia, mas que não ocorrem na natureza. São os processos irreversíveis onde o sistema evolui para um estado final de equilíbrio e não consegue, espontaneamente retornar ao estado inicial. A partir disso foi estabelecido o conceito de degradação de energia bem como a necessidade de um outro parâmetro, a entropia, para caracterizar tais situações na natureza.

A questão da degradação de energia leva à necessidade de se compreender o que acontece na escala microscópica. Devido à necessidade de se fazer um corte em algum ponto, essa questão ficou como leitura complementar para os alunos.

3.8 O Questionário Final.

Ao término do curso, para avaliar a aprendizagem do aluno bem como o êxito do material, aplicamos um questionário final. Esse questionário apresentou as mesmas perguntas do primeiro questionário objetivando como já foi dito a comparação das respostas dos alunos antes e depois do curso. Para avaliar a evolução dos alunos foram acrescentadas duas perguntas específicas aos conteúdos de energia e de sua conservação.

As duas questões acrescentadas têm como objetivo sondar se os alunos conseguem, após o curso, explicar cientificamente uma situação real utilizando o princípio da conservação e degradação da energia. Uma delas os alunos (em sua maioria) já vivenciou e a outra, embora não vivenciada em sua totalidade está presente no seu dia-dia. Trata-se da bomba de ar para encher pneu que se aquece quando manuseada e a outra dos processos envolvidos na Usina Hidrelétrica, desde o armazenamento da água na represa até a energia nas residências, passando por todos os circuitos elétricos envolvidos.

Escolhemos as questões por se tratar, como já foi dito de situações reais que de uma forma ou de outra o aluno já vivenciou como é o caso da bomba de ar. No caso da usina hidrelétrica embora o aluno não tenha vivenciado todo seu processo ela está presente em seu dia-dia visto que se trata de uma das maneiras mais comuns de transferência de energia em nosso país. Com a questão da usina hidrelétrica foi possível verificar se o aluno apreendeu a idéia da energia como uma quantidade abstrata e como ele consegue explicar todos os processos que vai da água armazenada na represa (uma diferença estabelecida inicialmente) até a diferença de potencial elétrica estabelecida nas tomadas das casas e indústrias. É esperado, pelas repostas, que os alunos identifiquem e expliquem as ordens (diferenças) estabelecidas em todas as etapas presentes.

Com o item (a) da questão em que se pede para o aluno responder se a energia nas residências é maior, menor ou igual à energia na represa espera-se que ele revele a compreensão da conservação e degradação da energia. Como o item (b) da questão em que o aluno comenta a expressão “consumo de energia” por uma lâmpada de incandescência de 60 W espera-se avaliar a forma como ele construiu e aplica o conhecimento em situação que há

relação da energia relacionada a eletricidade (ddp elétrica) e térmica. Com o item (c) da questão em que o aluno deve analisar as “manifestações” da energia para o uso do liquidificador espera-se que ele identifique e comente os tipos de ordens que ocorrem em todo o processo. Para o item (d) da questão em que o aluno deve explicar a maneira pela qual acontece o reabastecimento de água na represa espera-se que ele possa descrever e explicar o ciclo da água destacando o Sol como a ordem maior em todos os processos naturais que acontecem na natureza.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na primeira parte desse capítulo apresentamos uma análise feita pelos alunos em relação aos textos produzidos para o aluno, em relação às atividades de problematização e em relação à metodologia utilizada no módulo didático. Na segunda parte apresentamos uma análise comparativa entre o desempenho dos alunos considerando-se o questionário aplicado no primeiro dia de aula e o questionário aplicado após a aplicação do material sobre energia e sua conservação.

No final deste capítulo comentamos sobre as dificuldades e problemas para a aplicação do material.

4.1 Avaliação do Material Desenvolvido para o Aluno, das Atividades de Problematização, da Metodologia Utilizada no Módulo Didático.

Um dos pontos importantes para avaliação do trabalho realizado é a avaliação por parte dos alunos em relação aos textos produzidos, em relação às atividades experimentais e em relação à metodologia utilizada em sala de aula, principalmente em relação à participação ativa dos alunos. Para isso aplicamos um questionário em que as atividades mediadoras, a metodologia aplicada e o resultado da aplicação do material foram avaliados.

Para os alunos a metodologia utilizada foi bastante eficiente porque eles puderam confrontar as suas crenças com o saber científico que se constitui uma outra forma de pensar sobre a natureza. Para esses alunos a seqüência lógica adotada na apresentação do conteúdo possibilitou uma melhor compreensão do tema e facilitou também a compreensão de outros temas relacionados com outras áreas de conhecimentos como química e biologia, por exemplo.

Quanto aos exercícios resolvidos os alunos disseram que estavam dentro do contexto de suas vidas e sua resolução possibilitou uma nova maneira de analisar outras situações reais.

Quanto às atividades mediadoras os alunos disseram que foram bastante eficientes porque concretizou o conhecimento por meio da visualização do fenômeno estudado, muito embora no estudo com a mola algumas dificuldades foram encontradas porque muitos não tinham familiaridade com o uso do papel milimetrado.

Com relação ao texto elaborado para o aluno a opinião foi que estava claro em seu propósito, mas muito profundo porque ainda não tinha estudado ciências com tamanha

abrangência como foi o caso deste estudo. A contextualização foi o ponto forte das atividades e por isso facilitou a compreensão.

A análise que fazemos aqui é decorrente de poucas opiniões manifestadas quando pedimos que os alunos redigissem, em poucas linhas, críticas e sugestões para o aperfeiçoamento do material.

Avaliação da metodologia utilizada.

Apresentamos a seguir as perguntas e os resultados conforme análise das repostas dos alunos.

Para avaliar a metodologia utilizada os alunos responderam 3 perguntas objetivas envolvendo a Problematização inicial a organização e a aplicação do conhecimento construído/reconstruído.

As perguntas foram:

A problematização inicial tem como objetivo confrontar, o que você já tem construído acerca da energia, com o conhecimento aceito cientificamente. Assim sendo, você acredita que a problematização foi fundamental e oportunizou o confronto entre o que você já conhece, acerca da energia, com o conhecimento científico?

- | | |
|---|----|
| ▪ Foi fundamental e oportunizou o confronto das idéias; | 23 |
| ▪ Oportunizou em partes; | 6 |
| ▪ Não oportunizou. | 0 |

A organização do conhecimento tem por objetivo sistematizar a construção do conhecimento dando uma seqüência lógica na apresentação do conteúdo possibilitando uma melhor compreensão do tema em estudo. Assim sendo, você acredita que a seqüência na apresentação do conteúdo estava boa e por isso facilitou para uma melhor compreensão do tema energia e sua conservação?

- | | |
|--|----|
| ▪ Sim, e por isso facilitou na compreensão do conteúdo; | 25 |
| ▪ Em partes, mas não apresentou dificuldades para a compreensão do conteúdo; | 4 |
| ▪ Não, e dificultou a aprendizagem. | 0 |

A aplicação do conhecimento destina-se, sobretudo, abordar sistematicamente o conhecimento construído/reconstruído a fim de incorporá-lo para que novas situações possam ser interpretadas e analisadas, dinâmica e evolutivamente, evitando a fragmentação entre a física estudada em sala de aula e a vida cotidiana. Dessa forma,

você acredita que os exercícios resolvidos em sala estavam dentro do contexto da sua vida e sua resolução possibilitou uma nova maneira de analisar outras situações reais?

- Sim, e apresentou uma nova maneira de interpretar novas situações; 26
- Não, e não apresentou nova maneira de interpretar novas situações. 3

Avaliação das atividades mediadoras.

Para avaliar as atividades mediadoras os alunos responderam 3 perguntas envolvendo a objetividade das atividades (sua eficácia) e as dificuldades em sua execução.

A atividade mediadora tem por objetivo concretizar o conhecimento construído por meio da visualização do fenômeno estudado, mediando dessa forma a sua construção.

Assim sendo, você acredita que as atividades mediaram o conhecimento construído, facilitando a compreensão do tema estudado?

- Sim, e facilitou a compreensão do tema estudado; 27
- Não, e não facilitou a compreensão do tema estudado. 2

É comum durante uma experimentação e principalmente para quem não está familiarizado, encontrar dificuldades relacionadas à parte operativa do experimento bem como a parte da linguagem matemática empregada como gráficos e tabelas, por exemplo. Você encontrou alguma dificuldade na parte operativa dos experimentos realizados e/ou na parte das linguagens matemáticas empregadas?

- Encontrei pouca dificuldade na parte operativa e na linguagem empregada; 23
- Encontrei muita dificuldade na parte operativa e na linguagem empregada; 4
- Não encontrei dificuldades. 2

Avaliação do material desenvolvido.

Para avaliar o material desenvolvido os alunos responderam 3 perguntas envolvendo a clareza e objetividade do texto, sua profundidade e sua contextualização.

1. A finalidade do texto elaborado pelo professor é conduzir, com clareza e contextualização, o trabalho a ser desenvolvido em sala para que você perceba a aplicabilidade do conhecimento em seu dia-dia. Para você o texto estava claro e

objetivo no propósito de conduzir o estudo do tema energia e seu princípio de conservação?

- Sim, o texto estava claro em seu propósito; 29
- O texto não apresentou clareza e nem objetividade em seu propósito. 0

O texto abordou o tema com profundidade e facilitou a sua compreensão?

- Sim, e facilitou a compreensão do tema; 29
- Em partes, e não facilitou a compreensão do tema; 0
- Não, e não facilitou a compreensão do tema. 0

O texto tratou o tema por meio de situações vividas em seu dia-dia ou ficou muito distante de sua realidade?

- Sim, tratou os fenômenos por meio de situações já vivenciadas em meu dia-dia; 29
- Não tratou os fenômenos por meio de situações já vivenciada em meu dia-dia. 0

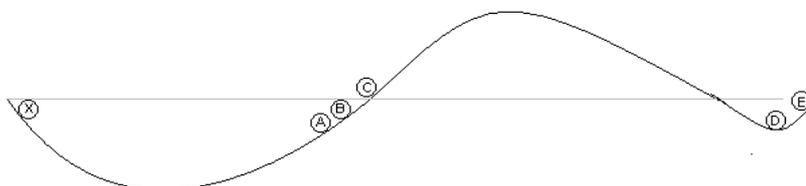
4.2 Análise da Avaliação Final em Comparação com o Resultado do Questionário Inicial.

Para avaliar o êxito do trabalho desenvolvido aplicamos o mesmo questionário já respondido no início dos trabalhos, mas agora crescendo de duas perguntas específicas sobre conservação da energia. As duas questões acrescentadas tiveram como objetivo sondar se os alunos conseguiram, após o curso, explicar cientificamente uma situação real utilizando o princípio da conservação e degradação da energia. Uma das questões os alunos, em sua maioria, já vivenciaram e a outra, embora não vivenciada em sua totalidade está presente no seu dia-dia. Trata-se do aquecimento da bomba de ar para encher uma bola e a outra trata dos processos envolvidos na Usina Hidrelétrica, desde o armazenamento da água na represa até a energia nas residências. Com este questionário esperamos comparar as respostas dadas, pelos alunos, no início e no final dos trabalhos e analisar se houve alguma mudança na concepção sobre energia e sua conservação ou se houve incorporação de novas idéias.

A seguir descrevemos a análise do questionário aplicado no final dos trabalhos.

Questão 01.

Em um experimento de laboratório um aluno solta uma bolinha a partir de um ponto X em um trilho de metal.



- Marque um dos pontos (A, B, C, D ou E) que é o ponto mais provável que a bolinha irá alcançar no trilho.
- Justifique a sua resposta.

A tabela abaixo compara o percentual das respostas apresentadas no início e no final do curso. Pela comparação se vê que a concepção física da conservação e degradação da energia foi compreendida visto que anteriormente, para 24,13 % (7 alunos) dos alunos a bola estaria proibida de passar do ponto A, para 34,48% (10 alunos) a bola não podia passar do ponto B, para 37,93% (11 alunos) a bola não passa do ponto C e apenas para um aluno (3,44%) a bola chega ao ponto D. Após o curso o percentual é bastante diferente como se pode ver.

Quadro 1. Quadro demonstrativo das respostas dos alunos.

Previsões do ponto mais distante alcançado	Total das respostas 29 (antes do curso)	Total das respostas 29 (após o curso)
Ponto A – mais baixo que X	07 (24,13%)	19 (65,51%)
Ponto B – mesma altura de X	10 (34,48%)	6 (20,68%)
Ponto C – mais alto que X	11 (37,93%)	4 (13,79%)
Ponto D – no caminho seguinte	01 (3,44%)	Sem resposta

Isto mostra que 65,51% responderam a questão considerando um caso real em que a degradação da energia (o efeito termodinâmico) é a explicação para a bola não retornar para a altura de onde foi abandonada e, apenas 34,47% não conseguiram aplicar o novo conhecimento para responder a questão.

Embora os dados revelem que 41,48% dos alunos mudaram suas opiniões sobre o ponto mais provável para a bolinha alcançar; eles ainda apresentam dificuldades em usar o

conhecimento reconstruído para explicar o que acontece em seu dia-dia, como veremos na análise das respostas para os pontos A, B, C, D e E.

Respostas dos alunos em relação ao ponto mais provável: A, B, C, D e E.

Previsão do ponto A como o ponto mais distante que a bola pode alcançar.

65,51% (19 alunos) fizeram previsão do ponto A (mais baixo que X) como o provável para a bola alcançar e suas argumentações foram baseadas na idéia de variação da energia devido ao atrito com o trilho. Embora a resposta aponte para o fato de os alunos terem construído uma concepção científica sobre degradação de energia, podemos notar que a idéia da energia como algo concreto encontra raízes profundas no meio acadêmico e por isso torna-se difícil promover mudança conceitual ou incorporação de novas idéias. É preciso um esforço continuado, promovido conjuntamente com outras áreas de conhecimento. Apresentamos a seguir um extrato de três respostas seguido de análise.

“A, pois a bolinha não teria energia suficiente para chegar à mesma altura de X porque de vários modos a energia da bolinha iria “diminuindo”, pois transmitiria energia para o trilho, para o solo e a atmosfera. É notável que pode haver interação da gravidade, do ar e do atrito que podem “diminuir” mais ainda o movimento da bolinha”.

“Pois quando ela é solta ela está com sua energia potencial gravitacional máxima e quando ela está no trilho sua energia vai se degradando e transformando-se em energia cinética”.

“A, pois quando a bolinha está no ponto inicial há energia potencial gravitacional e quando a bolinha toma partida a energia potencial vai se transformando em energia cinética e energia térmica que se dissipa assim a bolinha não consegue chegar ao mesmo local de saída, por causa da dissipação do calor”.

Estes argumentos demonstram a construção da concepção de degradação da energia, mas demonstra também a presença, ainda forte, da concepção da energia como algo concreto que pode ser transformado.

De forma geral se viu que ao final do módulo os alunos reconstruíram suas idéias acerca da energia ao fazer suas previsões. Entretanto, observa-se que mesmo reconstruído seus pontos de vista, eles apresentam dificuldades para aplicar corretamente a nova concepção para explicar os fenômenos estudados. Isto é, os alunos continuam utilizando a idéia da energia como substância, que pode se transformar de um tipo em outro. Em seus argumentos, a energia pode ser adquirida ou perdida.

Previsão do ponto B como o ponto mais distante que a bola pode alcançar.

20,00% (6 alunos) responderam que a bola atinge o ponto B. Todos utilizam a idéia de conservação da energia sem considerar sua degradação, isto é, eles consideraram um sistema ideal. Isso decorre (a meu ver), o fato de os livros didáticos, nas diversas áreas de conhecimento, desconsiderarem os efeitos termodinâmicos quando tratam da conservação da energia. As respostas mostram claramente que existem duas físicas: aquela da escola em que a situação é preparada por situações de contornos e outra da vida real em que não há condições de contornos e as previsões, na maioria das vezes, não coincidem com os resultados encontrados nas experiências. Apresentamos em seguida um extrato de três respostas seguidas de análise.

“O ponto mais provável que a bola irá alcançar é o ponto B, pois a energia dela é capaz de levá-la até o ponto paralelo ao da situação inicial”.

“B, pois com a mesma intensidade que ela desce, com a mesma ela sobe”.

“O ponto provável é B, pois se ela foi solta de X ela irá alcançar um ponto máximo, um ponto que tem a mesma altura que ele, o ponto B”.

Embora a concepção da conservação da energia (primeira lei da Termodinâmica) esteja presente nos argumentos; estes alunos entram em contradição com a situação real porque a bola acaba parando depois de certo tempo. A idéia de conservação de energia apresentada está desassociada do sistema, mas associada a bolinha exclusivamente.

Previsão do ponto C como o ponto mais distante que a bola pode alcançar.

13,79% (5 alunos) responderam o ponto C como o mais provável em função da leve inclinação no desenho da figura. A leve inclinação na figura não foi por mim percebida e isto levou ao desvio das respostas apresentadas. Dessa forma, é possível que este fato tenha contribuído para que tais alunos apresentassem essa opinião. Entretanto, mesmo com essa leve inclinação eles deveriam compreender que a bola não poderia passar para uma altura maior porque o princípio de conservação exclui essa possibilidade.

Vejam os a amostragem.

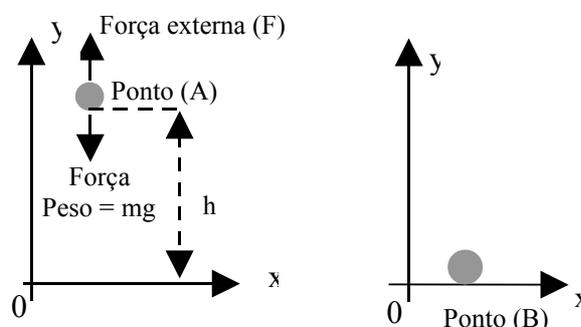
“Como a inclinação no ponto X é maior, a bolinha adquire força para alcançar o ponto C. A inclinação da subida contribui para que isso aconteça”.

“Porque a bolinha quando descer irá adquirir velocidade máxima e chegar até um certo ponto (no caso letra C) que é uma inclinação menor”.

“Será no ponto C, pois se considerarmos a altura h de X como eixo de simetria da parábola, da para perceber que para a bolinha chegar na mesma altura do outro ponto da parábola onde ela partiu, ela terá o mgh que será maior porque é menos inclinado”.

Questão 02.

A figura abaixo mostra uma bola de borracha sendo solta (está em repouso) de uma altura h em relação ao solo e após vários contatos com o solo acaba parando.



Considerando

somente a bola, explique em termos de energia, a diferença entre a situação inicial (bola em repouso na altura H) e final (bola em repouso no solo). O que mudaria em sua resposta se você considerar o sistema bola-Terra?

O objetivo desta pergunta tem dois alcances: primeiro é levantar se os alunos construíram ou reconstruíram a concepção da energia como uma quantidade abstrata que pode ser medida por fórmulas diferentes e por isso recebem, inapropriadamente, nomes diferentes. Segundo se eles conseguem e como conseguem empregar o conhecimento construído para explicar a questão apresentada.

Comparando as respostas apresentadas antes e depois do curso percebe-se que os alunos continuam utilizando a idéia da energia como algo material que pode ser guardada em algum lugar.

Para efeito de análise as respostas para esta questão foram reunidas em apenas um grupo uma vez que todas apresentam argumentos em que a energia está guardada na bola, pronta para ser utilizada. O quadro abaixo apresenta, em percentuais, as respostas dos alunos. Em seguida uma análise de uma amostragem de três questões é apresentada.

Quadro 2. Quadro demonstrativo das respostas dos alunos.

Total de respostas consideradas – 27	
Não responderam a questão	2 alunos não responderam
Resposta fora do contexto da energia	2 alunos responderam – 7,40%
Respostas consideradas	25 alunos responderam – 92,59%

7,40% (2 alunos) não responderam a questão e 7,40% (2 alunos) responderam fora do contexto da energia e por isso suas respostas não foram consideradas.

92,59% (25 alunos) responderam a questão considerando a energia como uma propriedade da bolinha e não do sistema Terra-bola. Em nenhum dos argumentos se vê a energia como uma condição inicial de desequilíbrio estabelecido no sistema que pode ser quantificada por um algoritmo em que alguns parâmetros são utilizados. Pelas respostas vemos que os alunos apresentam dificuldades em utilizar seus conhecimentos científicos para explicar as situações do dia-dia.

Vejamos uma amostragem.

“Quando a bola estiver no seu ponto inicial, ou seja, no ponto 1º, ela vai ter seu mgh máximo, e seu $\frac{1}{2} mv^2$ igual a zero. Quando ela estiver

em repouso, seu mgh será igual a zero, enquanto seu $\frac{1}{2} mv^2$ será máximo”.

“Quando a bola está no solo ela possui $mgh = \text{máx}$ e o $\frac{1}{2} mv^2 = 0$
Quando a bola está de repouso no solo ela tem o $mgh = 0$ e $\frac{1}{2} mv^2 = \text{máx}$, pois quando a bola é solta ela adquire velocidade máxima e só para quando toca o solo. E quando a bola ainda está caindo no ar irá somar $E = mgh + \frac{1}{2} mv^2$. E o que muda na minha resposta no sistema é que a bola e a Terra se atraem e na hora que a bola atinge o solo, com a elasticidade dela vai bater sucessivas vezes até parar”.

“Na situação inicial a bolinha terá $mgh = \text{máx}$ e $\frac{1}{2} mv^2 = 0$. Na situação final a bolinha terá $mgh = 0$ e $\frac{1}{2} mv^2 = \text{máx}$. Sempre haverá conservação da energia na bola, pois sempre que uma for elevada a outra será reduzida”.

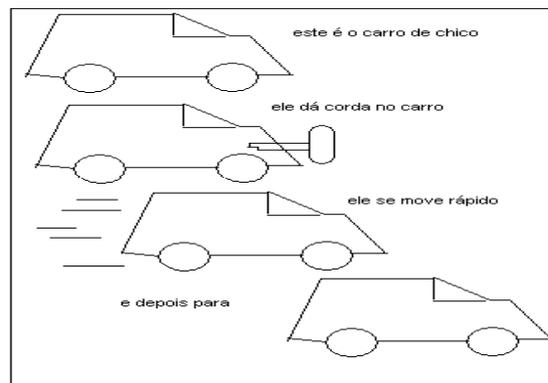
“No momento inicial a velocidade da bola é igual a zero ($E_c=0$) enquanto a energia potencial gravitacional é máxima. No final a energia potencial gravitacional é zero, porém a energia cinética é máxima”.

“Quando a bola está no alto ela possui a energia potencial gravitacional $mgh = \text{máx}$. e o $\frac{1}{2} mv^2 = 0$ Quando a bola está de repouso no solo ela tem o $mgh = 0$ e o $\frac{1}{2} mv^2 = \text{máx}$, pois quando a bola é solta adquire velocidade máxima e só para quando toca o solo. Quando a bola está ainda no ar caindo irá somar $E = mgh + \frac{1}{2} mv^2$. O que mudaria na minha respostas no sistema é que a bola e a Terra se atraem e na hora que a bola atingir o solo, com elasticidade dela vai bater sucessivamente até parar”.

Os argumentos demonstram a construção da concepção de energia potencial gravitacional como uma quantidade matemática possível de ser quantificada que depende da altura em relação a um nível de referência, mas para eles essa energia está guardada na bola e quando ela cai, a energia desaparece.

Percebe-se que os alunos compreenderam, de certa forma, que a energia pode ser calculada por fórmulas diferentes e por isso recebem nomes diferentes, mas de certa forma não conseguem aplicar esse conhecimento para explicar a questão apresentada. Isso demonstra, de certa forma, que o professor não tem como garantir que o conhecimento construído e/ou reconstruído pelo aluno poderá ser utilizado cientificamente para responder novas situações.

Questão 03.



Assinale apenas uma das alternativas.

- a) Quando o carro do Chico tem mais energia?
- A) Antes de dar corda.
 B) Quando terminou de dar a corda.
 C) Quando ele está se movendo com certa velocidade.
 D) Quando ele para.
 E) A mesma em todas as situações
- b) Justifique a sua escolha

O objetivo desta questão é levantar a maneira como o aluno construiu o novo conhecimento acerca do princípio da conservação da energia e como ele o aplica quando é solicitado. Embora a questão exija que o aluno responda em que situação o carro tem mais energia, é o argumento utilizado por ele para justificar a resposta o mais importante.

Entretanto, é relevante alguma informação sobre o percentual de respostas diferentes na parte (a) da questão.

O quadro demonstra o percentual das respostas apresentadas antes e depois do curso. Em seguida a análise de uma amostragem das respostas é apresentada.

Quadro 3. Quadro demonstrativo das respostas dos alunos.

Total de alunos – 29		
Respostas dos alunos	Total das respostas 29 (antes do curso)	Total das respostas 29 (após o curso)
A – Antes de dar corda	Sem resposta	Sem resposta
B – Quando terminou de dar corda	20 (68,96%)	27 (93,10%)
C – Quando ele está se movimentando com certa velocidade	8 (27,58%)	1 (3,44%)
D – Quando ele para	Sem resposta	Sem resposta
E – A mesma em todas as situações	01 (3,44%) resposta	01 (3,44%)

Como se vê pelo quadro demonstrativo, antes do início do curso 68,96% dos alunos acreditavam que é no momento em que se dá corda no carro que o Chico estabelece a condição inicial para o movimento do veículo. Todos esses alunos reconhecem a condição inicial como o momento em que ocorre a variação de energia no sistema

Comparando com as respostas apresentadas depois do curso vemos um aumento de 24,14% de alunos que reconhecem o momento em que se dá corda no carro como aquele em que a energia total do sistema é maior.

Isto eleva para um percentual de 93,10% dos alunos que acreditam que é no momento em que se dá corda no carro que a energia do sistema é máxima. Ou seja, é no momento em que se dá corda que a condição inicial é estabelecida no carro para que ele se mova.

Embora essa informação seja muito importante, percebemos que os alunos continuam apresentando dificuldades em argumentar sobre a energia como algo abstrato que podemos medir com fórmulas diferentes. Isto revela que se por um lado não há muita resistência em acomodar um novo conhecimento a aquele já construído, por outro há muita dificuldade em utilizar esse novo conhecimento para explicar as situações do dia-dia. Em seus argumentos percebemos que os alunos continuam utilizando as concepções prévias para explicar a questão apresentada. Um extrato das respostas é apresentado para confirmar a análise.

“Quando damos corda no carro, realizamos trabalho nele aplicando energia, esta energia é a que move o carro, portanto, o carro tem maior

energia quando terminamos de injetar energia nele, ou seja, quando terminou de dar corda”.

“O carro tem mais energia quando ele terminou de dar corda, pois ele passou energia para o carro ao girar a chave”.

“A energia maior é na alternativa B porque a energia foi transferida de Chico para o carro e quando este se move vai transferindo energia para a Terra”.

Os alunos que responderam a alternativa C argumentaram que a energia é maior porque ela cresce em função do aumento da velocidade além de se transformar em outros tipos de energia. Isto é, quando a energia esta “acumulada” ela tem um valor que será igual à soma de todas as outras energias que aparecerão durante o movimento do carro. De certa forma as respostas apresentam uma tentativa de argumentar o princípio de conservação da energia, mas as dificuldades encontradas não permitem estabelecer coerência entre o que já haviam construído previamente com o novo conhecimento acomodado.

Vejamos algumas respostas.

“A energia é a mesma, pois quando o carro está parado a energia está “guardada” na mola, mas quando o carro se move há vários tipos de energia sendo manifestadas”.

“Quando termina de dar corda o carro está com mais energia acumulada, quando começa a andar ele vai perder energia em vários outros tipos”.

Apenas um aluno respondeu a letra E como correta argumentando o princípio de conservação da energia. Para ele o sistema é fechado e a energia associada à compressão da mola será transformada em outros tipos. Este aluno não considerou o efeito da degradação da energia em que o sistema (o carro do Chico) passa a ser um sistema aberto. Apresentando incoerência em sua resposta porque o carro acaba parando depois de algum tempo.

Vejamos a resposta.

“A energia é a mesma, pois quando o carro está parado a energia está “guardada” na mola, mas quando ele se move há vários outros tipos de energia sendo manifestadas”.

Questão 04.

Se você bater várias vezes com um martelo em um pedaço de metal, tanto o metal quanto o martelo se aquecerão. Explique, em termos de energia, porque isso acontece.

O objetivo desta questão é verificar se os alunos mudaram suas concepções acerca da energia como algo material que pode ser transferido de um corpo para outro. E se houve como eles aplicam o novo conhecimento para explicar a questão.

29 alunos responderam a questão e apenas uma resposta não foi considerada porque o argumento estava fora do contexto da energia. Das 28 respostas consideradas, 09 delas foram baseadas na hipótese da energia como algo material pertencente ao martelo que será transferido ao metal na forma de calor e as demais foram baseadas na idéia da energia como algo material guardado nas moléculas que será transformado em calor.

Para efeito de análise as respostas foram agrupadas em duas categorias:

- a. Respostas considerando transformação da “energia do martelo” em calor;
- b. Respostas considerando a energia interna como algo concreto que as moléculas possuem.

Quadro 4. Quadro demonstrativo das respostas dos alunos.

Total de alunos – 29		
Respostas dos alunos	Total das respostas (antes do curso)	Total das respostas (após o curso)
Não responderam a questão	5 (16,6%)	-
Respostas não consideradas	Nenhuma	1 (3,33%)

Respostas considerando “transformação da energia do martelo” em calor	2 (8,33%)	8 (28,57%)
Respostas considerando a energia interna como algo concreto que as moléculas possuem.	22 (91,66%)	20 (71,42%)

Comparando as respostas apresentadas pelos alunos antes e depois do curso percebe-se que houve um aumento significativo dos alunos que pensam na energia como algo material que o martelo possui e será transformado em calor devido a interação do martelo com o metal. Por outro lado houve uma redução daqueles que acreditavam na idéia da energia como algo material existente nas moléculas que pode ser transformado em calor.

Embora as atividades desenvolvidas durante o módulo tivessem o propósito de contrapor a concepção da energia com algo concreto é possível verificar, pela tabela, que todos que responderam a questão argumentam a idéia da energia como algo material. Isso demonstra a grande dificuldade de levar o aluno a uma mudança conceitual acerca do tema estudado visto que no dia-dia dos estudantes eles convivem com situações que reforçam essa idéia da energia. Isso pode ser destacado quando vemos e ouvimos, na mídia, coisas do tipo: “O Brasil investe em novas fontes de energia renovável”, “a gasolina tem mais energia do que o álcool”, “temos que economizar energia para não faltar no futuro”, “estou com muito calor”, etc.

Veamos uma amostragem que confirma a análise.

“Porque a energia tem que ir para algum lugar, então a do martelo vai para o metal que aquece”.

“Porque com o movimento repetitivo do martelo no metal, a energia passa do martelo para o metal que aquece”.

“Porque as moléculas dos dois se agitam e assim desperta a energia calorífica dos dois fazendo que fiquem quentes”.

“A parte do martelo que bate também é um metal e quando bate no pedaço de metal as moléculas de ambos se agitam e liberam calor”.

“As moléculas dos dois corpos se agitarão, liberando energia. Com isso, os corpos ficam quentes”.

Questão 05.

Certa quantidade de água está em uma vasilha e à sombra. Você pega essa vasilha com água e a coloca exposta ao sol por cerca de 10 minutos, por exemplo. Você sabe de sua vivência que a água exposta ao sol vai ficar mais quente.

a) Explique, em termos de energia, o que ocorre para a água se aquecer.

b) Explique a diferença da água antes e depois de ser exposta ao sol. Qual o parâmetro que permite medir essa diferença?

Os objetivos desta questão são: primeiro destacar o Sol como a ordem maior em nosso sistema solar e que todo evento ocorrido nesse sistema depende dos processos que no Sol ocorrem e segundo destacar a temperatura como o novo parâmetro para escrever o algoritmo que será utilizado na medida da energia relacionada a estrutura molecular da água.

Para efeito de análise as respostas foram agrupadas em duas categorias:

- a. Resposta considerando o calor como energia guardada no Sol e enviada para a Terra.
- b. Resposta considerando o calor como uma forma de energia guardada na água que será liberada quando as moléculas se agitarem.

Comparando as respostas no início e no final do curso notamos uma redução de 41,38 % de respostas considerando a energia como algo material localizado no Sol e enviada para água para aquecê-la. Porém, as respostas apontam que os alunos não conseguiram compreender ou descrever a energia como uma quantidade abstrata medida por diferentes algoritmos.

Quadro 5. Quadro demonstrativo das respostas dos alunos.

Total de alunos - 29		
Respostas dos alunos	Total das respostas (antes do curso)	Total das respostas (após o curso)
Respostas consideradas	29 (100%)	29(100%)

Resposta considerando o calor como energia guardada no Sol e enviada para a Terra.	29 (100%)	17 (58,62%)
Resposta considerando o calor como forma de energia guardada na água e liberada pela agitação das moléculas.	Nenhuma	12 (41,37%)

Das respostas consideradas, 58,62% foram baseadas na idéia de que o calor é uma forma de energia guardada no Sol e liberada para a Terra para aquecer a água e as demais baseadas na idéia do calor como forma de energia guardada na água e liberada pela agitação de suas moléculas. Todas as respostas revelam a tendência de se considerar a energia como algo material que pode ser armazenado. Vejamos algumas respostas.

“A água se aquece à medida que a energia liberada pelo Sol entra em contato com ela, transformando em energia térmica. Antes a energia solar não estava em contato, assim não variando a temperatura, em contato a energia solar aquecerá aumentando a temperatura da água. Podendo medir a temperatura com termômetro. A temperatura”.

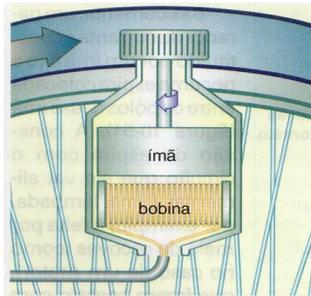
“Isso acontece porque o calor do Sol é recebido pelas moléculas da água. As moléculas da água liberarão energia por causa da agitação dessas moléculas que provoca o aquecimento do conteúdo da vasilha, e antes o agitação é menos intenso. O parâmetro é a temperatura”.

“Sabendo que a água possui um calor específico, através da ação do Sol as moléculas se agitarão liberando esse calor provocando aquecimento da água. O parâmetro é a temperatura”.

“A água se aquece porque contém energia térmica que será liberada pela luz do Sol. A temperatura antes era menor e depois ficou maior. Podemos medir a temperatura com o termômetro”.

Percebe-se que os alunos construíram argumentos razoáveis para a temperatura como resultado de processos que ocorrem na molécula. Entretanto, tais argumentos ainda revelam o calor como algo material, guardado nas moléculas que será liberado pela agitação molecular. Acredito que isso se deve ao grau de abstração do assunto além é claro, da pouca abordagem deste tema no primeiro ano do ensino médio.

Questão 06.



Uma menina tem um dínamo acoplado no pneu de sua bicicleta para acender a lâmpada. Ela nota que quando o dínamo está sendo usado é mais difícil pedalar na mesma velocidade. Foi explicado a ela que isto é porque energia não pode ser criada nem destruída, apenas “muda de uma forma para outra”. O que esta resposta tem a ver com o que ela notou?

O objetivo da questão é verificar se os alunos construíram uma nova idéia acerca da conservação da energia e se construíram como eles conseguem aplicar esse novo conhecimento para responder a questão proposta.

Para efeito de análise as respostas foram agrupadas em duas categorias:

- Respostas baseadas na mecânica de Newton, portanto não consideradas;
- Respostas considerando o princípio da conservação da energia;

O quadro abaixo apresenta o percentual das respostas apresentada antes e depois do curso. Em seguida a análise de uma amostra das respostas e apresentada.

Quadro 6. Quadro demonstrativo das respostas dos alunos.

Total de alunos - 29		
Respostas dos alunos	Total das respostas (antes do curso)	Total das respostas (após o curso)
Não responderam	3 alunos	2 alunos
Respostas fora do contexto da energia, portanto não consideradas.	6 respostas	2 respostas

Resposta em termos do princípio da conservação da energia.	20 respostas	25 respostas
--	--------------	--------------

Comparando o quadro de respostas antes e depois do curso pode-se ver que 25% dos alunos apresentaram mudança em seus argumentos, passando a considerar o princípio de conservação de energia para responder a questão. Nas respostas consideradas os alunos demonstram terem compreendido o conceito físico do princípio de conservação e degradação da energia, mas não utilizam corretamente essa compreensão física para responder a questão. Vejamos uma amostragem para confirmar a análise

“Ao utilizar o dínamo parte da energia da bicicleta é utilizada para acender o dínamo e com isso será necessário realizar um trabalho maior para a mesma velocidade”.

“A energia que ela usaria apenas para pedalar está sendo dividida entre pedalar e fazer o dínamo funcionar”.

“A energia presente era dividida para pedalar e acender o dínamo ao mesmo tempo, tornando assim, mais difícil de pedalar”.

“O dínamo consome a energia produzida e por isso a menina precisa pedalar com mais esforço”.

“Pois com o uso do dínamo a energia usada tem de ser maior e suficiente para ascender a luz”.

Embora a explicação física para a questão não seja muito simples porque requer uma escolha adequada do sistema a ser analisado, pode-se perceber que o aluno tende a explicar a questão considerando um sistema fechado. Esta tendência parece natural para quem não está acostumado com o tema energia, sua conservação e degradação.

Pela amostragem se percebe, em primeira mão, uma contradição aparente com o que foi estudado acerca da conservação e degradação da energia. Aparente porque os alunos apresentam dificuldades em aplicar o conhecimento científico sobre o princípio da degradação de energia, o que a meu ver não é muito simples mesmo aplicando uma

metodologia baseada na problematização, organização e aplicação do conhecimento como foi o nosso caso.

Questão 7.

Dada as proposições abaixo sobre transferência de energia em várias situações, analise cada uma delas e responda.

- a) Lâmpada – 100 j de energia elétrica em 40J de energia luminosa
- b) Usina Termelétrica – 280000 j de energia do óleo em 70000J de eletricidade
- c) Rifle – 200 j de energia química no explosivo (cartucho) em 250 J de energia do movimento da bala.
- d) Auto-falante – 3 j de energia elétrica em 0,5 J de energia sonora
- a) Qual a única transferência de energia A, B, C, ou D, que não pode nunca acontecer?

Justifique a sua resposta

O objetivo desta questão é verificar se houve acomodação do novo conhecimento construído acerca do princípio da conservação da energia e se houve, como os alunos aplicam esse novo conhecimento para explicar a questão proposta.

Comparando as respostas apresentadas antes e depois do curso percebe-se que 26,09% dos alunos apresentaram mudanças em seus argumentos considerando o princípio de conservação da energia para responder a pergunta. Entretanto, seus argumentos revelam uma compreensão em que o princípio de conservação da energia é um princípio que nega a possibilidade de a energia ser criada e/ou destruída como algo material.

Quadro 7 . Quadro demonstrativo das respostas dos alunos.

Total de alunos - 29		
Respostas dos alunos	Total das respostas (antes do curso)	Total das respostas (após o curso)
Não responderam.	6 (20,0%)	2 (6,66%)
a) Lâmpada – 100 J de energia elétrica em 40 J de energia luminosa.	1 (4,34%)	

Auto-falante – 3 J de energia elétrica em 0,5 J de energia sonora.	2 (8,69%)	
Rifle – 200 j de energia química no explosivo (cartucho) em 250 j de energia do movimento da bala.	16 (69,56%)	22 (95,65%)
Usina Termelétrica – 280000 J de energia do óleo em 70000 J de eletricidade.	4 (17,39%)	1 (4,34%)

Vejamos uma amostragem das respostas para confirmar a análise.

“A transformação C não pode acontecer porque a energia não é criada: 200 J de energia química não podem se transformar em 250 J de energia cinética. Afinal, de onde viriam esses 50 J? Como a energia não pode ser criada, então, essa transformação não pode acontecer”.

“C, porque pelo princípio da conservação da energia, a energia não é criada nem destruída, apenas se “transforma”. Por isso mesmo 200 J não se transforma em 250 J”.

“A C, pois não há como uma quantidade de energia gerar uma quantidade maior. Uma ordem maior se transforma sempre em uma ordem menor não sendo permitido para o inverso”.

“A energia não pode ser criada. Se são 200 J não podem ser transformados em 250 J”.

Dos alunos que responderam a alternativa B como correta, um argumentou que o óleo não poderia ser convertido em eletricidade e o outro fundamentou na idéia da energia como uma propriedade do óleo e sendo assim ela não poderia ser transformada em eletricidade.

“B, pois não existe nenhum meio de transformar energia do óleo em eletricidade”.

“A energia contida no óleo não pode ser modificada”.

O aluno que argumentou a impossibilidade da metamorfose da energia acredita que esta seja uma propriedade do óleo que não pode ser modificada.

Questão 08.

Explique em termos de energia o que acontece com a bomba de ar que se aquece enquanto você está enchendo um pneu.

Esta questão tem por objetivo verificar se os alunos reconstruíram ou acomodaram um novo conhecimento acerca do princípio da conservação e degradação da energia e se ocorreu como eles aplicam esse conhecimento para explicar uma situação real.

Para efeito de análise as respostas foram agrupadas em quatro categorias:

- a. Energia interna compreendida como calor guardado nas moléculas que pode ser liberado;
- b. Energia compreendida como fluido que passa da bomba para o pneu;
- c. Energia cinética sendo “transformada” em energia térmica;
- d. Respostas fora do contexto do princípio da conservação da energia.

Quadro 8. O quadro abaixo demonstra o percentual das respostas.

Total de alunos-29	
Energia interna compreendida como calor guardado nas moléculas que pode ser liberado.	9 (34,61%)
Energia compreendida como fluido que passa da bomba para o pneu.	12 (46,15%)
Energia cinética sendo transformada em energia térmica.	5 (19,23%)
Respostas fora do contexto do princípio da conservação da energia e por isso não foram consideradas.	3 respostas

As respostas para esta questão não foram comparadas com nenhuma outra dada no início dos trabalhos porque, como já foi dito, a questão foi acrescentada somente no final.

Pela tabela percebemos que 86,6% (26 alunos) dos alunos utilizam a idéia da energia como substância revelando que esta idéia está bastante acomodada e é utilizada no em seu dia-dia e por isso apresentam forte resistência para acomodar outra que seja cientificamente aceita.

Apresentamos a seguir uma amostra das respostas dos alunos.

“A energia de movimento da bomba (mecânica) não é a única energia que ela possui, também é liberada energia calórica, que causa o aquecimento”.

“Porque ao aplicar um movimento a bomba também libera calor, por isso, que ela esquenta”.

“Quando a bomba comprime o ar para dentro do pneu da bicicleta, as moléculas de ar se movimentam e liberam calor que esquenta a bomba”.

“Ela aquece porque há transmissão de energia pelo movimento da bomba, e com a transmissão de energia gera calor que aquece a bomba”.

“Quando se enche o pneu com a utilização da bomba, o calor passa do homem para a bomba. Assim, havendo o aquecimento da bomba”.

“A bomba está realizando um trabalho que não está sendo totalmente aproveitado o excesso transforma-se em calor”.

“A energia mecânica se transforma em energia calorífica”.

“Ela transforma energia mecânica em energia calorífica por causa do movimento repetitivo da bomba”.

Esta maneira de compreender a energia como algo material é recorrente devido ao trabalho físico ser compreendido como a medida da transferência de uma quantidade de energia quando um sistema interage com seu entorno.

A concepção da energia como algo material se coloca, a meu ver, como um obstáculo difícil de ser ultrapassado porque o seu uso corriqueiro se faz de maneira marcante tanto no meio acadêmico como fora dele. Dessa forma, por mais que uma nova idéia acerca da energia seja construída, dificilmente essa nova idéia será acomodada e utilizada pelos alunos para explicar os fenômenos do dia-dia.

É desafiador procurar na maioria dos livros de Física, de Química, dicionário ou enciclopédia aquele que não conceitua o calor como uma forma de energia em trânsito. Isso se verifica porque a metodologia empregada no ensino da energia como algo abstrato que pode ser medida por diferentes algoritmos não é bastante utilizada no ensino-aprendizagem do princípio da conservação da energia.

A pergunta que surge é: será que um conhecimento cientificamente construído é muito difícil de ser incorporado e utilizado pelo aluno em seu dia-dia?

Questão 09.

As usinas hidrelétricas são, em geral, responsáveis pela maior parte da energia elétrica que temos disponível para utilização. A água é mantida em uma represa e essa água, através de um desnível, penetra em uma tubulação adquirindo certa velocidade de translação. No final do duto a água interage com as turbinas fazendo-a girar (movimento de rotação em torno de um eixo fixo). Esse movimento da turbina, através de um processo de transformação, dá origem à energia que chega até as nossas casas. Em nossas casas utilizamos essa energia para fazer funcionar os vários equipamentos como: liquidificador, rádio, ferro de engomar, televisor, chuveiro, bomba para elevar água, etc..

A água que já interagiu com a turbina segue seu curso rio abaixo, desembocando num outro rio ou oceano, em nível sempre inferior ao da represa. No entanto, sabemos que, com exceção dos períodos de grande seca, a represa é sempre reabastecida por grande volume de água. Para que a água seja deslocada do nível do mar para um mais alto, como o das represas, dizemos em física que é necessário a realização de um trabalho. Esse trabalho é necessário porque qualquer corpo (estado sólido, líquido ou gasoso), tem peso devido à sua interação com a Terra. Isso é descrito no ciclo da água e do ar.



- a. Como podemos entender esse processo em termos de energia, desde seu início até chegar às nossas residências? Faça uma descrição das diferentes manifestações da energia da usina até a sua residência.
- b. A energia que recebemos em nossa casa é menor, maior ou igual à energia na condição inicial na represa?
- c. Comente a expressão “consumo de energia” por uma lâmpada incandescência de 60 W. como se aplica a degradação da energia para o caso da lâmpada?
- d. Analise as diferentes manifestações da energia para o caso da utilização de um liquidificador?
- e. Como ocorre o reabastecimento das represas? Analise o ciclo da água e do ar e identifique as diferentes manifestações da energia. Qual é a importância do Sol nesse ciclo?

Esta questão tem por objetivo verificar a maneira como alunos interpretam os processos que ocorrem desde a água armazenada na represa de uma usina hidrelétrica até a energia nas casas das pessoas. Procura-se verificar se o aluno é capaz interpretar todo o processo como uma seqüência de desequilíbrio de um sistema físico que vai desde a diferença de altura estabelecida na represa, ao ciclo da chuva, até a diferença de potencial elétrico estabelecida nas tomadas das residências.

Em resumo, é importante que o aluno seja levado a compreender a primeira e a segunda lei da termodinâmica em seu aspecto qualitativo mesmo que o estudo quantitativo das referidas leis seja estudado mais adiante.

Quadro 9 . O quadro abaixo demonstra o percentual das respostas.

Total de respostas – 29	
Não respondeu nenhum dos itens	3
a. Como podemos entender esse processo em termos de energia, desde seu início até chegar às nossas residências? Faça uma descrição das diferenças (das ordens) estabelecidas no processo que vai desde a usina até a sua residência.	20 (66,66%)
b. A energia em nossa casa é menor, maior ou igual à energia na condição inicial na represa?	26 (86,6%)
c. Comente a expressão “consumo de energia” por uma lâmpada	20 (66,6%)

incandescência de 60 W. como se aplica a degradação da energia para o caso da lâmpada?	
d. Analise a manifestações da energia para o caso da utilização de um liquidificador?	26 (86,6%)
e. Como ocorre o reabastecimento das represas? Analise o ciclo da água e do ar e identifique as diferenças estabelecidas no processo. Qual é a importância do Sol nesse ciclo?	23 (76,6%)

Vejamos uma amostra das respostas.

“A chuva realiza trabalho sobre a água a uma certa altura dando uma certa energia potencial gravitacional (E_p) para o sistema ser iniciado. Quando a água passa pelas turbinas dá origem à energia cinética (E_c). A energia cinética é utilizada pelas turbinas para gerar energia elétrica, essa mesma é conduzida a nossas casas e utilizada de diversas maneiras”.

“Quando a água chega às turbinas, e essas entram em movimento, a energia da água entra em transformação, até se tornar energia elétrica. Essa transformação ocorre por causa do intenso movimento dessas turbinas. Essa energia já transformada passa pelos postes e fio, chegando às residências”.

“Podemos entender da seguinte maneira: inicialmente a energia se apresenta como potencial gravitacional (período em que está mantida na represa a certa altura), após sair da represa e penetrar na tubulação adquirindo velocidade e fazendo com que a turbina gire, ela transforma-se em mecânica e em seguida em cinética e logo após é transformada em elétrica (devido ao movimento da turbina)”.

a. A energia que recebemos em nossa casa é menor, maior ou igual à energia na condição inicial na represa?

“É menor porque ela sofre várias transformações ao longo do processo e há perdas nas transformações”.

“Menor. Porque na natureza uma ordem não pode dar origem a uma ordem maior do que a inicial”.

“Menor. A energia vai, durante todo o processo, degradando-se”.

Todos que responderam argumentaram, de certa forma, que a quantidade inicial é maior porque há dissipação em todas as etapas do processo e isso mostrou que houve compreensão do princípio da degradação da energia. Percebe-se, pelos argumentos, que estes alunos reconstruíram, de forma geral, a concepção do princípio da conservação da energia não apenas pela compreensão da primeira lei da termodinâmica, mas pela complementação da segunda lei que prevê a degradação da energia na forma de calor, toda vez que um sistema evolui para estado de entropia máxima.

- b. Comente a expressão “consumo de energia” por uma lâmpada incandescência de 60 W. Como se aplica a degradação da energia para o caso da lâmpada?

“A energia é degradada pela lâmpada não pode se reutilizada”.

“A lâmpada sofre processo de degradação no qual a energia elétrica é transformada em energia luminosa e calor”.

“A energia elétrica não é consumida pela lâmpada e sim utilizada sob forma de energia luminosa e se degrada em fótons”.

“Usamos, diariamente, a expressão “consumo de energia”, mas ela é incorreta, pois a energia não é destruída. Na verdade, ela é degradada. No caso da lâmpada ela tem potencia de 60 J/s. parte dessa energia é utilizada e o resto degrada-se”.

Os argumentos demonstraram, de certa forma, a construção/reconstrução do princípio da degradação da energia ao justificar suas respostas.

- c. Analise as diferentes manifestações da energia para o caso da utilização de um liquidificador?

“A energia mecânica do liquidificador que antes era elétrica, quando corta os alimentos resulta em energia cinética e térmica que degrada”.

“No liquidificador está sendo usada energia elétrica, mecânica, sonora, onde o barulho e o calor não são aproveitados e nunca mais será usado, foi degradado”.

“A energia elétrica converte-se em energia cinética para, depois, degradar-se”.

As respostas demonstram a construção da concepção da degradação da energia como uma condição em que uma parcela da energia fica indisponível toda vez que um sistema evolui de um estado a outro.

d. Como ocorre o reabastecimento das represas? Analise o ciclo da e do ar e identifique as diferentes manifestações da energia. Qual é a importância do Sol nesse ciclo?

“Com o ciclo da água, claro. A água é evaporada graças ao trabalho realizado pelo Sol: a agitação térmica aumenta, elevando a temperatura, o volume aumenta e evapora-se. Então o vapor começa a subir até tornar-se líquido novamente, que em forma de chuva volta pros rios e lagos. A ordem maior é o Sol”.

“O Sol é a ordem maior. O Sol faz a água evaporar e depois ela volta a represa, através das chuvas”.

“Através da chuva. O Sol é a verdadeira fonte de energia”.

As respostas apresentam boas argumentações fundamentadas na conservação da energia em que o Sol aparece como a ordem maior em todo o processo. Para os alunos o Sol é o agente capaz de estabelecer a condição inicial para que todos os processos naturais possam acontecer na Terra.

O que percebemos nas respostas apresentadas pelos alunos é que ao descreverem todo o processo, eles identificam as ordens estabelecidas no sistema e que tais ordens tendem a desaparecer durante todo o processo, mas não conseguem explicar com clareza o fenômeno com base nessa idéia.

Fica evidenciado que houve falhas e dificuldades na aplicação do material porque os alunos não conseguiram acomodar o conhecimento construído de forma a aplicá-lo para responder a questão proposta. Tais falhas se devem a vários fatores que passaremos a descrever.

4.3 As Falhas e dificuldades encontradas na Aplicação do Material

Neste momento passo a descrever as falhas e as dificuldades encontradas durante a aplicação do material, algumas decorrentes de estrutura como sala inadequada para experimentação com 29 alunos; equipamentos insuficientes para todos os grupos formados; quantidade de aulas e suas distribuições e outras de natureza externa como muito feriado que coincidiram com os dias das aulas além de um movimento de greve dos servidores que durou aproximadamente 30 dias.

Todas as atividades experimentais foram realizadas no laboratório do CEFETRN onde a sala, embora seja de razoável estrutura como climatização e boa luminosidade não comporta o número de 29 alunos. Por esse motivo os grupos ficavam muito próximos um do outro dificultando bastante os trabalhos. Além de não comportar uma quantidade maior de alunos o laboratório não possuía número suficiente de equipamentos para formar grupos menores, dessa forma percebemos que alguns alunos trabalhavam e outros basicamente participavam apenas como observador. O que não poderia acontecer.

As medidas realizadas não foram precisas porque os equipamentos utilizados não apresentavam boa precisão como, por exemplo, o calorímetro que tivemos que improvisar e as régua de madeira que muito velhas e algumas escalas quase não apareciam.

As aulas foram realizadas nas segundas e quintas feiras sendo uma aula na segunda e duas na quinta feira. As atividades experimentais foram realizadas nas quintas para aproveitar melhor a aula dupla. Porém, o seu início se dava logo após o intervalo do recreio e os alunos demoravam a chegar. Perdemos, em média cerca de 5 a 10 minutos de aula por quintas feiras mesmo pedindo para que eles chegassem no horário.

Muitos feriados coincidiram nas quintas feiras e dessa forma as aulas aconteciam num intervalo muito longo provocando longas retomadas.

Outro aspecto importante que pouco facilitou a aplicação do material foi o grande pré-requisito de conhecimentos interdisciplinar que os alunos deveriam apresentar em detrimento das poucas oportunidades que eles já tiveram para estudar ciência num contexto geral em que todos os pontos de vista são compartilhados e não isolados como se vê no estudo

de ciências neste ciclo de estudo. O conceito de energia exige uma boa base de conhecimento prévio.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo apresentamos as conclusões em que avaliamos os resultados da pesquisa e a seqüência desse trabalho.

Este trabalho foi estruturado a partir de um amplo e detalhado levantamento bibliográfico sobre os problemas do ensino-aprendizagem do conceito de energia, sua conservação, sua degradação e conceitos correlacionados, no nível médio, em que foi dado destaque aos problemas conceituais como: a transformação de energia, formas de energia, consumo de energia, calor como substância, etc., que atribuem à energia um caráter material, levando o aluno a compreender a energia como algo concreto que pode ser guardada como mercadorias, por exemplo.

A pesquisa realizada foi direcionada à formação do conceito de energia e de conservação e de degradação através de uma situação-problema em que se buscou reconhecer

a natureza dos fenômenos envolvidos e relacionando-os dentro do conjunto de fenômenos da Física.

A presente metodologia tem a finalidade de promover um saber mais aproximado da realidade e, por conseguinte mais significativo para o aluno. O objetivo principal consiste em preparar material didático na forma de textos e de atividades concretas voltadas para o ensino do conceito de energia e do seu princípio de conservação nas diferentes manifestações da natureza. Com a participação ativa e reflexiva dos alunos objetiva-se a construção/reconstrução do conceito de energia e de sua conservação de forma mais abrangente e com significado compartilhado no contexto científico.

Ao longo do módulo didático alguns conceitos foram considerados básicos: sistema, modelos matemáticos, diferentes formas de variação de energia, idéia de conservação, de degradação, etc.

Esta pesquisa mostrou aspectos peculiares ao ensino-aprendizagem do princípio de conservação e degradação da energia que nos leva a refletir o quão difícil, mas importante é ensiná-lo no primeiro ano do ensino médio. Um dos problemas para uma melhor compreensão desses conceitos é a necessidade de um conjunto básico de conhecimentos para poder realizar discussões mais aprofundadas.

Embora seja um tema que apresente dificuldades de ser ensinado porque encontra alguns problemas relacionados com a formação de professores e com os pré-requisitos dos alunos que ingressam ao ensino médio, esta pesquisa mostrou, que o estudo do princípio da conservação e degradação da energia, pela sua abrangência em outras áreas de estudo, tem um caráter motivador que facilita o processo ensino-aprendizagem de outros conteúdos no ensino médio porque é muito produtivo ao ambiente da sala de aula.

O confronto com os conceitos clássicos, interiorizados a partir do senso comum, torna o ensino do princípio da conservação e degradação da energia muito bem aceito no contexto escolar porque promove o debate de idéias sobre o assunto dentro e fora da Física. A discussão e compreensão da Segunda Lei da Termodinâmica, por exemplo, desperta o aluno sobre o seu papel enquanto cidadão consciente na sociedade.

A idéia da energia como algo abstrato que pode ser quantificada no sistema toda vez que ele é retirado do seu equilíbrio natural, desperta o aluno para a questão do desequilíbrio no ecossistema toda vez que o homem se preocupa mais em **ter** do que em **ser**. Esta reflexão é muito importante para a formação cidadã do aluno.

Contrapondo ao ensino tradicional utilizamos uma metodologia em que o autor principal no processo ensino-aprendizagem é o aluno, criando um ambiente favorável para ele

atuar ativamente na sala de aula onde foi possível agir e refletir na construção do seu conhecimento. Nesse aspecto, o desenvolvimento do conteúdo a partir de fatores conflitantes relacionados com o comportamento da natureza, como mostrado através das atividades desenvolvidas, foi bem aceito pelos alunos. Essas características se evidenciaram tanto no desenvolvimento das aulas, quanto na maturidade das respostas apresentadas para as questões abertas.

Apesar de a avaliação final ter evidenciado que o objetivo de reconstruir com o aluno a concepção da energia como algo abstrato não tenha atingido a sua totalidade; a possibilidade de incorporar a nova concepção proposta neste trabalho é vista pelo pesquisador como algo possível de ser alcançado se o tema for tratado em extensão, mas sem perder a profundidade necessária e em parceria com outras áreas de conhecimento.

Pretende-se com o aperfeiçoamento e continuidade deste trabalho, fazer: divulgação através de artigos em revistas e congressos especializados; realização de cursos de extensão para apresentação do material a outros docentes do ensino médio como uma forma de colocá-lo em julgamento. Dessa forma, estaremos contribuindo na formação continuada de professores e fazendo dele um agente multiplicador deste trabalho. O material didático aqui apresentado foi modificado em função da primeira aplicação em sala de aula. Devido a alguns problemas já relatados, reconhecemos que uma segunda aplicação atentamente acompanhada pelo professor ainda é necessário para fazer mais alguns ajustes.

Em resumo, como contribuição que este trabalho traz citamos: o ensino do princípio de conservação e degradação por meio de uma abordagem problematizadora; uma proposta no sentido de se fazer um ensino do princípio de conservação de energia com extensão e profundidade adequada ao ensino médio; uma fonte de pesquisa bibliográfica sobre o ensino de energia e conceitos correlacionados para futuras pesquisas; uma discussão sobre a compreensão da energia como algo abstrato que podemos quantificar por diferentes algoritmos.

Entendemos que as pesquisas relacionadas com o trabalho direto do professor em sala de aula sobre o conceito de energia e sua conservação devem continuar, pois aqui apresentamos apenas o início de um trabalho de reflexão sobre o tema.

Referencias Bibliográfica

ANGOTTI, J. A. P. **Fragmentos e totalidades no conhecimento científico e no ensino de ciências**. São Paulo, 1991. Tese (Doutorado em Educação). Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.

ASSIS, A. e TEIXEIRA, O.P.B. Algumas considerações sobre o ensino e a aprendizagem do conceito de energia. Bauru: **Ciência & Educação**, v. 9, n. 1, p. 41-52, 2003.

AUTH, M. A. & ANGOTTI, J. A. O processo de ensino-aprendizagem com aporte do desenvolvimento histórico de universais: a temática das combustões. In: PIETROCOLA, MAURÍCIO (Org.) **Ensino de Física**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005. p. 197-226.

BAUMAN, R. P. Physics that textbook writers usually get wrong. I. Work. **The Physics Teacher**, v. 30, p. 264-269, maio de 1992a.

BAUMAN, R. P. Physics that textbook writers usually get wrong. II. Heat and energy. **The Physics Teacher**, v. 30, p. 353-356, setembro de 1992b.

BEYNON, J. Some Myths Surrounding Energy. **Phys. Educ.**, **25**(6). P. 314-316, janeiro de 1990.

BLISS, J.; OGBORN, J. Children's choices of uses of energy. **European Journal of Science Education**, v.7, n.2, p.195-203, 1985

BRASIL. Ministério da Educação e Desporto; Secretaria de Ensino Médio – SEM. **Parâmetros curriculares nacionais – ciências naturais**. Agosto de 1996.

BROCK, A.; DRIVER, R. **Aspects of secondary students understanding of energy**. Centre for Studies in Science and Mathematics Education. The University of Leeds, UK, 1984.

CANIATO, R. **Mecânica**. Volume II do Projeto brasileiro para o ensino de Física. v II, ed. 1975. Campinas - São Paulo: Ativa - Promoções Culturais Ltda, 1975.

CANIATO, R. **O céu**. Projeto brasileiro para o ensino de Física. v I, ed. 1975. Campinas - São Paulo: Edusp, 1975.

CLEMENTE, J. Student's preconceptions in introductory mechanics. **American J. of Physics**, v. 50, n.1, p. 66-71, 1982.

DELIZOICOV, D. & ANGOTTI, J. ANDRÉ. **Física**. Colaboração Alice Campos Pierson. São Paulo. Cortez Editora, 1991.

DOMÉNECH, J. L.; GIL-PEREZ, D.; GUIÁSOLA, J.; MARTINEZ-TORREGROSA, J.; SALINAS, J.; TRUMPER, R.; VALDES, P. La enseñanza de la energía: una propuesta de debate para um replanteamiento global. **Cad. Bras. Ens. Fís.** v.20, n.3. p. 285-311, dez 2003.

DRIVER, R; WARRINGTON, L. Students use of the principle of energy conservation in problem situation. **Physics Education**, v.20, p. 176-171, 1985.

DUIT, R. Understanding Energy as a Conserved Quantity-Remarks on the Article by R.U Sexl. **European Journal of Science Education**, v.3, n 3, p. 34, 1981.

FEYNMAN, R. P. **Física Em Seis Lições**. Trad. Ivo Korytowski. 6ª edição. Rio de Janeiro. Ediouro, 2001.

FIGUEIREDO, A. & PIETROCOLA M. **Física um outro lado. Faces da Energia**. São Paulo. FTD, 2000.

GASPAR, A. **Física – Óptica, Ondas e Termodinâmica** 1ª Ed., vol. 2. São Paulo. Editora Ática. 2000.

GOLDRING, H.; OSBORNE, J. Students' difficulties with energy and related concepts. **J. Physics Education**. v 29, p. 26-31, 1994.

GRAF, **Física**, 3ª edição, vol. 1 e 2. São Paulo. EDUSP. 1993.

GRIMELLINI T. N; et al. Understanding conservation laws in mechanics: Students' conceptual change in learning about collisions. **Science Education**. v. 77, n. 2, p. 189-169, 1993.

HENRIQUE, K. F. **O pensamento físico e o pensamento do senso comum: a energia no 2º grau**. São Paulo, 1996. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Instituto de Física, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.

HIGA, T. T. **Conservação de Energia: estudo histórico e levantamento conceitual dos alunos**. São Paulo, 1988. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências – Modalidade em Física) - Instituto de Física, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.

LOPES, J. B. **Avaliação Multidimensional de Campos Conceituais de Mecânica. Papel da Modelização na Aprendizagem.** Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real. 1999.

MARIANI, M. C. & OGBORN, J. Common-sense reasoning about conservation: the role of action. **International journal of Science Education**, v 12, n 1, p. 66-51, 1990.

MALLINCKRODT, S.; LEFF, H. All about work. **Am. J. Phys.** v. 60, n. 4, p. 356-365, 1992.

MÁXIMO, A. e ALVARENGA, B. **Curso de Física.** São Paulo:Scipione, 2000.

MIGUEL, O. Analisis comportamental de las leys de Newton. **Enseñanza de las ciencias**, v. 4 n. 1 p. 51-55, 1986.

MOREIRA, M. A. **Teoria de Aprendizagem.** São Paulo: EPU. 1999.

MORIN, E. **Ciência com Consciência.** Tradução de Maria D. Alexandre e Maria Alise Sampaio Dória. 8ª ed. Rio de Janeiro. Editora Bertrand Brasil, 2005.

OLIVEIRA, R. J.; SANTOS J. M. A energia e a Química. **Química Nova Escola**, n 8, 1998.

OGBORN, J. Energy, change, difference and danger. **SSR.** v 72, n. 259, p. 81-85, 1990.

PEDUZZI, S.S. Concepções Alternativas em Mecânica. In: PIETROCOLA, M. **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora.** Florianópolis: Editora UFSC, 2001. p. 53-76.

PÉREZ-LANDEZÁBAL, M. C., FAVIERES, A., MANRIQUE, M. J.; VARELA, P. La energía como núcleo en el diseño curricular de la física. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 13, n.1, p. 55-65, 1995.

PIETROCOLA, M. (org.) . Ensino de Física : conteúdo, metodologia, epistemología em uma concepção integradora. 2. ed. rev. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2005.

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL, MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, SECRETARIA DE EDUCAÇÃO MÉDIA E TECNOLÓGICA, **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN+)**, 2004.

RICARDO, E. C.; CUSTÓDIO, J. F.; REZENDE JUNIOR. M. F. **Física**. Comunicação Particular. 2005.

SANTOS, M. E. **Mudança Conceitual em Sala de Aula**. Lisboa: Livros Horizontes, 1991, P. 104.

SEVILLA, S. C. Reflexiones en torno al concepto de energía: Implicaciones Curriculares. **Enseñanza de la Ciencias**, v 4, n. 3, p. 252-247, 1986.

SOLBES, J; TARÍN, F. Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía. **Enseñanza de las Ciencias**, v.16, n. 3, p. 97-387, 1998.

SOLOMON, J. Teaching the conservation of energy. **Physics Education**, v. 20, p. 165-170, 1985.

SOUZA FILHO, O. M. **Evolução da idéia de conservação da energia**: um exemplo de história da ciência no ensino de física. São Paulo, 1987. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências – Modalidade em Física). Instituto de Física, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.

TRUMPER, R. Being constructive: an alternative approach to the teaching of the energy concept – part two. **International Journal of Science Education**, v. 13, n.1, p. 1-10, 1991.

TRUMPER, R, G, P. Learning about energy: the influence of alternative frameworks cognitive levels, and closed-mindedness. **International Journal of Science Education**, v. 30, n.7, p. 637- 648. 1993.

VIENNOT, L. The Contents of Physics - Essential Elements, Common views. In: **Thinking Physics for teaching**, Bernardino, C et al. 1994.

VAN HEUVELEN, ALAN; ZOU, X. Multiple representations of work – energy processes. **Am. J. Phys.** V 69, n. 2, p. 184-194, 2001.

VAN HUIS, C.; VAN DER BERG, E. Teaching energy: a systems approach. **Phys. Education**, n. 28 p.. 146-153, 1993.

FONTES CONSULTADAS

DRIVER, R. e WARRINGTON, L. Students use of the principle of energy conservation in problems situations.. **Physics Education**, v. 20, p. 171-176. 1985.

ELLSE, M. Transferring not transforming energy. **The School Science review**. P. 427-435, março de 1988.

MALLINCKRODT, S.; LEFF, H. All about work. **Am. J. Phys.** v. 60, n. 4, p. 356-365, 1992.

MENEZES, L. C. **A matéria uma aventura do espírito - fundamentos e fronteira do conhecimento físico**. 1 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.

KAPER, W. H.; GOEDHART, M. F.. Part I. “Forms of energy”, an intermediary language on the road to thermodynamics? **Int. J. Sci. Educ.** v. 24, n. 1, p. 81-95, 2002.

SANTOS, R. P. A energia do senso comum. **Cadernos da Casa Humana**. Lisboa, 1999.

SCHRÖDINGER E. **O que é vida? O aspecto físico da célula viva seguido de Mente e Matéria e Fragmentos Autobiográficos**. Tradução de Jesus de Paula Assis e Vera Yukie Kuwajima de Paula Assis. 1ª reimpressão. Cambridge University Press, 1997.

SOLOMON, J. Learning about Energy: How Pupils Think in Two Domains, **Eur. J. Sci. Educ.** v. 5, n. 1, p. 49-59, 1983.

THOMAZ, M. F.; MALAQUIAS, I.M.; VALENTE, M.C.; ANTUNES, M.J. **An Attempt to Overcome Alternative Conceptions Related to heat and Temperature**. THIRD MISCONCEPTIONS SEMINAR PROCEEDINGS, 1993.

TRUMPER, R. Being constructive: an alternative approach to the teaching of the energy concept – part one. **Eur. J. SCI. Educ.**, v. 12, n. 4, p. 343-354, 1990.

TRUMPER, R. Energy and a constructivist way of teaching. **Physics Education**, v. 25, p. 208-212. 1990.

WARREN, J. W. At What Stage Should Energy Be Taught? **Physics Education** 21(3). p. 154-155, maio de 1986.

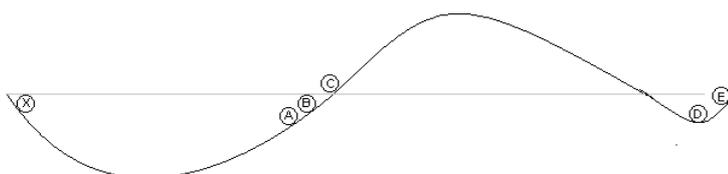
APÊNDICES

APÊNDICE A

As Questões do Questionário

Questão 01.

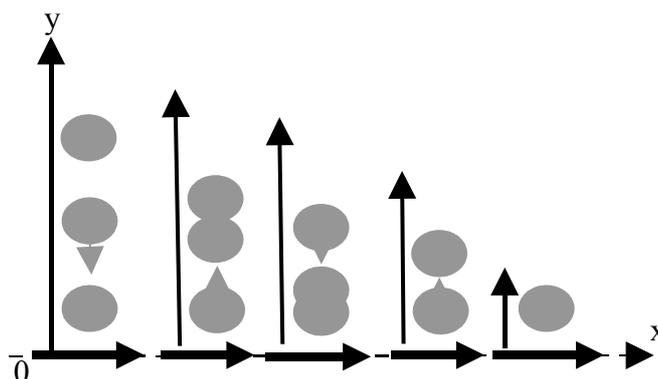
Em um experimento de laboratório um aluno solta uma bolinha a partir de um ponto X em um trilho de metal.



- a) Marque um dos pontos (A, B, C, D ou E) que é o ponto mais provável que a bolinha irá alcançar no trilho.
- b) Justifique a sua resposta

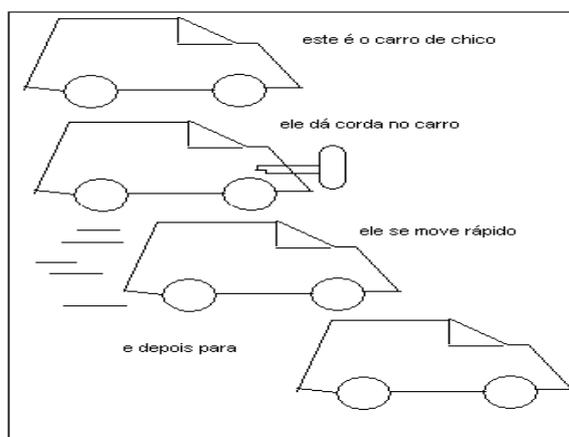
Questão 02.

Uma bola de tênis é solta (está em repouso) de certa altura H e após vários contatos com o solo, ela acaba parando.



Considerando somente a bola, explique **em termos de energia**, a diferença entre a situação inicial (bola em repouso na altura H) e final (bola em repouso no solo). O que mudaria em sua resposta se você considerar o sistema bola-Terra?

Questão 03.



Assinale apenas uma das alternativas.

- a) Quando o carro do Chico “tem mais energia”?
- F) Antes de dar corda.
 - G) Quando terminou de dar a corda.
 - H) Quando ele está se movendo com certa velocidade.
 - I) Quando ele para.
 - J) A mesma em todas as situações
- b) Justifique a sua escolha

Questão 04.

Se você bater várias vezes com um martelo em um pedaço de metal, tanto o metal quanto o martelo se aquecerão. Explique, **em termos de energia**, porque isso acontece.

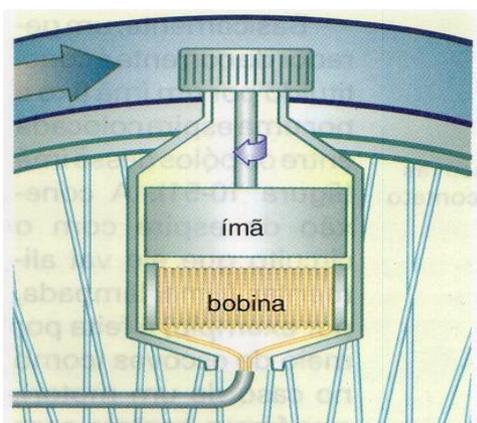
Questão 05.

Certa quantidade de água está em uma vasilha e à sombra. Você pega essa vasilha com água e a coloca exposta ao sol por cerca de 10 minutos, por exemplo. Você sabe de sua vivência que a água exposta ao sol vai ficar mais quente.

- a) Explique, em termos de energia, o que ocorre para a água se aquecer.
- b) Explique a diferença da água antes e depois de ser exposta ao sol. Qual o parâmetro que permite medir essa diferença?

Questão 06.

Uma menina tem um **dinamo** acoplado no pneu de sua bicicleta para acender a lâmpada. Ela nota que quando o dinamo está sendo usado é mais difícil pedalar na mesma velocidade. Foi explicado a ela que isto é porque “**energia não pode ser criada nem destruída, apenas muda de uma forma para outra**”. O que esta resposta tem a ver com o que ela notou?



Questão 07.

Dada as proposições abaixo sobre “**transformação de energia**” em várias situações, analise cada uma delas e responda.

A) LAMPADA- 100J de energia elétrica em 40J de energia luminosa

B) USINA TERMOELÉTRICA- 280000J de energia do óleo em 70000J de eletricidade

C) RIFLE - 200 J de energia química no explosivo (cartucho da bala) em 250 J de energia do movimento da bala.

D) AUTO-FALANTE – 3 J de energia elétrica em 0,5 J de energia sonora

- b) Qual a única transformação de energia A, B, C, ou D, que não pode nunca acontecer?
- c) Justifique sua resposta

APÊNDICE B

Questões levantadas para estimular a discussão com os alunos na aula de problematização

Questão 01.

Problematização.

- Quem respondeu a alternativa A? Por quê? (A energia desapareceu?).
- Quem respondeu a alternativa B? Por quê? (conservação de energia?).
- Quem respondeu a alternativa C? Por quê? (de onde apareceu a energia?).
- Foi respondido: “como ela foi solta na altura X, ela irá ganhar energia para chegar a altura X do outro lado no gráfico, B, pois a energia irá se conservar até parar”. Que idéia você tem sobre conservação de energia?

- Foi respondido também: “O ponto mais provável que a bolinha alcançará é o ponto A, pois ela não terá energia suficiente para alcançar um ponto mais alto”. Você consegue explicar por quê?

Questão 02.

Problematização.

- Há energia associada ao sistema bola-Terra na situação inicial? E na final?
- No início (antes de a bola ser solta) a bola está parada $V_0 = 0$, depois ganha velocidade e posteriormente ficar em repouso no solo $V_0 = 0$. Como você descreve esse processo em termos de energia?
- De que forma a bolinha alcançou a altura inicial (bola em certa altura em relação ao solo)?

Questão 03.

Problematização.

- Para a resposta B – A energia está em algum lugar no carro?
- É possível produzir energia? E gastá-la?
- Se você não tivesse visto o Chico dar a corda no carrinho, você saberia que a “energia existe”?
- Depois que o carrinho parou o que aconteceu com a energia relativa ao movimento? “Foi consumida?”

Questão 04.

Problematização

- Podemos afirmar que a “energia está guardada” no interior do martelo e do metal?
- O martelo “transfere energia” para o metal? Se transfere, “de onde vem a energia” do martelo?
- Como você pode caracterizar o sistema neste caso?
- O que ocorre no metal e no martelo quando ficam mais quentes?
- O fato de as partículas ficarem mais agitadas caracteriza **aumento de temperatura**?

Questão 05.

Problematização

- O que é a “energia solar?” “Como ela é?”
- Quando a água fica exposta à radiação solar ela fica mais quente. Nesse caso, o que modifica na água?
- Qual o parâmetro que permite medir a diferença que surge quando a água é levada à exposição solar? Como podemos medir esse parâmetro?

Questão 06.

Problematização

- “De onde vem a energia” da garota para pedalar a bicicleta?
- O que significa estar cansada? A garota “gasta mais energia” quando o dínamo é acionado?
- Como você pode identificar a energia durante o movimento da bicicleta?
- Podemos afirmar que a energia está sendo “transformada” durante o movimento da bicicleta?

Questão 07.

Problematização

Nesta questão podemos ver que a energia pode ser quantificada (em Joule), isto é, **há expressão matemática com a qual podemos medir a energia de um sistema**. Ao longo do nosso trabalho serão introduzidos alguns algoritmos que permitirão medir a quantidade de energia numa dada situação.

- Você conhece algum algoritmo (fórmula matemática) que permite medir a variação de energia em uma dada situação?
- O que você entende quando houve falar em “energia química” e “energia de movimento”, por exemplo?
- Como podemos descrever quantitativamente a variação da energia de um sistema?
- Há situações em que não podemos identificar a energia diretamente (como uma porção de água sendo aquecida), quando isso acontece é porque a “energia desaparece” ou “é destruída?”

Síntese de alguns conceitos que se deve compreender fisicamente.

- Energia – Concepção a ser construída/reconstruída em nosso estudo;
- “Energia escondida” – energia que parece desaparecer;

- “Energia de movimento” – energia relativa ao movimento medidas com parâmetro de velocidade e massa;
- “Energia interna” – energia relativa a posições das moléculas e seus movimentos;
- “Energia térmica” – energia relacionada com a radiação eletromagnética;
- Temperatura – grandeza medida com o termômetro que está relacionada com a agitação das moléculas;
- “Energia na mola” – energia relacionada com a deformação da mola;
- “Energia solar” – energia relacionada com a radiação eletromagnética;
- “Energia elétrica” – energia relacionada com a eletricidade;
- “Energia química” – energia relacionada com a estrutura molecular dos compostos químicos;
- Degradação de energia – conceito relacionado com o “aparente desaparecimento da energia”;
- Trabalho – quantidade relacionada a medida da variação da energia de um sistema;
- Conservação de energia – conceito relacionado com uma quantidade matemática que se mantém constante durante as transformações naturais;
- “Transformação de energia” – conceito relacionado com a variação da energia de um sistema;

APÊNDICE C

O Comportamento Dinâmico do Sistema Terra + bola

1) Problematização Inicial

Dando seqüência em nosso estudo, aproveitando as concepções levantadas, analisadas e problematizadas, **vamos analisar um fenômeno físico real**. Uma situação em que, uma bola de borracha repousando inicialmente sobre uma mesa, é elevada até certa altura e depois de solta cai sobre o piso horizontal, rígido e fixo na Terra.

Inicialmente levantaremos algumas questões importantes com objetivo de direcionar e dar seqüência ao trabalho, as respostas para essas questões não serão apresentadas visto que serão respondidas coletivamente ao longo do trabalho.

Como já foi dito vamos investigar uma bola de borracha que, repousando inicialmente sobre uma mesa, cai sobre o piso horizontal, rígido e fixo na Terra. Assim perguntamos:

Por que a bola de borracha cai? Será que a bola e a Terra interagem e essa interação determina a queda da bola? E a Terra, também cai para a bola? Se ela cai, por que não percebemos?

Podemos considerar a Terra e a bola de borracha como um sistema?

Quando vemos a bola de borracha, em queda, tocar o solo percebe-se que ela para e se deforma. Ela para instantaneamente ou leva um pequeno intervalo de tempo para parar efetivamente?

Uma bola de borracha tem boa elasticidade, portanto, após “tocar” o solo ela termina por subir novamente. Ela sobe indefinidamente, retorna à altura da mesa de onde caiu ou retorna para uma altura menor que a inicial?

Uma experiência desse tipo mostra que a bola, de certa forma, está presa na Terra e por isso não consegue se afastar. **Parece que estão ligadas por uma mola.** Como interpretar essa situação, do ponto de vista físico?

2) Sistematizando o Comportamento Dinâmico do Sistema Terra – Bola.

A Terra interage com todos os corpos que estão em sua vizinhança e essa interação é sempre atrativa e denominada de **interação gravitacional**. Por interação entende-se que a Terra atrai uma massa m qualquer e ao mesmo tempo é atraída por ela. Se a Terra atrai a maçã (Ver figura 1), pela terceira lei de Newton, a maçã atrai a Terra? É isso mesmo. Então, por que não sentimos a Terra se movendo? Sendo a massa da Terra bem maior que a da bola de borracha, não percebemos o movimento da Terra. A força de atração entre a Terra e a bola de borracha é chamada de **força peso** e pode ser medida suspendendo o corpo através de uma mola calibrada em newtons. Sendo a interação uma ação mútua, pela **terceira lei de Newton**, a força de interação entre duas massas m_1 e m_2 tem o mesmo valor tanto na massa m_1 como

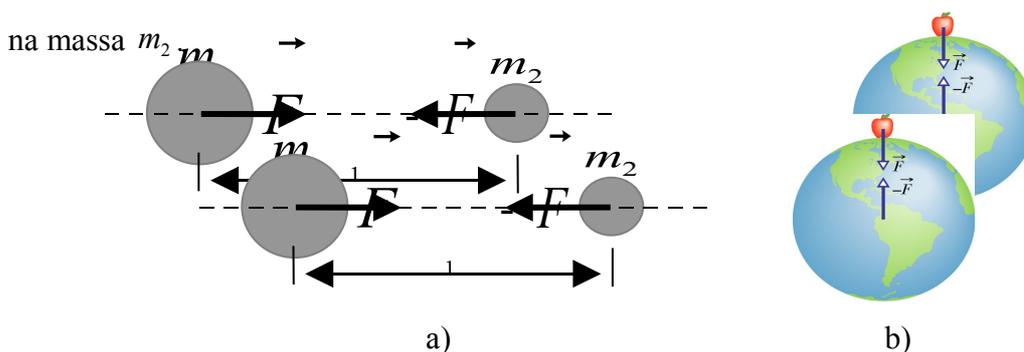


Figura 1. Interação gravitacional entre duas massas quaisquer. b) Interação gravitacional entre a Terra e uma maçã.

Uma bola de massa m solta de uma altura h (figura (01)) cai em direção a Terra e observa-se que sua velocidade aumenta até tocar a superfície da Terra. Esse movimento de queda segue a **segunda lei de Newton** ($F = m \cdot a$ ou $F = \Delta p / \Delta t$) em que a **força de interação** entre a Terra e uma massa m qualquer é dada pela **lei de gravitação universal de Newton**:

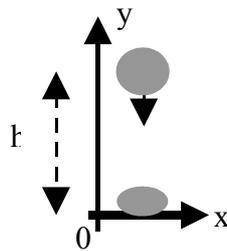


Figura 2. Bola caindo em direção ao solo e se deformando ao tocar o solo.

$$f_g = -G \cdot \frac{M_T \cdot m}{r^2}$$

em que $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$ é a **constante de gravitação universal**,

r é à distância entre os centros de massa da Terra e da bola,

$M_T = 5,98 \times 10^{24} \text{kg}$ é a massa da Terra,

m é a massa da bola.

A força gravitacional varia com o inverso do quadrado da distância que separa os centros de massas M_T da Terra e m de uma massa qualquer.

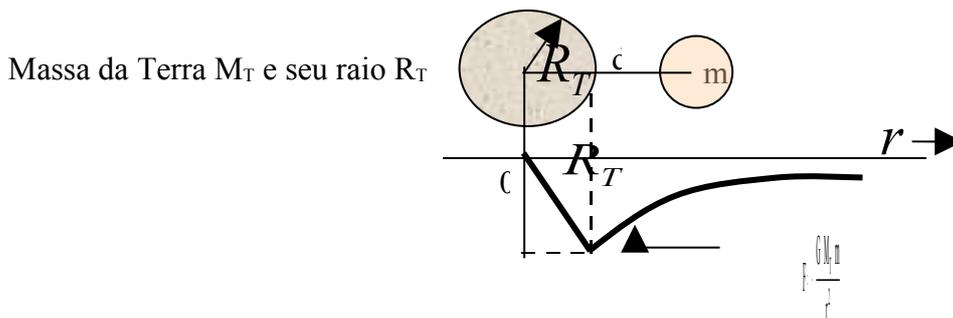


Figura 03. Variação da força de atração gravitacional entre a Terra e uma massa m qualquer em função da distância entre os centros de massa da Terra e da massa m .

Pela figura (03) podemos notar que, para $r > R_T$, a força varia com o inverso do quadrado da distância que separa os centros das massas. A aceleração devido à gravidade (interação gravitacional) em um ponto a uma altura h , acima da superfície da Terra, pode ser

obtida a partir da segunda lei de Newton e é dada pela equação $g = \frac{F}{m}$:

$$g(r \geq R_T) = G \cdot \frac{M_T}{(R_T + h)^2}$$

Em que R_T é o raio médio da Terra cujo valor aproximado é $6,37 \cdot 10^6$ m e h é a altura em relação à superfície. Para melhor analisar esta equação pode-se escrevê-la de outra forma. Assim,

$$g(r \geq R_T) = \frac{G \cdot M_T}{(R_T + h)^2} = \frac{GM_T}{R_T^2} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{h}{R_T}\right)^2}$$

Em que $g(R_T) = \frac{G \cdot M_T}{R_T^2}$ é a aceleração devido a gravidade em cada ponto da superfície da Terra. Como a Terra não é homogênea nem esférica e está em movimento de rotação em torno de seu eixo, os valores de $g(R_T)$ variam ponto a ponto em sua superfície. A relação entre o valor de $g(r \geq R_T)$ e $g(R_T)$ é:

$$\frac{g(r \geq R_T)}{g(R_T)} = \frac{1}{\left(1 + \frac{h}{R_T}\right)^2}$$

Sendo h bem menor que o raio da Terra o denominador assume valor aproximadamente igual à unidade e então a aceleração próxima à superfície da Terra é praticamente igual à aceleração na superfície. Confira na tabela a **variação de g para alguns valores de h variando de 1 até 3600 metros de altitude**. Percebe-se que até 3,6 km (3600 metros) de altitude o valor da aceleração devido à gravidade sofre pequena discrepância, por isso, podemos considerar a aceleração devido à gravidade, próxima a superfície da Terra.

Tabela 1: variação de g para alguns valores de h

Altitude em relação ao nível do mar	$g(r \geq R_T) = G \cdot \frac{M_T}{(R_T + h)^2}$
$h = 0$ (nível do mar) raio médio da Terra $6,37 \times 10^6$ m	9,82987 m/s ²
$h = 10$ metros	9,82984 m/s ²
$h = 100$ metros	9,82957 m/s ²
$h = 1000$ metros (1 km)	9,82679 m/s ²
$h = 3600$ metros altitude de Lá Paz na Bolívia.	9,81877 m/s ²
$h = 10.000$ m (vôo de aviões a jato)	9,79908 m/s ²
$h =$ distância média da estação espacial 400000 m.	8,70261 m/s ²
$h =$ distância terra – lua $D_{TL} = 3,84 \times 10^8$ m (centro-centro).	0,00270 m/s ²

Para pontos próximos da superfície da Terra a variação da aceleração da gravidade $g(r \geq R_T)$ em função da altura h é pequena e dentro de certos limites ela pode ser considerada como constante.

Nessa aproximação a queda de um corpo em direção à superfície da Terra pode ser descrita pelas equações do movimento retilíneo uniformemente acelerado (força de atração gravitacional é constante e a aceleração constante – segunda lei de Newton), que você já deve conhecer.

Na figura (04) foi essencial estabelecer **um referencial** para determinar um ponto a partir do qual as distâncias são medidas e também para estabelecer o sentido positivo para o movimento. Como estamos na Terra o nosso referencial é sempre a Terra embora, muitas vezes, não nos damos conta disso.

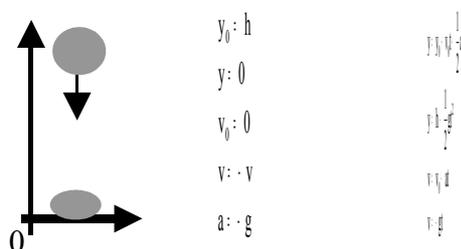


Figura 04. Queda de uma bola de uma altura h em relação à superfície da Terra

Onde ficou a dependência da massa na aceleração? Segure você mesmo dois objetos de massas diferentes e responda às seguintes perguntas: Qual a aceleração se a massa

é 0,2 Kg? Qual aceleração se a massa for 0,4 Kg? E se for 1,0 kg? O que você pode concluir a partir de suas respostas?

Como exercício calcule, pelas equações da cinemática, a velocidade com que um corpo de massa de 0,050 kg atinge o solo quando é solto de uma altura de 2,50 m em relação ao piso.

A partir do início da colisão entre a bola e a Terra haverá **duas forças**: a **força gravitacional** que sempre existe para qualquer corpo sob a influência da Terra e uma outra força repulsiva denominada **força normal**. Essa força repulsiva é de natureza eletromagnética, fruto de interação molecular. Esta força de natureza eletromagnética, que também varia com o inverso do quadrado da distância, assume valores extremamente grandes devido à proximidade dos átomos dos dois corpos (mais detalhes sobre essa interação você aprenderá em outra disciplina ao longo de sua formação acadêmica).

Faça uma figura semelhante à figura 4 e escreva as equações para a bola subindo até a altura máxima h' . Qual a força que atua enquanto a bola está no ar e subindo? Qual a força que atua quando ela alcança a altura máxima h' ?

Dependendo do **comportamento elástico** da bola, ela poderá retornar ou não, isto é, se a bola apresentar comportamento elástico ela retornará a uma altura $h' \leq h$, mas se o **comportamento for plástico** ela se deformará e permanecerá no solo.

Solte, de mesma altura h , duas bolas: uma de borracha e outra de massas de modelar. Observe e explique o que acontece quando as bolas atingem o solo. Qual a diferença no comportamento das bolas?

Estamos interessados no estudo do caso em que a bola tenha comportamento elástico. Durante a colisão a deformação na bola aumenta até um valor máximo e, em consequência, a força normal da superfície sobre a bola também aumenta até um valor máximo.

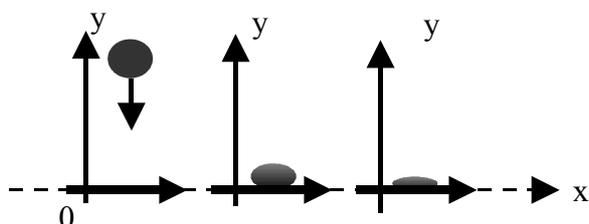


Figura 5. Interação elástica da bola com a superfície.

Quando a bola atinge a deformação máxima, ela começa a retomar seu formato natural impulsionada para cima. Deve-se observar que o comportamento elástico não é

somente devido ao material da bola, mas também em função do comportamento elástico do ar no interior da bola (como a suspensão a ar em alguns carros e os colchões de amortecimento de quedas em parques de diversões). Aqui se considera (isso é uma aproximação) que a superfície de interação no solo é plana, rígida e que praticamente não se deforma.

Uma boa analogia para este caso seria como se a Terra e a bola estivessem presas por uma mola ideal helicoidal formando um conjunto vai-vem.

Nesta analogia, quem estaria fazendo o papel da mola? Percebe-se que a queda e o retorno da bola, durante todo o processo, só acontece devido às forças de natureza gravitacional e elástica. A primeira determinando a atração entre a bola e a Terra e a segunda, a repulsão entre ambas.

Para compreender melhor a interação bola-Terra podemos fazer uma analogia com a deformação de uma mola submetida à ação de força paralela ao seu comprimento.

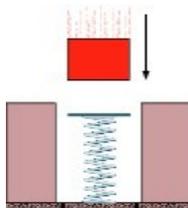


Figura 6. Interação entre uma mola e um bloco que cai de uma altura h

Para discussão futura: Após bater no solo várias vezes, vê-se que a bola termina parando. Por que isso acontece? Para onde foi o movimento? Qual a diferença entre o estado inicial e o final? O que mudou no sistema Terra+bola?

Através das leis de Newton pudemos descrever alguns aspectos desse sistema, mas há muito mais a ser descoberto. Isso será feito através do conceito de energia a ser introduzido nas próximas aulas.

Síntese

- A massa M_T da Terra e a massa m constituem um **sistema**. Para um sistema existe um ponto denominado Centro de Massa, que fica fixo para as interações internas.
- A massa da Terra e a massa m estão ligadas pela **força gravitacional**:
- $f_g = -G \cdot \frac{M_T \cdot m}{r^2}$, que é a chamada **força peso**.
- **Ação mútua** (terceira lei de Newton – ação e reação).

- O **mesmo valor da força atua nas duas massas**: a intensidade da força que a Terra exerce sobre uma massa m qualquer é igual à força que a massa m exerce sobre a Terra (pois depende do produto das massas). Atenção os efeitos são diferentes, pois as massas são diferentes - segunda lei de Newton.
- O valor da **aceleração da gravidade** $g(r \geq R_T) = G \cdot \frac{M_T}{(R_T + h)^2}$ varia com h (ou com a distância ao centro da Terra), mas pode ser considerada constante para pequenos valores de h em comparação com o raio da Terra.
- Como a **aceleração não depende da massa do corpo**, temos que todos os corpos caem com a mesma aceleração e chegam ao solo no mesmo intervalo de tempo e com a mesma velocidade, se soltos da mesma altura h . (não considerando a resistência do ar que é necessário considerar em determinadas situações: chuva, para quedas, folha de papel, etc.).
- O nosso **referencial** básico é a Terra porque estamos na Terra. Toda a descrição que fazemos do movimento leva em conta esse fato embora não tenhamos consciência disso.

APÊNDICE D

Modelização Matemática de um Sistema Físico e as Linguagens da Física.

Atividade: Estudo do Comportamento Dinâmico de uma Mola.

A **mola** é um objeto muito utilizado em amortecedores, relógios mais antigos, sistemas que necessitam suavizar impactos, etc. Além dessa aplicação direta, a lei matemática que se aplica á mola também se aplica os vários outros sistemas físicos.

Uma bola de borracha, por exemplo.

As molas são de muitos tipos: materiais diferentes, diâmetros diferentes, diâmetro do fio que a constitui, tamanho da mola. Para usar a mola é preciso conhecê-la, isto é, é preciso construir um conceito compartilhado cientificamente, que tem regras determinadas,

estabelecidas pela ciência. Faz-se necessário listar as qualidades (grandezas) que podem ser observadas e atribuídas a uma mola. Neste caso as grandezas podem ser: o quanto a mola se distende quando se aplica uma força paralela à mola, o tamanho da mola, o diâmetro do fio, o diâmetro da mola, etc. Em seguida devemos procurar as grandezas que tenham alguma relação entre si. Como podemos ter vários tipos de molas precisamos levar em conta a possibilidade de se estabelecer alguma regularidade de comportamento entre as diferentes molas.

Ao estudar a mola é preciso interagir com ela. Assim, o que varia na mola quando ela interage como um agente externo?

A resposta a essa pergunta vem da observação de que a mola aumenta ou diminui de tamanho conforme a força sobre a mola seja de distensão ou compressão.

Qual a relação que existe entre a força aplicada e o quanto a mola se distende?

Pode-se estabelecer uma **hipótese** que seja uma possível resposta a essas perguntas. Nossa hipótese pode ser que a **distensão (elongação, ou variação de comprimento da mola) é proporcional à força aplicada na extremidade da mola. A validação dessa hipótese** pode ser obtida através do estudo do comportamento de diferentes molas.

Para realizar esta atividade você deverá dispor de três molas de diferentes materiais, comprimentos e espessuras.



Figura 01 - Fotografia de três molas de diferentes tamanhos espessuras e materiais.

Você deve pendurá-las livremente e realizar as medidas de seus comprimentos iniciais.



Figura 02 - Fotografia de três molas de diferentes tamanhos espessuras e materiais, penduradas livremente.

Pendure massas diferentes nas extremidades das molas e anote a variação do seu comprimento de acordo com as forças aplicadas (pesos conhecidos). Para a medida você deve utilizar uma régua ou uma escala graduada e fixa.



Figura 03 - Fotografia de uma massa conhecida, pendurada no extremo da mola.

Anote, na tabela, o valor dos pesos utilizados e as distensões medidas.

Força aplicada (N)	Variação do comprimento da mola 1	Variação do comprimento da mola 2	Variação do comprimento da mola 3

Importante aqui é observar o fato que os dados na tabela expressam o comportamento das molas e, portanto, a **tabela é uma forma de linguagem da Física**, isto é, uma tabela é uma forma de representação de uma lei Física ou de uma relação entre duas variáveis.

Para fazer a representação gráfica (utilizar a linguagem gráfica) a partir dos dados da tabela utiliza-se um papel milimetrado (com escala em milímetros).

Neste caso específico utilizar-se-á escala em milímetros. Algumas regras básicas devem ser observadas para a boa construção de um gráfico:

- i) Faça a escolha e a identificação de cada um dos eixos coordenados (eixo das abscissas (x) e o eixo das ordenadas (y));
- ii) Faça a determinação da escala para cada um dos eixos coordenados. (a escala deverá ser um múltiplo de 1, 2, 5 e seus múltiplos para facilitar a marcação dos dados; uma regra básica para se determinar o fator de escala é considerar a variação entre o máximo e o mínimo valor da tabela e dividir pelo valor máximo do papel onde os dados serão marcados);
- iii) Faça a marcação dos pontos da tabela que contém os dados medidos (ou calculados);
- iv) Faça o traçado da curva que representa os pontos marcados (não se devem unir os pontos marcados, mas traçar a melhor curva que representa esses pontos).

Observando as regras acima, tome o papel milimetrado, defina as escalas para os eixos, marque os pontos e trace a melhor curva para cada conjunto de pontos. Neste caso a variação de comprimento deve ser marcada no eixo x e a força no eixo y.

Depois de construído o gráfico o próximo passo é expressar, em **linguagem matemática**, o comportamento das molas. Essa informação pode ser obtida diretamente do gráfico através do **conceito de coeficiente angular**. Observe que os gráficos passam pela origem, pois o ponto (0,0) faz parte da tabela uma vez que se não houver força aplicada à mola não terá nenhuma elongação.

Os gráficos são semelhantes?

O que muda de um gráfico para outro? O que pode descrever o comportamento diferente entre as molas, isto é, existe um parâmetro que diferencia uma mola da outra?

Pelo que estamos vendo os três gráficos são retas que passam pela origem e o que diferencia uma reta de outra é a sua **inclinação ou coeficiente angular** (**atenção**: - não é a tangente do ângulo que a reta faz com o eixo x). O cálculo do coeficiente angular de cada reta (**atenção**: utilizar pontos da reta e não mais os pontos medidos) pode ser feito assim:

Coeficiente angular = Força aplicada / elongação = F/x = constante elástica da mola.

$$k = \Delta F / \Delta x$$

Nessa expressão **x** representa a **variação de comprimento da mola** (elongação) em relação ao seu estado natural sem a ação de forças. Neste caso o coeficiente angular é representado pela letra **k** e é denominado de **constante elástica da mola**. Como podemos observar cada mola utilizada tem um **k** diferente, ou seja, a constante elástica **k**, de certa forma é uma quantidade que identifica a mola. Em função desses resultados podemos escrever

$$F(\text{aplicada}) = k \cdot x \quad (\text{lei de Hooke})$$

Esta é a **linguagem matemática**. Importante perceber que as três molas tiveram comportamentos semelhantes e que elas podem ser representadas por uma mesma relação matemática e que todas as diferenças entre as molas (formato, material, espessura do fio, etc.) estão na constante elástica **k**. (Robert Hooke (1635, 1703) foi um notável cientista contemporâneo de Newton e fez muitos estudos, entre outros, relacionados com a lei de variação do inverso do quadrado da distância na atração gravitacional entre duas massas.

Hooke tinha muita capacidade para realizar experimentos e, em 1662, foi designado “curador de experiências” da Royal Society na Inglaterra.).

A partir do traçado da **melhor curva que representa os dados**, fica representado, registrado no papel, o salto que o ser humano dá para a **construção de um modelo**. Nesse momento abandona-se a realidade dos dados e passa-se a representar sua idealização. Essa expressão matemática representa a mola e pode ser utilizada na realização de projetos representando uma mola modelo.

Esse mesmo resultado pode ser expresso em **linguagem escrita**: uma mola, quando submetida a uma força **F** sofre uma variação de comprimento **x**, isto é, a variação de comprimento de uma mola é proporcional à força aplicada nela. Isso confirma a hipótese proposta inicialmente.

A partir de dados discretos, quantidade inteira (valor das forças aplicadas) é possível imaginar uma força qualquer que a atividade não oportuniza (interpolação e extrapolação). Nessa idealização não são consideradas as diferenças de fabricação entre as molas e os possíveis erros de medida e passa-se a ter molas ideais. Essa mola ideal – o **objeto-modelo** – representa a média das molas do fabricante, ou seja, uma mola padrão. Embora idealizada, ela não está afastada da realidade e é bem possível que boa parte das molas se comporte como a mola idealizada.

Esse resultado não vale para qualquer força aplicada, pois sabemos que se aplicamos uma força além de um determinado valor, definido para cada mola, esta perderá as suas propriedades elásticas, definido como o **limite elástico da mola**. Portanto a relação **F = k·x** vale dentro de certos limites.

Atenção: quando exercemos uma força **F** sobre a mola, pela terceira lei de Newton, a mola exercerá uma força de mesma intensidade, mesma direção, mas de sentido contrário. Assim, a força exercida por uma mola sobre quem interagir com ela (agente externo) é dada por:

$$F(\text{exercida pela mola}) = - k x$$

É fundamental esclarecer que ao se construir um **modelo** para as molas, está-se idealizando que todas se comportam de acordo com **F = k·x**, estamos estabelecendo uma **mola ideal**. Para a construção desse modelo foram utilizados procedimentos que também são utilizados na construção do conhecimento científico. Entretanto é necessário frisar que esses

não são os únicos procedimentos adotados e que não é a partir de uma quantidade discreta e singular de dados que um modelo se estabelece como conhecimento científico.

O processo de desenvolvimento do conhecimento científico é muito mais complexo e no caso dos procedimentos utilizados nas atividades experimentais, um conhecimento só adquire a condição de conhecimento científico após ser exaustivamente discutido e testado.

Embora o **modelo** construído seja para uma **mola helicoidal ideal**, ele pode ser generalizado para qualquer corpo que apresente comportamento elástico quando submetido a esforço paralelo, apenas é claro, equacionado diferentemente porque nem todos se deformam da mesma maneira. É o caso da bola de Borracha cuja deformação não se processa da mesma forma que a mola. Além do que existe ar dentro dela cuja deformação também se processa diferentemente. Como exemplo podemos citar o caso de duas bolas de aço que ao se chocarem apresentam deformação dada pela equação:

$$F = \frac{5}{4}kx^{\frac{3}{2}}$$

Em que k é a constante elástica do material e x representa o quanto a bola se deformou. Observe-se que essa expressão difere da lei de Hooke para uma mola ($F = kx$), em pelo menos dois aspectos: a relação força-deformação não é linear e o coeficiente de proporcionalidade é ligeiramente maior que um (para molas helicoidais, tipicamente

$$K \cong 100 \frac{N}{m}).$$

APÊNDICE E

Uma Analogia Importante: uma quantidade que se conserva

1. Etapa de problematização

O comportamento dinâmico do sistema bola-Terra foi analisado sob o prisma das forças que atuam no sistema; mas aplicando as leis de Newton diretamente essa análise se torna bastante difícil porque nas colisões as forças são variáveis e ocorrem num tempo extremamente curto, dificultando a sua determinação. Mas é fato notável que podemos estudar alguns aspectos da colisão da bola com o piso sem sabermos nada sobre tais forças. Isto implica dizer que o sistema bola -Terra também pode ser compreendido (modelado) de

outras formas. Podemos definir outras grandezas que são úteis para a compreensão desse sistema físico e que podem ser generalizadas para outras situações físicas na natureza. Desse ponto de vista vamos considerar a situação que nos interessa; aquele em que após interagir várias vezes com a Terra, a bola acaba parando.

Uma das grandezas que podemos definir para compreender esta situação é $p = m \cdot v$, denominada quantidade de movimento da massa que compõe o sistema, isto é $p = M_T v_T + m v$, e $\Delta p = m \cdot \Delta v = 0$ pois a quantidade de movimento do sistema bola terra se conserva, isto é, sua variação é nula. A quantidade de movimento é útil no estudo das interações porque ela sempre se conserva imediatamente antes e depois de uma colisão (sistema isolado é bola + terra).

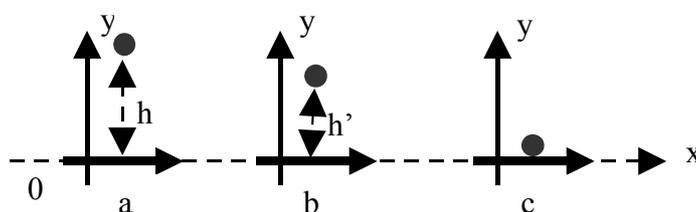


Figura 1. a) bola solta de uma altura h atinge o solo e se deforma; b) bola retoma a forma original e é impelida para cima; c) bola para após sucessivas quedas.

A bola, ao ser solta de uma altura h , cai em direção à Terra devido à força de interação gravitacional e adquire uma quantidade de movimento p . Durante a colisão com a Terra, a bola para por um pequeno intervalo de tempo e retorna até uma altura $h' \leq h$. Depois de várias colisões ela para.

A pergunta imediata é para onde foi a quantidade de movimento da bola? Inicialmente a bola não tinha movimento de translação quando estava na altura h , mas depois adquiriu uma quantidade enquanto estava caindo, perdeu esta quantidade durante a interação e depois ganhou novamente ao ser impulsionada para cima. Como compreender isso?

Pela segunda lei de Newton, enquanto o corpo está caindo sob a ação de uma força constante, temos $F \Delta t = m \Delta v$ ou $F (t_f - t_i) = m (v_f - v_i)$. Como essa força é a força peso, $F = -mg$ (sentido positivo para cima), tem-se $-mg (t_f - t_i) = m (v_f - v_i)$, ou escrevendo na forma mais usual temos $v_f = v_i - g (t_f - t_i)$ ou ainda $v = v_0 - gt$.

No processo de queda em que só atua a força gravitacional (considerada constante) fica fácil determinar os movimentos. Entretanto, durante a interação da bola com o piso fica muito difícil descrever o que acontece utilizando diretamente as leis de Newton. Disso resulta a necessidade de outra grandeza com a qual seja mais fácil descrever o que acontece.

Para nosso conforto existe ainda outra grandeza que foi introduzida à cerca de 380 anos e vem se tornando cada vez mais importante na análise do comportamento de sistemas físicos como o nosso. **Essa grandeza é denominada energia.**

A idéia de energia é **abstrata**, mas tem se mostrado muito importante na compreensão do comportamento de sistemas físicos em todas as áreas da Física, pois até hoje tem sido verificado que a **energia de um sistema se conserva**. Para introduzir a idéia de energia e sua conservação vamos fazer uma analogia bastante simples baseada no que propõe o físico Richard P. Feynman.

2. Atividade: Contando Bolas de Gude

Com a finalidade de construir uma idéia para examinar uma das leis básicas da física, **a conservação da energia**; vamos desenvolver algumas idéias gerais importantes utilizando uma analogia baseada no que propõem Richard P. Feynman em seu livro: *Física Em Seis Lições (2001, capítulo Quatro, p. 115)*.

Por que construir tal idéia por meio de uma analogia?

Energia é um conceito bastante abstrato e esta analogia utiliza um sistema bem simples que é um conjunto de bolas de gude e isso pode facilitar a compreensão das idéias básicas.

Imagine que uma criança, o “Rafael”, tenha ganhado de sua mãe uma caixa contendo 50 “bolas de gude”, para brincar em sua casa. Por motivo de doença contagiosa, Rafael está impedido de sair de casa e de brincar com seus colegas da vizinhança. A casa do Rafael, onde as portas e janelas estão fechadas, se constitui no que chamamos de **um sistema isolado** no sentido de que as bolas de gude do Rafael não podem sair e nem outras bolas podem entrar. A casa do Rafael é um sistema fechado que possui diversas partes.

Rafael brinca com as bolas por toda casa, e como toda criança, nunca deixa as coisas nos seus devidos lugares. Fica para sua mãe a arrumação e a guarda das bolas de gude. Procurando guardá-las na caixa, a mãe do Rafael percebe que estão faltando 10 delas. Averiguando pela casa, ela encontra seis embaixo do sofá e mais quatro embaixo da cama do garoto. Ela as confere e percebe que o **número de bolas de gude não mudou**.

Tudo corre tranqüilo até que, certo dia, ela vai guardar as bolas de gude e verifica que estão faltando 15 delas. Ela então procura por toda a casa. Não achando nada, resolve procurar no cofrinho do Rafael. Não tendo as chaves para abri-lo, a mãe do Rafael usa a imaginação científica.

Sabendo que a massa do cofre, vazio, é 300 gramas e que a massa de uma bola de gude é, aproximadamente, 8,0 gramas, ela escreve:

$$\text{númerodebolas degudevistas} + \frac{\text{massatotaldacaixa} - 300\text{gramas}}{8,0\text{gramas}} = 50 .$$

A mãe do Rafael descobre um meio de conferir o número total de bolas de gude do filho.

Um outro dia, o garoto decide lavar as bolas de gude para depois guardá-las. Sua mãe lhe dá uma vasilha contendo 3 litros de água limpa para essa tarefa. Lavadas, o menino as guarda. Ao conferir o número total delas a mãe do “Rafa” percebe que estão faltando 8. Estando a água suja, ela não consegue visualizar e conferir se há ou não bolas dentro da vasilha. Então, põe à prova sua engenhosidade científica para conferir o número total de bolas. Conhecendo o nível inicial da água igual a 134 mm, e sabendo que cada bola pode elevar de 2 mm tal nível, a mãe do “Rafa” mede um nível de água igual a 146 mm e escreve:

$$\text{Número de bolas visíveis} + \frac{\text{nível medido} - \text{nível inicial}}{2\text{mm}} = 50 \text{ bolas}$$

Procurando verificar ela encontra:

$$42 + \frac{146 \text{ mm} - 134 \text{ mm}}{2 \text{ mm}} = 42 + 6 = 48$$

Entristecida, a mãe do Rafael acredita que sua engenhosidade falhou. Faltam 2 bolas de gude. No entanto, ao preparar o filho para o banho percebe que há algo em seu bolso. Para seu espanto, lá estavam as 2 bolas que faltavam na sua equação. Então reescreve:

$$\text{Número de bolas visíveis} + \frac{\text{nível medido} - \text{nível inicial}}{2\text{mm}} + 2 \text{ bolas} = 50$$

Com isso a mãe do Rafael percebe que não importa onde as bolas de gude estejam na casa o total não se altera e pode ser revelado toda vez que um termo adequado é adicionado

à equação. Para contar as bolas a equação adquire maior complexidade cada vez que um novo termo é adicionado.

Os parâmetros de comprimentos e massa, que aparecem na equação, não são bolas de gude, mas uma quantidade que pode ser medida. Até que ponto a mãe do Rafael está, de fato, contando bolas de gude? Será que as bolas de gude estão se transformando em outra coisa?

Em verdade, exceto no primeiro termo da primeira equação, em que aparecem bolas, estamos lidando com **parâmetro de massa (variação da massa)** que **ao final se traduz em um número de bolas** que somado ao primeiro termo, expressará o total de bolas de gude. **O total de bolas de gude não varia se há o cuidado de verificar as bolas em todos os pontos da casa.**

Na segunda fórmula, exceto o primeiro termo, temos o **parâmetro de comprimento (variação do comprimento)**. Esse parâmetro se traduz num número de bolas que somado ao primeiro termo, também expressará o número total de bolas. Situação semelhante pode ser vista no terceiro algoritmo.

Observe que para conferir o número total de bolas de gude, a mãe do Rafael precisa verificar em toda a casa para saber em que partes dela, as bolas podem estar, pois ela tem certeza que as bolas não saíram da casa e, portanto, devem estar em algum lugar. **Em certos casos a mulher não vê as bolas de gude, mas tem como saber onde estão e quantas são.**

É muito importante perceber que o total de bolinhas conferidas pela mãe do Rafael, é aquele que existe apenas em sua casa. Quando as bolas estiverem em locais não visíveis, será preciso criar algum algoritmo que traduza num valor numérico que expresse o total delas. Dessa forma podemos verificar o total de bolas de gude desde que uma série de termos possa ser agregada ao algoritmo construído.

Depois que Rafael sarou ele pode sair de casa e ir brincar com seus amigos. Neste caso Rafael levou as bolas de gude para fora da casa e, ao jogar com seus amigos ele pode **ganhar ou perder. Considerando essas interações a casa passa a se constituir em um sistema aberto.**

Num outro dia, a mãe de Rafael vai guardar novamente as bolas de gude e verifica que existem 55 bolas. Logo o número delas aumentou. Ela quis saber o que aconteceu e Rafael disse que foi jogar com seu amigo e, no jogo, ganhou cinco bolas de gude – **a origem da variação do número de bolas de gude ficou bem identificado e quantificado.**

No dia seguinte Rafael chega a casa chorando porque perdeu 8 bolas de gude para aquele seu amigo. Sua mãe foi contar as bolas e obteve apenas 47, isto é:

$$50 + 5 \text{ (ganhou)} - 8 \text{ (perdeu)} = 47.$$

Devido às **interações** do Rafael com seus amigos o número de bolas está variando de acordo com o que o menino ganha ou perde.

Continuando em sua rotina de cuidar das bolas de gude, em outro dia a mãe do Rafael contou apenas 40 bolas. Como a última contagem foi de 47, estava faltando 7 bolas. O que Rafael havia feito com essas bolas? Após uma investigação cuidadosa ela viu a janela aberta e imaginou que ele poderia ter atirado as bolas pela janela. Após uma procura no quintal as bolas foram encontradas. Assim, temos:

$$50 + 5 \text{ (ganhou)} - 8 \text{ (perdeu)} - 7 \text{ (jogou pela janela)} = 40.$$

Então em um **sistema aberto**, o número total de bolas pode alterar? Sim.

Sendo aberto, poderá ocorrer interação com o meio externo. Rafael pode jogar com seus amigos. **O número total de bolas de gude dentro do sistema só varia, se o garoto vier a ganhar ou perder, jogando com seus amigos ou jogando pela janela, perdendo no quintal.**

Haverá um acréscimo, caso ele venha a ganhar, e uma diminuição caso venha a perder. Aqui fica claro que o número total de bolas de gude contabilizado é sempre aquele que já existia no sistema, somado ao que entrou ou subtraído do que saiu.

O algoritmo importante aqui é aquele que determina de quanto foi a variação para mais ou para menos. O valor total, dado inicialmente, em si não importa.

Em resumo, com esta analogia podemos concluir que para conferir o número total de bolas de gude na casa (sistema), a mãe do Rafael precisa:

- i) A mãe deu, inicialmente, em uma caixa as bolas de gude para o Rafael;
- ii) Para um sistema fechado: verificar em toda a casa para saber em que partes dela, as bolas podem estar – a quantidade de bolas sempre será a mesma;
- iii) Para um sistema aberto: verificar se entrou ou saiu alguma bola, ou seja, se o Rafael foi jogar ou não com seus amigos, se jogou algumas bolas pela janela, etc.. A quantidade de bolas varia.

Quando as bolas estiverem **em locais não visíveis**, será preciso criar algum algoritmo, utilizando algum parâmetro que expresse alguma variação. Esse algoritmo tem a função de converter essa variação em um valor numérico que expresse o total de bolas. Dessa forma podemos verificar o total de bolas de gude desde que uma série de termos (parâmetros) possa ser somada ao algoritmo construído.

Retomando o caso do sistema bola-Terra; nota-se que há algo não perceptível diretamente, mas que promove o movimento quando abandonamos a bola. O movimento parece “desaparecer” durante a colisão da bola com o piso, e reaparecer quando a bola torna a subir. Isso ocorre várias vezes até que o movimento “desapareça” completamente.

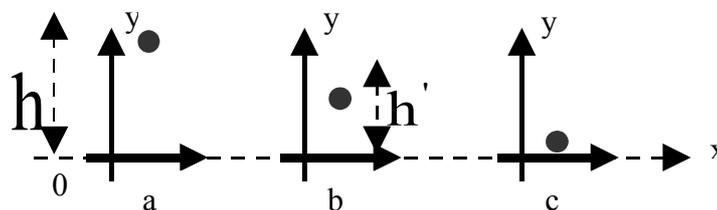


Figura 02 - a) Bola solta de certa altura h ; b) retorna para uma altura h' menor que h ; c) bola para após sucessivas quedas.

Considerando a analogia das bolas de gude, como podemos escrever algoritmos para determinar esse “algo” inicial que promove o movimento e verificar se a sua quantidade permanece constante até a bola entrar em repouso na superfície?

APÊNDICE F

Aplicando as Idéias de Feynman

Na atividade anterior estudamos a conservação do número de bolas de gude na casa do Rafael; naquela situação a mãe do garoto procurou escrever equações pelas quais podia medir a variação do número de bolas que ocorriam na casa (sistema). Foi introduzida a idéia de sistema fechado e aberto, determinando se as interações são externas ou internas. No que vamos tratar aqui é extremamente importante que se defina previamente qual é o sistema, isto é, quem é o sistema e quem é a sua vizinhança. Uma vez definido o sistema, tudo em sua volta será a vizinhança.

1. Descrever o sistema Terra – bola do ponto de vista da energia

Como podemos utilizar a analogia do sistema de bolas de gude para compreender o que está ocorrendo na natureza quando uma bola de borracha cai de certa altura h em relação ao solo e, depois de subir e descer várias vezes, acaba parando?

Para facilitar a análise consideremos o esquema abaixo:

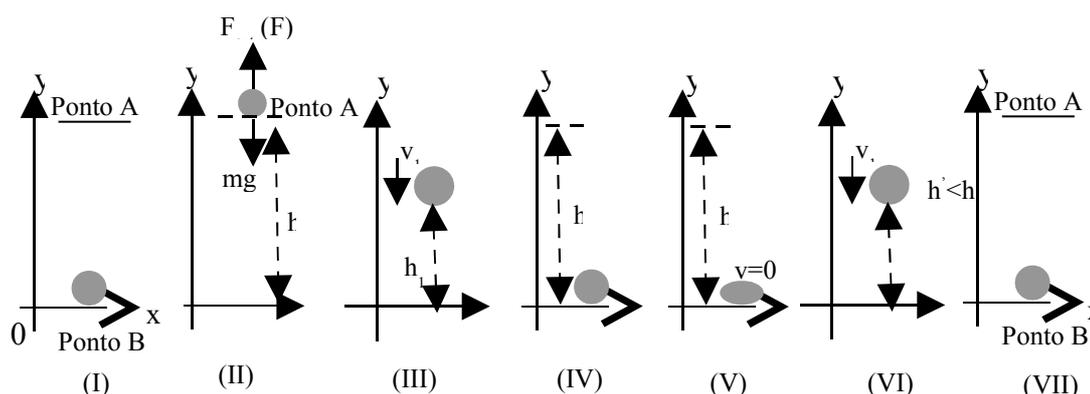


Figura 1. Figura ilustrando a evolução do sistema, passando por diferentes estados até a bola ficar em repouso do ponto B

A bola encontra-se inicialmente em repouso no nível $y = 0$ (bola em contato com a Terra). Uma interação externa (força externa exercida por você) eleva a bola para o nível $y = h$, isto é, separa a bola e a Terra de uma distância h . **Dizemos que isso representa uma nova configuração ou um novo estado para o sistema Terra – bola.** Nessa posição a bola é solta e começa a se movimentar em direção à Terra e a Terra em direção à bola. No contato entre a bola e a superfície do piso, ela para momentaneamente e, depois, volta a ter movimento novamente subindo até uma altura $h' < h$. No final do processo a bola volta a estar em repouso na superfície onde $y = 0$.

Qual a diferença entre o **estado inicial** (situação-I) e o **estado final** (situação- VII) desse sistema Terra – bola (STB)?

No caso das bolas de gude o estado inicial é aquele em que o Rafael não tem nenhuma bola de gude sendo que o estado seguinte é aquele em que há certo número de bolinhas. Esse estado é preparado pela mãe do Rafael quando ela dá, de presente para o garoto, 50 bolas de gude dentro de uma caixa.

Qual o **estado inicial** na experiência com a queda da bola de borracha próximo da superfície da Terra? Qual a quantidade que representa o **estado seguinte** do sistema Terra - bola em comparação com o número inicial de bolas de gude?

Para responder às questões colocadas acima vamos fazer uma análise do STB partindo de conceitos já conhecidos, especialmente as três leis de Newton.

Sabemos que a bola e a Terra interagem gravitacionalmente e essa interação é descrita pela lei de Gravitação Universal de Newton. Dessa lei obtivemos uma expressão para g , que representa o valor do campo gravitacional da Terra. Como a interação gravitacional ocorre à distância dizemos que ela ocorre através do campo gravitacional. Foi mostrado que para alturas pequenas em relação ao raio da Terra o valor de g pode ser considerado constante, isto é, o movimento de queda da bola pode ser tratado como um movimento retilíneo com aceleração constante e podemos utilizar as equações para esse tipo de movimento.

Para descrever a evolução do sistema da situação II para as situações III e IV, a bola e a Terra se movem uma ao encontro da outra. Para efeito de tratamento matemático considera-se que apenas a bola se moveu do ponto A para o ponto B. Esse é um modelo que nos permite descrever essa situação com boa precisão.

Na descrição do movimento entre os pontos A e B podemos utilizar a equação de Torricelli que relaciona as grandezas entre esses dois pontos: $v_B^2 = v_A^2 + 2a(y_B - y_A)$, em que $v_A = 0$, $y_A = h$, $y_B = 0$ e $v_B = v$. O resultado, então é $v^2 = 2 g h$. Multiplicando-se ambos os lados por $\frac{1}{2} m$, temos:

$$\frac{1}{2} m v^2 = m g h \quad (1)$$

Em que v é a velocidade com que a bola de massa m chega à superfície da Terra e h é a altura de onde ela saiu. Portanto, temos a igualdade entre uma quantia que é calculada pelo algoritmo mgh (com as condições do ponto inicial do movimento – altura h e velocidade zero) e uma quantia que é calculada pelo algoritmo $\frac{1}{2} m v^2$ (com as condições do ponto final do movimento – altura zero e velocidade v).

A equação (1) mostra a igualdade de dois algoritmos completamente diferentes que representam o mesmo resultado numérico quando o STB evolui espontaneamente do ponto A (estado ou configuração inicial) para o ponto B (estado ou configuração final). O lado esquerdo ($m.g.h$) define uma quantia para o estado inicial do sistema Terra - bola (nesse

processo de evoluir de A para B) e o lado direito ($\frac{1}{2}mv^2$), define uma quantia para o estado final desse sistema no ponto A.

Seguindo a analogia com as bolas de gude, a **quantidade numérica inicial mgh**, representa para o sistema Terra - bola o que as **50 bolas de gude** representam para o quarto do Rafael. O estado inicial do sistema nesse processo.

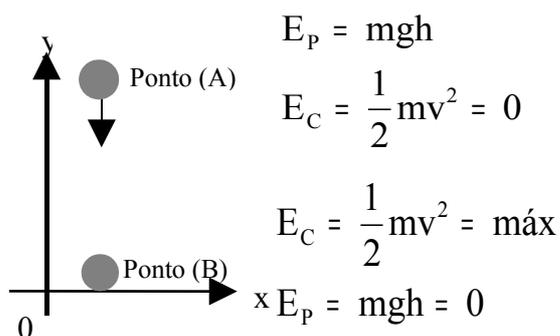


Figura 2. Estado inicial (bola afastada de uma altura h em relação ao solo) $mgh = \text{máx}$ e $\frac{1}{2}mv^2 = 0$ e estado final (bola sobre o solo) $mgh = 0$ e $\frac{1}{2}mv^2 = \text{máx}$.

À quantidade mgh dá-se o nome de **energia potencial gravitacional** porque está associada à **configuração do sistema Terra-bola - como estão dispostos a bola e a Terra** e, à quantidade $\frac{1}{2}mv^2$ dá-se o nome de **energia cinética** porque está associada ao movimento relativo das partes integrantes do sistema.

Dois comentários importantes:

- i) O resultado que encontramos é uma aproximação uma vez que $v_T = v$ (m/M_T), e a energia cinética da Terra ($E_{cT} = \frac{1}{2} M_T v_T^2$) pode ser escrita como $E_{cT} = (m/M_T) E_{cb}$. O que resulta num valor extremamente pequeno.
- ii) A energia potencial gravitacional e a energia cinética **não são tipos de energia** como muito se vê em alguns livros de Física. O que realmente temos (pelo que estudamos até aqui) é uma quantidade matemática que está relacionada com a configuração ou estado do sistema, e que podemos medi-la por diferentes algoritmos. Utilizamos os termos **energia cinética** e **energia potencial gravitacional** para referirmos a essa quantidade abstrata, **mas não podemos compreender que há dois tipos de energia**.

Como fica essa relação se considerarmos dois pontos quaisquer 1 (ponto inicial) e 2 (ponto final) entre os pontos A e B? Podemos aplicar a equação de Torricelli para o movimento entre esses pontos, onde $v_i = v_1$, $y_i = h_1$ e $v_f = v_2$, $y_f = h_2$. Assim, podemos escrever

$v_2^2 = v_1^2 - 2g(h_2 - h_1)$. Multiplicando ambos os lados dessa relação por $\frac{1}{2}m$ e separando os termos relativos aos pontos 1 e 2, temos:

$$\frac{1}{2}m v_2^2 + m g h_2 = \frac{1}{2}m v_1^2 + m g h_1$$

Aqui também conseguimos mostrar que existe uma quantidade que é igual para os pontos 1 e 2. Os algoritmos agora são a soma dos dois termos pois temos velocidade diferente de zero nos dois pontos e temos y (altura) diferente de zero nos dois pontos. Devemos observar que no ponto inicial $y = h$ a velocidade é zero por isso só temos o termo $m g h$, e no ponto final a coordenada $y = 0$ (altura = 0) por isso só temos o termo $\frac{1}{2}m v_B^2$.

Para qualquer estado do sistema Terra - bola entre o estado inicial A e o estado final B, podemos escrever:

Energia do STB para qualquer ponto entre A e B = $E_p + E_c = mgh + \frac{1}{2}mv^2 = \text{constante}$

Concluimos dessa forma que a quantidade total (abstrata) medida no sistema não altera em todo o processo de queda da bola e por isso dizemos que o **campo gravitacional é conservativo**, pois a energia se mantém constante em todos os pontos do movimento de queda da massa m .

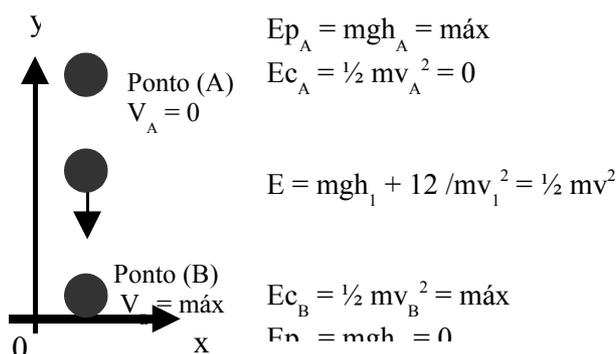


Figura 3. Representação de 3 estados do movimento de queda da bola: estado inicial (bola a uma altura h do solo e velocidade zero); estado intermediário (bola a uma altura h_1 e velocidade v_1) e estado final (bola a uma altura $h = 0$ e velocidade v).

Dessa forma um estado é definido para o STB e esse estado é caracterizado pela soma da energia associada ao movimento da bola mais a energia associada a sua posição no campo gravitacional. Isto quer dizer que a energia do sistema Terra - bola está associada ao movimento de suas partes integrantes (a bola e a Terra) e da sua configuração (posição relativa).

Vamos retornar à nossa analogia com as bolas de gude. Para o quarto do Rafael quem estabelece a condição inicial é a sua mãe que dá a ele uma caixa com 50 bolas. E para o caso da bola de borracha, quem estabelece a condição inicial?

Vimos acima que o estado inicial foi estabelecido por você que pegou a bola que estava no piso e a elevou até a altura h . Em Física dizemos que você realizou um trabalho externo sobre o STB porque você não faz parte dele. Para realizar esse trabalho a sua ação externa deslocou a bola de certa altura h em relação ao solo. Depois disso a ação externa cessou e o STB evoluiu espontaneamente. O sistema só evoluiu do seu estado inicial (bola sobre o piso) depois que você interagiu com ele, pois antes a bola estava em repouso no piso. O estado inicial, do ponto de vista de energia, foi alterado quando você levantou a bola e provocou uma variação na energia do sistema. Durante o processo de elevar a bola você realizou um trabalho $W_{\text{ext}} = mg \Delta h$, que é igual à força que você exerce ($F_{\text{ext}} = mg$, força mínima necessária para elevar a bola) vezes a variação $\Delta h = h_f - h_i$ que a bola foi deslocada. Se houver uma situação onde a força não é paralela ao deslocamento, como ocorre neste caso, então é necessário considerar a componente da força na direção do deslocamento vezes esse deslocamento. Essa é apenas uma das muitas maneiras de se levar em conta a interação de um sistema com a sua vizinhança.

Dizemos que o trabalho realizado pela força externa é igual à variação da energia do sistema Terra - bola. Assim

$$W_{\text{ext}} = mgh = \Delta E = \Delta E_c + \Delta E_p$$

Exercício de aplicação.

Buscando verificar a validade da equação $E = mgh + \frac{1}{2}mv^2$, suponha que uma bola de borracha de 50,0 gramas (0,050kg) esteja em queda com velocidade de 1,00 m/s a 3,00 metros acima do solo (ponto A). Qual será a velocidade quando estiver à altura de 2,00 metros acima do solo (ponto B)?

Solução:

Quando a bola está na altura $h = 3,00$ m (em relação ao solo) com velocidade de 1,00 m/s o sistema possui uma condição estabelecida pelo movimento de queda da bola e pela sua posição relativa ao solo. Isso pode ser escrito como (configuração onde $h = 3,00$ m e $v = 1,00$ m/s):

$$E = mgh_A + \frac{1}{2}mv_A^2 = 1,470 \text{ J} + 0,025 \text{ J} = 1,495 \text{ J}$$

Como a energia E do sistema Terra - bola não varia, a energia relacionada ao movimento a 2,00 metros do solo será a diferença entre a energia E e a energia relacionada a posição da bola no campo gravitacional a essa altura, ou seja:

$$\frac{1}{2}mv_B^2 = E - mgh_B = 1,495 \text{ J} - 0,98 \text{ J} = 0,515 \text{ J}$$

Conhecendo a energia relacionada ao movimento na altura de 2,00 m podemos calcular a velocidade da bola nessa altura, assim temos:

$$\frac{1}{2}mv_B^2 = 0,515 \text{ J} \quad \text{onde} \quad v_B = 4,538 \text{ m/s}$$

Você deve ter notado que o sistema bola-Terra evolui de um estado inicial ($h = 3$ m do solo e $v_3 = 1$ m/s) para outro final ($h = 2$ m do solo e $v_2 = 4,538$ m/s).

Até aqui estudamos apenas a queda da bola dentro do campo gravitacional da Terra até tocar o solo. **O que acontece a partir do momento que a bola “toca” o solo?** Ela sempre retorna para a posição de onde foi abandonada? Após tocar o solo sucessivas vezes a bola de borracha acaba parando. Por que ela acaba parando? Qual a diferença entre a bola no estado inicial (I) em repouso na superfície e a bola no último estado (VII) novamente em repouso na superfície? Para onde foi o trabalho externo que você realizou no sistema? O que aconteceu com a energia mgh associada ao campo gravitacional? E com a energia $\frac{1}{2}mv^2$ associada ao movimento?

Quando a bola toca o solo pela primeira vez e fica em repouso a sua velocidade é zero e a altura em relação ao solo também é zero. Se não há velocidade e a altura, em relação à superfície é zero como medir a energia do sistema? Será que essa quantidade matemática agora “desapareceu” ou podemos obter outro algoritmo para verificar essa situação?

Após breve contato com o piso a bola é impulsionada para cima, mas sobe uma altura $h' < h$. Isto significa que podemos de alguma maneira, associar uma variação de energia ao STB durante o breve contato da bola com o piso. Isso significa que mesmo a bola estando parada, de alguma maneira a energia continua presente no STB. Se prestarmos atenção durante o contato com o piso a bola se deforma e, depois que ela sobe, volta à sua forma natural. **Nesta situação podemos pensar que a energia durante a colisão pode estar relacionada com a deformação da bola.** Para compreender melhor esse aspecto vamos considerar um objeto mais simples e que tem um comportamento conhecido e já discutido: uma mola helicoidal.

2. O Sistema massa + mola + superfície (SMMS)

Vamos considerar o sistema: bloco de massa m + mola de constante elástica k + superfície da mesa onde o bloco está apoiado. No estado inicial (ou configuração inicial) a massa está encostada na mola e a mola está em seu estado de equilíbrio (nem distendida e nem comprimida) (figura 04).

Você, em um dado instante, interage com esse sistema exercendo uma força sobre o bloco (e paralela à mola) fazendo com que a mola seja comprimida de uma distância $x_{\text{máx}}$. A sua ação é externa ao SMMS e ao interagir com ele provocará uma situação de equilíbrio no referido sistema. Dizemos que você realizou um trabalho sobre o sistema, que é representado por W_{ext} .

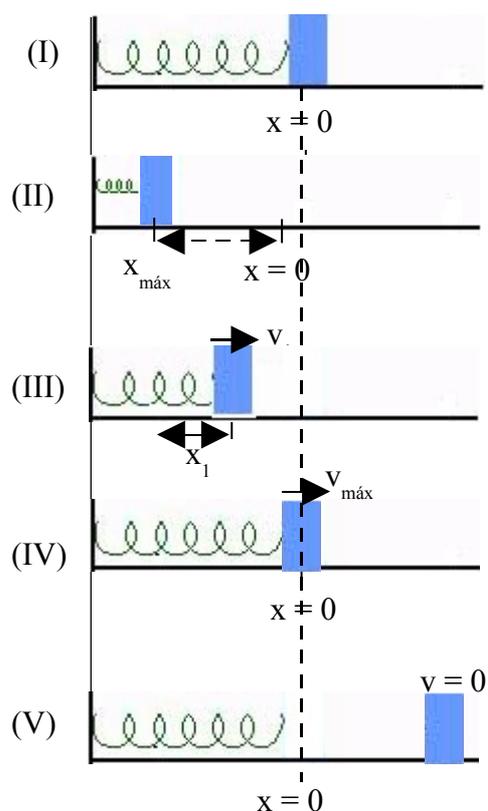


Figura 4. A figura representa a situação em que uma massa m é encostada numa mola, a mola é comprimida e depois solta. A massa é arremessada pela mola com velocidade $v_{\text{máx}}$, percorre certa distancia e para devido ao atrito com a superfície.

Analisando o que aconteceu com você é difícil quantificar a sua variação de energia, mas existe um algoritmo que permite determinar o valor numérico dessa variação. Esse algoritmo é escrito em função da constante elástica da mola e de quanto ela foi comprimida. A variação de energia que o SMMS experimenta, que é igual ao trabalho externo, recebe o nome de energia potencial elástica e é representada pelo algoritmo:

$$\Delta E = W_{\text{ext}} = \frac{1}{2} k x_{\text{máx}}^2 = E_{\text{pe}}$$

Quando você solta o bloco de massa m (deixa de interagir com o sistema), qual é a tendência do sistema? A tendência é procurar uma situação de equilíbrio em que a mola volte ao seu estado natural. Ao fazer isso o bloco é empurrado e adquire uma velocidade que vai aumentando até um valor máximo. Esse valor máximo ocorre quando a mola volta para a sua posição original. Neste processo de distensão da mola não há interação externa e o sistema muda espontaneamente sua configuração. Neste caso a energia do sistema não varia, mas como mudou a sua configuração, precisamos de um novo algoritmo para representar a sua energia. A energia que você transferiu para a mola é agora transferida integralmente (uma mola ideal é conservativa) para o bloco ao colocá-lo em movimento. Portanto podemos escrever

$$E_{\text{pe}} = \frac{1}{2} k x_{\text{máx}}^2 = E_{\text{cb}} = \frac{1}{2} m v_{\text{máx}}^2$$

Em uma situação intermediária entre $x = 0$ e $x = x_{\max}$, temos $x = x_1$ e $v = v_1$ e escrevemos

$$EM = E_{pe1} + E_{c0} = \frac{1}{2} m v_1^2 + \frac{1}{2} k x_1^2 = \frac{1}{2} k x_{\max}^2 = \frac{1}{2} m v_{\max}^2$$

De uma forma geral para qualquer estado ou configuração do SMMS podemos escrever

$$W_{\text{ext}} = \Delta E = \Delta E_{pe} + \Delta E_{c0}$$

Quando o bloco deixa o contato com a mola observamos que, após percorrer uma distância d , ele acaba parando. Portanto, temos que a mola voltou ao seu estado natural e o bloco também está em repouso. O que aconteceu com a variação de energia do SMMS que foi provocada por você?

Para responder a essa pergunta precisamos verificar o que acontece quando duas superfícies deslizam uma sobre a outra. É comum a pessoa esfregarem as suas mãos para aquecê-las. (Verifique). Você poderá verificar que ocorre um aquecimento utilizando uma lixa de madeira, utilizando uma furadeira para perfurar uma madeira, utilizando fósforos no ato de acendê-lo, etc. Aqui também, se observarmos cuidadosamente as superfícies do bloco e da mesa notaremos que elas estão ligeiramente aquecidas. Podemos assim identificar que a energia que você transferiu para o sistema foi transferida inicialmente para a mola (energia potencial elástica), que interagiu com o bloco transferindo-a para ele (energia cinética) e por último o bloco interagiu com a superfície através do atrito e a transferiu para o bloco e para a mesa, aquecendo as superfícies em contato. Neste caso dizemos que ocorreu uma alteração na configuração da parte interna (arranjo molecular) das superfícies de contato (bloco e mesa) e para essa alteração de configuração nós atribuímos uma variação de energia que recebe o nome de energia interna do bloco e da mesa. Neste estado do sistema dizemos que a energia se transferiu para os átomos e moléculas que compõem o bloco e a mesa. Dizemos que agora temos energia interna do bloco e energia interna da mesa.

Neste caso do SMMS, para se levar em conta todos os possíveis estados do sistema, escrevemos a equação:

$$W_{\text{ext}} = \Delta E = \Delta E_{pe} + \Delta E_c + \Delta E_{\text{int}}$$

Em que:

W_{ext} = trabalho realizado sobre o SMMS pela força externa.

ΔE = variação da energia do SMMS

ΔE_p = variação da energia potencial elástica da mola como parte do sistema

ΔE_c = variação da energia cinética do bloco como um todo

ΔE_{int} = variação na energia interna do bloco e da superfície

É importante destacar que as interações são fundamentais na compreensão de como o sistema evolui de um estado (configuração) para outro. Neste caso temos:

- i) Interação externa empurrando o bloco contra a mola (varia a energia do sistema);
- ii) Interação interna da mola empurrando o bloco (altera a configuração do sistema sem variar a sua energia)
- iii) Interação interna de atrito entre as duas superfícies (altera a configuração do sistema sem variar a sua energia).

Para cada interação há um algoritmo próprio para se calcular a variação de energia que ela desencadeia no sistema.

Neste caso em estudo a **mudança é forçada por um agente externo** levando o sistema a um **estado de desequilíbrio** (neste caso a mola é comprimida). Ao se retirar a ação externa a **mudança do sistema é espontânea e** ocorre sempre no sentido de procurar o seu **estado de equilíbrio**.

3. Retornando ao Sistema Terra - bola.

Agora que avançamos um pouco mais compreendendo e descrevendo o que acontece no SMMS podemos voltar para o STB e completar a sua descrição. Nesse sistema descrevemos apenas a primeira etapa que foi a queda da bola do ponto A até ponto B. O que

acontece quando a bola toca o piso e se deforma pode agora ser melhor compreendido após o estudo da mola.

A bola é um sistema mais complicado e não temos um modelo matemático simples para descrever o que está acontecendo com ela, mas podemos dizer que a energia cinética com que a bola toca o piso é transferida para energia potencial elástica da bola e do ar em seu interior (em analogia com o que acontece com a mola). Da mesma forma que ocorre na mola, essa energia é transferida de novo para a bola e esta sobe até a altura $h' < h$. Depois de repetir esse processo por várias vezes a bola acaba parando sobre o piso. Nesse estado do STB a bola está em repouso na superfície. Qual é a diferença entre esse estado e o estado original?

No caso da bola há uma diferença, pois a cada colisão uma fração da energia associada com o movimento aparece como energia interna levando a bola a subir uma altura $h' < h$. A mola foi considerada como ideal e ao final do processo sua energia interna não variou.

Você já deve ter tentado cortar um fio de arame (este é o sistema) fazendo várias flexões e deve ter notado também que ele se aquece bastante no local flexionado. Você está realizando um trabalho externo sobre o arame, isto é, está provocando uma variação na energia interna do arame. O parâmetro externo que nos permite ter uma informação sobre a reação do arame é que ele se aquece. Portanto o seu trabalho sobre o fio de arame levou ao aquecimento do mesmo, isto é, o seu trabalho agora está como energia interna do arame. Se você pegar um martelo e ficar batendo em uma placa de ferro, o que acontece com você, com o martelo, e com a placa de ferro? Faça essa experiência e verifique.

No caso da bola e da superfície ocorrem efeitos semelhantes. A bola, que recebeu um trabalho externo realizado por você, evolui passando por diferentes estados e o seu estado final foi o repouso na superfície do piso. Qual a diferença entre esse estado da bola e o estado antes de você realizar o trabalho sobre ela? O que aconteceu com a variação de energia do STB? Para onde foi a energia que você transferiu para o STB? A resposta a essas perguntas pode ser apresentada dizendo que a energia que você transferiu para o sistema acabou como energia interna da bola, energia interna da superfície, energia interna do ar que está dentro da bola e até uma pequena parte foi compartilhada com o ar por onde a bola passou.

Agora podemos escrever uma **equação com os vários algoritmos que nos permite descrever a evolução do STB por todos os seus vários estados possíveis:**

$$W_{\text{ext}} = \Delta E = \Delta E_p + \Delta E_c + \Delta E_{pe} + \Delta E_{\text{int}}$$

Em que

W_{ext} = trabalho realizado sobre o STB pela força externa.

ΔE = variação da energia do STB

ΔE_p = variação da energia potencial gravitacional

ΔE_c = variação da energia cinética da bola como um todo

ΔE_{p_e} = variação da energia potencial elástica de deformação da bola

ΔE_{int} = variação na energia interna da bola, do ar e da superfície da mesa.

Aqui também a compreensão de como o STB evolui passa pela compreensão das diferentes interações possíveis na natureza. Considerando a queda da bola temos: i) a interação inicial externa que elevou a bola até a altura h (responsável pela variação da energia do STB - mgh); ii) a interação interna ao STB (interação gravitacional) fazendo com que o sistema evolua e a bola caia em direção à Terra surgindo o movimento relativo tornando necessário um novo algoritmo para descrever esse movimento; iii) interação interna da bola colidindo com a superfície onde, nesse processo há a deformação da bola e a energia vai sendo transferida para dentro das partes do sistema.

4. Generalizando o resultado

A equação obtida que descreve a conservação de energia nos dois sistemas – STB e SMMS, é bastante geral e pode ser utilizada para um sistema qualquer onde ocorrem interações mecânicas do tipo gravitacional, elástica, tensão (onde a força aplicada sobre o corpo faz com que esse corpo se desloque como um todo - conceito de partícula material) e de atrito (onde o corpo não pode ser considerado uma partícula material, mas sim um corpo com uma estrutura interna que pode receber energia). Assim,

$$\Delta E_c + \Delta E_p + \Delta E_{\text{int}} = W_{\text{ext}}$$

Em que

- E_c = energia cinética associada ao movimento global (translação ou rotação) dos corpos no sistema, medidos de um sistema de referência inercial conveniente (por exemplo, o referencial da Terra);
- E_p = energia potencial associada às forças conservativas que os objetos dentro do sistema exercem uns sobre os outros;

- E_{int} = energia interna das partes do sistema, incluindo aí as energias cinéticas e potenciais microscópicas dos átomos ou moléculas do sistema;
- W_{ext} = trabalho realizado pelas forças externas que atuam sobre o sistema.

Qual a natureza dessa energia interna? Frequentemente pode-se representar a energia interna como a soma da energia cinética associada com os movimentos aleatórios dos átomos ou moléculas e a energia potencial associada com as forças entre os átomos ou moléculas: $E_{\text{int}} = E_{\text{cint}} + E_{\text{pot}}$.

Vamos considerar alguns exemplos:

1. Um atleta saltando – sistema é atleta + Terra

Um atleta quando quer saltar; primeiro se agacha e em seguida salta ao esticar as suas pernas. Trata-se de um sistema complexo onde ele não pode ser considerado como uma partícula porque tem uma estrutura interna onde as partes podem ter movimentos diferentes. Enquanto os pés não se movem, todo o resto do corpo está se movendo. Por simplicidade, supõe-se que ao endireitar as suas pernas o atleta empurra o chão para baixo com uma força constante F que se soma ao seu peso exercendo no chão uma força igual a $F + mg$. Pela terceira lei de Newton o atleta também fica submetido a essa força denominada de reação normal. Essa interação é interna e o $W_{\text{ext}} = 0$

O estado inicial é aquele em que o atleta está agachado. À medida que ele dá o impulso seu CM se eleva de uma altura h_{cm} até ele perder o contato com o solo e nesse instante o seu corpo (CM) tem uma velocidade V_{CMmax} que vai diminuindo até o corpo parar após subir uma altura H_{CMmax} . A altura H_{CMmax} deve ser medida a partir da posição inicial do CM (ver a figura). Podemos considerar duas etapas:

a) enquanto está em contato com o solo:

$$\Delta E_{\text{c}} = \text{variação de energia cinética} = \frac{1}{2} m V_{\text{CMmax}}^2$$

$$\Delta E_{\text{p}} = \text{variação de energia potencial gravitacional} = mgh_{\text{CM}}$$

Portanto podemos escrever

$$\frac{1}{2} m V_{\text{CMmax}}^2 + mgh_{\text{CM}} + \Delta E_{\text{int}} = 0 \quad \text{ou} \quad \Delta E_{\text{int}} = - \frac{1}{2} m V_{\text{CMmax}}^2 - mgh_{\text{CM}}$$

b) enquanto o corpo está subindo

$$\Delta E_{\text{c}} = \text{variação de energia cinética} = E_{\text{cf}} - E_{\text{ci}} = 0 - \frac{1}{2} m V_{\text{CMmax}}^2$$

$$\Delta E_{\text{p}} = \text{variação de energia potencial gravitacional} = E_{\text{pf}} - E_{\text{pi}} = mgH_{\text{CMmax}} - mgh_{\text{CM}}$$

ΔE_{int} = variação de energia interna do corpo é zero

Portanto podemos escrever

$$\Delta E_c + \Delta E_p + \Delta E_{\text{int}} = W_{\text{ext}} \quad \text{ou} \quad (0 - \frac{1}{2} m V_{\text{CMmax}}^2) + (mgH_{\text{CMmax}} - mgh_{\text{CM}}) + 0 = 0$$

$$\text{Ou ainda} \quad mgH_{\text{CMmax}} = mgh_{\text{CM}} + \frac{1}{2} m V_{\text{CMmax}}^2$$

Exercício: Como poderíamos descrever esse mesmo evento se considerássemos somente o atleta como sistema. Note que neste caso a interação com a superfície e com a Terra são externas e, portanto, o trabalho externo não será mais nulo.

2. Patinador no gelo.

Suponha que você seja um patinador no gelo e esteja parado junto à grade que delimita a área de patinação. Para iniciar o movimento a partir do repouso você estende os braços empurrando a grade exercendo uma força contra ela o que faz com que você se mova (a grade exerce uma força sobre você). Vamos considerar somente o patinador (você) como sistema. As interações neste caso são:

- i) Força exercida pela grade (igual e sentido contrário à força que você faz sobre a grade);
- ii) A força peso;
- iii) A força normal.

A força peso e a força normal não realizam trabalho sobre você. (tente explicar isso). A força exercida pela grade sobre você também não realiza trabalho sobre você porque o ponto de aplicação da força não se move, isto é, sua mão fica parada junto à grade enquanto você está recebendo o impulso inicial. Observe que esse é um caso bastante diferente de você pegar a bola e elevá-la até a altura h , ou comprimir a mola. Assim, para as três forças externas de interação, o trabalho é zero, $W_{\text{ext}} = 0$. Como explicar a variação de energia de movimento do patinador? Neste caso você não pode ser considerado uma partícula, pois quando você distende os seus braços para impulsionar contra a grade, todas as partes do seu corpo não se movem da mesma forma. Você tem que ser considerado como um sistema de partículas que possui uma estrutura interna; dentro de um sistema de partículas ocorre algo que não pode ocorrer em uma única partícula que, por definição, não possui uma estrutura interna.

Da equação de conservação de energia, como $W_{\text{ext}} = 0$ e como $\Delta E_p = 0$ (não existem outros objetos dentro do sistema que exerçam forças sobre você, isto é, não existem interações) temos:

$$\Delta E_c + \Delta E_{\text{int}} = 0 \quad \text{ou} \quad \Delta E_c = -\Delta E_{\text{int}}$$

Portanto, a sua variação da energia cinética ocorre a custo de uma variação de energia interna do seu corpo e por isso você sente cansado e ou com fome. O que significa sentir cansado do ponto de vista deste estudo? Ocorre um decréscimo na sua energia interna, que o seu corpo obtém da comida ingerida.

3. Sistema Terra-bola: Uma bola solta de uma altura $h = 443$ m em relação ao solo.

Uma bola de massa $0,143$ kg é solta de uma altura de $h = 443$ m e atinge uma velocidade terminal $v = 42$ m/s. Determinar a variação na energia interna da bola e do ar à sua volta durante a queda até a superfície da terra.

Solução: A primeira providência é definir quem é o sistema. Neste caso consideraremos o sistema sendo composto pela bola, pelo ar à sua volta e pela Terra. Nenhuma força externa atua sobre esse sistema, pois a força gravitacional é interna e a força de resistência do ar também.

Aqui temos uma variação de altura e, portanto temos variação de energia potencial gravitacional do sistema. Assim,

$$\Delta E_{p_g} = E_{p_f} - E_{p_i} = 0 - mgh = - (0,143 \text{ kg})(9,80 \text{ m/s}^2)(443\text{m}) = - 621 \text{ J}$$

Como a bola parte do repouso e adquire uma velocidade terminal, temos variação na energia cinética da bola. Assim,

$$\Delta E_c = E_{c_f} - E_{c_i} = \frac{1}{2} m v^2 - 0 = \frac{1}{2} (0,143 \text{ kg}) (42 \text{ m/s})^2 = 126 \text{ J}$$

Atenção: está sendo desprezado o movimento da Terra sob a atração gravitacional da bola e do ar no rastro deixado pela bola em queda. Assim podemos utilizar a equação de conservação de energia como:

$$\Delta E_c + \Delta E_p + \Delta E_{\text{int}} = W_{\text{ext}} = 0$$

Portanto o calculo fica:

$$\Delta E_{\text{int}} = -\Delta E_c - \Delta E_p = -(-621 \text{ J}) - 126 \text{ J} = 495 \text{ J}$$

Essa variação de energia interna do sistema pode ser observada como uma elevação na temperatura da bola e do ar em seu interior e por isso a bola não retorna para a mesma altura de onde foi abandonada. A descrição dessa variação de energia interna é bastante complexa e precisamos conhecer a estrutura microscópica das substâncias.

Exercício: Relacione esse exemplo com o que acontece com a queda de meteoros na Terra e com a preocupação quando do retorno da nave espacial Columbia a Terra ao entrar na camada atmosférica.

4. Apenas a bola é considerada como o sistema.

Analisamos até aqui o sistema sendo formado pela Terra e pela bola. Vamos considerar apenas a bola como nosso sistema e aplicar o princípio da conservação de energia. Neste caso a interação com a Terra e com o ar são interações externas e, portanto alteram a energia do sistema bola.

Ao considerarmos somente a bola como sistema, não podemos falar em variação de energia potencial gravitacional, mas teremos variação de energia cinética, variação de energia interna (bola formada por átomos e moléculas) e trabalho externo.

$$\Delta E_c + \Delta E_{\text{int}} = W_{\text{ext}}$$

Quando a bola cai de uma altura h e chega ao solo com velocidade v sob a ação da força peso, temos que o trabalho externo é realizado pela força peso e podemos escrever,

$$\Delta E_c = \text{variação de energia cinética da bola} = \Delta E_c = E_{c_f} - E_{c_i} = \frac{1}{2} m v^2 - 0$$

$$W_{\text{ext}} = (-mg)(h_f - h_i) = (-mg)(0 - h) = mgh$$

Portanto temos,

$$\Delta E_c + \Delta E_{\text{int}} = W_{\text{ext}} \quad \text{ou} \quad \frac{1}{2} m v^2 - 0 + \Delta E_{\text{int}} = mgh \quad \text{ou} \quad \frac{1}{2} m v^2 + \Delta E_{\text{int}} = mgh$$

Aqui ΔE_{int} = energia interna da bola que se aquece ao interagir com o ar.

Exercício: analisar o caso do SMMS considerando que apenas bloco de massa m é o sistema.

5. Retomar a questão 01 (questionário inicial) considerando a bola + trilho + Terra como sistema

Para esta situação a componente da força peso na direção do movimento e também a força devido ao atrito são consideradas forças internas ao sistema e, portanto não alteram a energia do sistema. Dessa forma escrevemos a equação da conservação da energia como:

$$\Delta E_c + \Delta E_p + \Delta E_{\text{int}} = 0$$

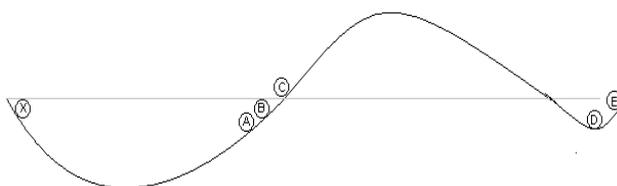


Figura 5. A figura ilustra uma bolinha rolando em um trilho e os possíveis pontos A, B, C, D ou E em que a bolinha pode alcançar.

Neste caso a energia do sistema é constante ocorrendo variação de energia cinética e de energia potencial enquanto a bolinha se move podendo ocorrer também a variação na energia interna da bola e do trilho (aquecimento) devido ao contato da bola com o trilho. A soma dessas variações é sempre zero.

Exercícios complementares.

1. Um projétil com uma massa de 9,4 kg é disparado na vertical para cima. No seu vôo para cima, ocorre uma variação de energia mecânica de 68 j devido ao arrasto do ar. Supondo que se tornasse desprezível o arrasto do ar (por exemplo, tornando o projétil mais aerodinâmico), de quanto seria o aumento na altitude do projétil?
2. Os air bags reduzem significativamente as chances de ferimentos em um acidente de carro. Explique, em termos de variação de energia, porque isso acontece.

3. Um carro está se movendo ao longo de uma estrada quando o motorista aciona os freios e o carro derrapa até parar. Explique, em termos de variação de energia, o que acontece com a energia associada ao movimento do carro.
4. A energia potencial pode ser considerada um caso especial de energia interna? Explique porque sim e porque não.

6. Generalizando ainda mais

Até agora vimos que a energia de um sistema pode ser modificada (para mais ou para menos) por um trabalho mecânico externo realizado pela vizinhança sobre o sistema escolhido. O trabalho é uma das formas possíveis de interação na natureza em que um sistema pode variar a sua energia. Dizemos que há uma variação de energia no sistema e na vizinhança, sendo que a soma dessas variações é zero.

Outras formas de interação em que o sistema varia sua energia são: processo de variação de energia devido a uma diferença de temperatura (esse processo se denomina calor e é representado pela letra Q), processo de variação de energia através de radiação eletromagnética, etc.

Para ilustrar estas outras formas de interações do sistema com sua vizinhança, vamos realizar duas atividades: uma em que medimos o aquecimento da água quando é exposta a radiação solar e outra em que uma porção de água (no interior de um calorímetro) é aquecida quando uma lâmpada incandescente de 40 W é acesa e colocada no interior do recipiente.

6.1 Primeira atividade: aquecendo água por meio da radiação solar.

Para desenvolver essa atividade você terá que preparar o “calorímetro solar”. Este consta de uma latinha (tipo lata de refrigerante) que deverá ter a superfície lateral enegrecida na chama de uma vela ou pintada de preto fosco (o fundo e a tampa não deverão ser enegrecidos).

A fotografia abaixo mostra uma possível montagem de um calorímetro, nela apresentamos dois calorímetros: um pintado de branco e outro de preto com a finalidade de mostrar a diferença entre ambos. Para o nosso caso precisamos apenas daquele pintado de preto.

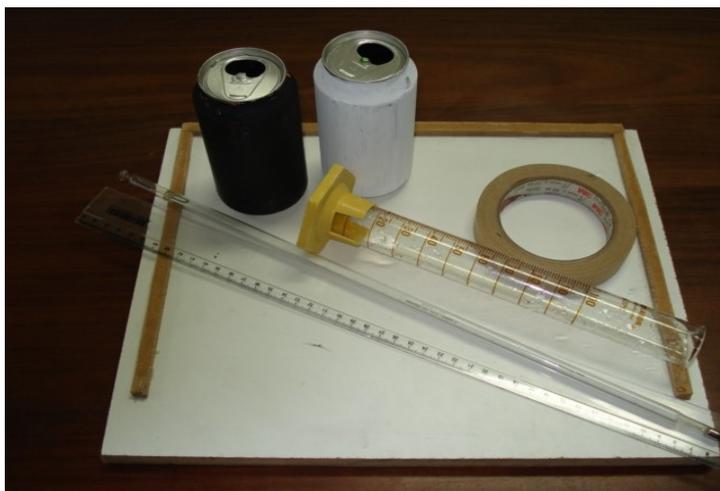


Figura 6. Fotografia de dois calorímetros

O que acontece quando certa quantidade de água fica exposta ao sol? Certamente você já teve oportunidade de ver isso na prática.

Como podemos detectar ou medir o que acontece com a água sem ser apenas pelo nosso sentido do tato? Como podemos quantificar a mudança que ocorre na água? Qual é a grandeza que você conhece que serve para determinar se a água está mais quente ou mais fria em relação a um estado inicial?

Pela sua vivência certamente você já deve ter visto e utilizado um termômetro. Esse instrumento serve para medir a variação de temperatura que ocorreu na água. A temperatura é um parâmetro que nos indica que algo ocorreu com a água.

Nessa atividade vamos, portanto, precisar de um termômetro para medir a variação que ocorreu no sistema aberto (neste caso a água que interagiu com o meio exterior recebendo energia do sol).

Deveremos colocar na latinha uma quantidade conhecida de água (sugestão 200 ml). A lata deverá ser exposta ao Sol de maneira que apenas a superfície lateral seja atingida pelos raios solares. Isso pode ser conseguido se colocarmos a lata na direção norte-sul e aí procuramos uma posição em que a sombra da lata se reduz a um retângulo. Você poderia explicar por que isso?



Figura 7. Fotografia de dois calorímetros sendo expostos a radiação solar.

A temperatura inicial (T_i) da lata deve ser medida inicialmente, antes da exposição ao Sol e anotado num papel. O tempo de aproximadamente 4 minutos também deverá ser medido e anotado. Passado o tempo estabelecido leia a temperatura final (T_f) e anote o valor encontrado no papel. A diferença entre a temperatura final e inicial será: $\Delta T = T_f - T_i$.

Lembre-se que no caso das bolas de gude que estavam no cofre nós não tínhamos acesso a elas, mas pudemos definir um algoritmo para calcular a quantidade que estava no cofre. Existe algum algoritmo que permite o cálculo da variação de energia da água e que utilize essa variação de temperatura como parâmetro?

O algoritmo que associa a variação de energia ΔE recebida pela água com a sua respectiva variação ΔT que ocorre no parâmetro temperatura é

$$\Delta E = m c \Delta T.$$

em que m é a massa de água colocada no sistema, $c = 1,0 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ é o calor específico da água (c é uma propriedade que diferencia o comportamento de cada material).

Essa relação pode ser utilizada para um material qualquer que é caracterizado pelo calor específico c . Dizemos que se, para um corpo de massa m e calor específico c , ocorreu uma variação de temperatura ΔT , então a sua variação de energia interna foi de ΔE .

Considerando os valores obtidos na atividade calcule a variação de energia na água utilizando o algoritmo $\Delta E = m c \Delta T$. A massa da água deve ser expressa em gramas, e a temperatura em graus C (escala para medir temperatura). Fazendo uma análise dimensional você pode verificar que a energia está apresentada em **calorias**.

Dando seqüência na experiência compare a variação de energia estabelecida na água com a energia que chega através da radiação. Para isso será necessário determinar a seção transversal da lata, pois esta é a área que está voltada para o Sol.

Procurando-se na literatura sobre a energia solar encontramos que a energia média medida numa superfície normal à radiação solar na superfície da Terra e (ao meio dia) é

aproximadamente 1000 W/m^2 . Isso significa que em cada m^2 podemos medir uma energia média de 1000 J/s .

Multiplicando-se a energia medida na superfície da Terra, nas condições acima descritas, pelo tempo de exposição e pela área da seção transversal da lata você obterá a energia transferida para a água na lata.

$$\Delta E_R = \text{Energia associada à radiação solar} = 10^3 \text{ J/m}^2 \text{ s} \cdot 4 \cdot 60 \text{ s} \cdot 72 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 1728 \text{ J}$$

Note que a unidade de ΔE é caloria (cal) e a da energia recebida do sol é Joule (J). Será que existe alguma relação entre elas?

Você deve ter encontrado para a variação de energia valores do tipo $m = 200 \text{ g}$ e a variação de temperatura $\Delta T = 2 \text{ C}$. Assim o algoritmo $\Delta E = m c \Delta T$, nos dá:

$$\Delta E = m c \Delta T = (200 \text{ g}) (1,0 \text{ cal/g C}) \cdot (2 \text{ C}) = 400 \text{ cal} \quad - \text{ verificar.}$$

Fazendo a relação entre a energia da radiação e a variação de energia da água temos o valor $4,32 \text{ J/cal}$. Essa relação foi encontrada pela primeira vez pelo físico James Prescott Joule em 1845. Esse fator de conversão de unidades é uma constante para todos os casos e é

$$1 \text{ caloria (cal)} = 4,18 \text{ Joule (J)}$$

Uma caloria expressa a quantidade de energia necessária para elevar de 1 C a temperatura de 1 grama de água. Podemos dizer que houve conservação de energia neste caso? A variação de energia interna da água, medida pelo algoritmo $\Delta E = m c \Delta T$, é numericamente igual à energia recebida do sol na forma de energia radiante?

A determinação desse fator de transformação entre caloria e Joules foi fundamental para o estabelecimento geral da lei de conservação de energia, pois relacionou os processos mecânicos (energia em Joules) com outros processos onde a energia era quantificada em calorias.

Para descrever o que acontece com a água ao receber a energia da radiação precisamos construir um modelo microscópico para a estrutura atômico molecular da água. A água sofre alguma mudança em seu interior? O que significa a variação do parâmetro que é a temperatura? Hoje muitas residências têm um equipamento denominado forno de microondas

que é construído tendo como base o conhecimento do que acontece com a água quando uma radiação incide sobre ela. Essa radiação é bem específica e interage diretamente com as moléculas de água.

Se não pudéssemos interagir (tato ou termômetro) com a água, como poderíamos dizer que algo nela aconteceu? Aqui temos uma situação semelhante a aquela das bolas de gude no cofre do Rafael. Não podemos ver diretamente a alteração na água, mas temos algoritmos que nos permitem saber que algo aconteceu em seu interior. Com o algoritmo adequado podemos estimar a variação de energia que acontece na água sem conhecer, em detalhe, as mudanças na configuração molecular da água.

O que acontece com a água depois que ela é retirada da exposição ao Sol? Você pode fazer uma analogia entre essa situação e o que aconteceria na Terra se o Sol deixasse de emitir radiação?

Na obtenção desses resultados foram feitas algumas aproximações (novamente aqui a idéia de modelo). Note que não se levou em conta a massa da lata por duas razões:

1. A massa da lata é pequena em relação a massa da água.
2. O calor específico da lata é também pequeno comparado com o da água.

6.2 Segunda atividade: aquecendo uma poção de água por meio de uma lâmpada acesa mergulhada em água.

Esta experiência foi proposta pelo professor Rodolpho Caniato em seu livro MECÂNICA Volume II do Projeto Brasileiro para o Ensino de Física (1975) e o texto foi adaptado para o nosso caso. Nesta atividade você utilizará uma lâmpada incandescente. A lâmpada, que é um aparelho para “utilizar energia elétrica” transferindo para “energia luminosa” e “térmica”. As especificações da lâmpada estão escritas no bulbo e uma delas é sua potência medida em watts (J/s). Para o experimento que vamos realizar, esse dado, o número **watts** que a lâmpada tem, é muito importante; por isso, vamos investigar o que ele diz.

Você sabe que quanto mais tempo a lâmpada fica acesa em sua casa, maior será a conta de luz a pagar. Sabe, também, que quanto mais watts tiverem as lâmpadas, maior ainda será a conta da luz, isto é, maior será a variação de energia transferida através da radiação de luz visível e da radiação térmica (denominado de consumo de energia elétrica). Qual o

significado da palavra consumo (que se ouve no dia a dia) para este contexto? Ele está de acordo com o significado estrito da palavra consumo?

A variação de energia devido a radiação emitida pela lâmpada depende, então, de duas coisas: i) do tempo que a lâmpada fica ligada, ii) de sua potência especificada em watts.

Em nossa experiência será utilizada uma lâmpada de 40 watts porque ela se mostra adequada e proporciona um aumento de temperatura conveniente para o nosso experimento.

O algoritmo que permite determinar numericamente a variação de energia devido ao processo que ocorre no filamento da lâmpada é $\Delta E = P \Delta t$, em que P é a potência da lâmpada e Δt é o tempo que ela ficou ligada. Em um curso específico sobre circuitos elétricos a potência P pode ser escrita como $P = V i$ em que V é a diferença de potencial aplicada na lâmpada e i é a corrente do circuito.

Qual a variação de energia que acontece se a lâmpada ficar acesa durante 10 minutos? Essa energia se “perdeu?” “Para onde ela vai?”.

A nossa experiência deve ser isolada do meio circundante para que toda variação de energia ocorra apenas dentro do calorímetro isto é, a lâmpada e a água constituem um sistema isolado. Assim, podemos fazer as medidas com mais precisão e sem influencia externa. Um recipiente de isopor, por exemplo, nos dá um bom isolamento térmico.



Figura 8. Fotografia da montagem de um calorímetro em que uma lâmpada é colocada em seu interior.

Para medir a variação de energia que acontece no interior do calorímetro faz-se uma montagem como mostra a figura. Coloca-se um volume conhecido de água de tal forma que a lâmpada fique mergulhada (cuidado para não molhar os contatos) e mede-se a temperatura inicial. Então se acende a lâmpada e se mede (com o auxílio de um termômetro mergulhado na água) a variação de temperatura que ocorrerá após transcorrido o tempo estabelecido (que cuidados devem ser tomados para se medir adequadamente a temperatura?).

O tempo (em segundos) que a lâmpada permanece ligada também será medido. Com esses dados podemos medir a variação de energia que acontece na água.

Aqui temos um processo de transferência de energia por diferença de temperatura. Consultando textos específicos sobre eletricidade verificamos que o filamento da lâmpada acesa tem a temperatura da ordem de 2200 C. Como a água está à temperatura ambiente que é da ordem de 30 C e a natureza trabalha no sentido de buscar o equilíbrio térmico, onde a temperatura final seja a mesma para tudo, a energia se transfere do filamento para água elevando assim a sua temperatura.

Depois que a lâmpada ficou acesa por certo tempo você pode observar que a água vai aquecer. Dizemos que a sua temperatura aumentou. Se você não colocar um termômetro na água você não saberá se aconteceu alguma coisa com ela.

A variação de energia não é visível, mas sabemos que ela aconteceu quando medimos a variação da temperatura da água. Para medir a variação de energia que aconteceu dentro do calorímetro usamos o algoritmo:

$$\Delta E_{\text{int}} = m c \Delta T$$

Neste caso de interação por diferença de temperatura dizemos que o processo de transferência é denominado calor e a energia transferida nesse processo é representada pela letra Q.

Nesta atividade também temos um resultado em calorias e o outro em Joules e verificamos que eles são diferentes mas, como visto na atividade anterior, há um fator de transformação de unidades que nos permite comparar esses valores.

Obter os valores numéricos para comparação e comentar sobre as possíveis razões para as diferenças.

Compare o resultado obtido através de $\Delta E_{\text{lamp}} = P \Delta t$ e $\Delta E_{\text{int}} = m c \Delta T$, são iguais? Qual é a razão entre esses dois valores?

Nesta atividade fizemos referencias a várias terminologias que devemos destacar:

- Energia da radiação;
- Energia interna
- Energia térmica que é a parte da energia interna associada ao valor da temperatura do corpo;
- Parâmetro da temperatura;

- Termômetro;
- Massa;
- Calor específico – explicar o significado – quanto maior o calor específico menor é a reação (menor a variação da temperatura) para uma mesma variação de energia.

6.3 Formalizando algumas idéias importantes:

Calor

Ao processo em que o sistema varia a sua energia por diferença de temperatura com o meio externo damos o nome de **calor** e representamos a variação de energia do sistema, em função dessa interação, pela letra Q . A palavra calor tem sido utilizada significando um tipo de energia e energia térmica, o que não é correto. Calor não é um tipo de energia e nem é energia térmica, mas sim o processo de interação devido à diferença de temperatura entre o sistema e a vizinhança. Discuta com seus colegas sobre as várias situações onde se emprega a palavra calor.

Calor tem um significado similar à palavra trabalho que é o processo pelo qual o sistema pode sofrer variação de energia por interação através de forças. Preste atenção quando for consultar outros livros ou falar sobre o assunto.

Quando você mede a temperatura do seu corpo encostando um termômetro a ele você está provocando uma variação de energia no termômetro porque seu corpo e o termômetro não estão na mesma temperatura. Este é um bom exemplo em que a natureza se manifesta (o sistema interage) e podemos fazer uso prático dela.

Lei zero da termodinâmica: sempre que temos uma diferença de temperatura entre dois sistemas a tendência natural é que, ao serem colocados para interagir, ocorra o equilíbrio térmico entre eles. Esse é o princípio de funcionamento do termômetro, ou seja devemos sempre esperar que o termômetro entre em equilíbrio térmico com o corpo do qual queremos medir a temperatura antes de fazermos a sua leitura. Outros exemplos onde ocorre espontaneamente o equilíbrio térmico são: a água gelada quando fora da geladeira, o leite quente deixado à temperatura ambiente, etc. Pense em outros exemplos. Porque utilizamos uma caixa de isopor? Qual é a função da geladeira?

Radiação

O processo de variação de energia do sistema por meio da radiação é muito importante desde o início dos tempos e cada vez mais nos dias atuais. É através desse processo que podemos ter vida na Terra e toda a tecnologia baseada em ondas eletromagnéticas. Essas ondas foram previstas teoricamente em 1864 por James Clerk Maxwell e geradas experimentalmente por Hertz em 1888.

A Terra é um sistema aberto que interage continuamente com o Sol influenciando todos os processos que nela acontecem. Pense em alguns processos que ocorrem na Terra que dependem dos processos que ocorrem no Sol?

A temperatura da superfície do Sol é cerca de 5500 C e a temperatura no interior do Sol é cerca de 15.000.000 C. O Sol é um sistema em constante evolução (está em desequilíbrio mas evoluindo para o equilíbrio) onde ocorrem muitos processos envolvendo a fusão de átomos de hidrogênio formando átomos de hélio e disponibilizando uma quantidade enorme de energia no espaço. O valor numérico dessa energia é calculado através da relação $E = mc^2$ que foi proposta por Einstein e se refere à equivalência entre massa e energia. (Atenção não é transformação de massa em energia, como muitos livros apresentam). Essas reações de fusão promovem constantes alterações na configuração do sol. A cada alteração na configuração do Sol (que é a ordem maior do nosso sistema solar) outras ordens menores que o Sol são criadas: as sementes são germinadas; a água é evaporada para formar as nuvens, ciclo da água, o petróleo é sintetizado, a diferença de temperatura é estabelecida nas regiões da Terra, etc.

Existem outras situações na natureza que, com as devidas interações, podem desencadear processos onde ocorrem variações de energia (mudança de configuração): i) variação de energia associada às ligações químicas, ii) variação de energia associada a reações nucleares.

A primeira lei da Termodinâmica

No estudo que fizemos anteriormente com os sistemas Terra+bola e massa+mola+superfície tivemos as interações de forças tais como: força peso, força elástica, força exercida pela mão para as quais o corpo pode ser tratado como uma partícula. Para essas forças definimos um algoritmo (trabalho) que nos permite calcular a variação de energia

envolvida nesses processos . A interação através da força de atrito é um caso especial, pois não podemos utilizar esse algoritmo para ela pelo fato de termos de considerar a estrutura interna dos corpos em interação. Mas, existe ainda outras formas pelas quais o sistema pode interagir com o meio externo.

Vamos retomar a expressão geral da conservação de energia e incluir nela as várias possibilidades de interação.

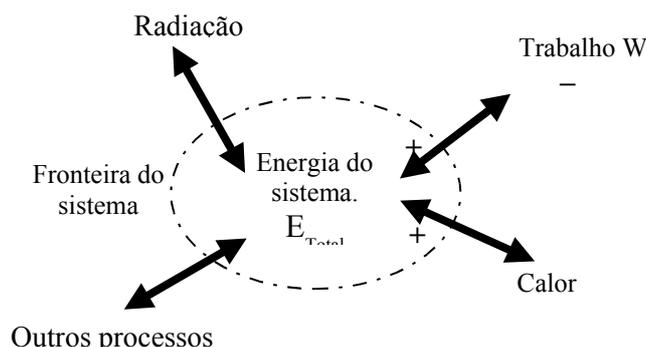


Figura 9. A figura representa um esquema geral mostrando as diversas maneiras em que um sistema pode interagir com a vizinhança.

A figura 9 mostra um esquema geral de variação de energia em um sistema, destacando os vários processos através dos quais ela pode ocorrer. A energia do sistema é representada por E e pode variar devido:

- A variação de energia através do processo de realização de trabalho pela vizinhança sobre o sistema (se o trabalho considerado for aquele realizado pelo sistema sobre a vizinhança, terá o mesmo valor, mas o sinal trocado), representado por W_{ext} ;
- A variação de energia por um processo em que há uma diferença de temperatura entre o sistema e a vizinhança representada pela letra Q ;
- Variação de energia por meio de processo envolvendo radiação eletromagnética representada por E_{rad} .
- Outros processos (reações químicas, nucleares, etc)

$$\Delta E = W_{ext} + Q + E_{rad} + \text{outros processos.}$$

Todas essas formas de interação podem provocar aumento de energia no sistema, e nesse caso são positivas, ou podem fazer com que o sistema diminua sua energia interna e

nesse caso são negativas. Exemplificando, se $Q > 0$ implica que houve um aumento de energia no sistema e se $Q < 0$ implica que houve uma diminuição de energia no sistema.

Segunda lei da termodinâmica e degradação de energia.

Estudando o sistema Terra-bola como um sistema fechado viu-se que a equação da conservação da energia pode ser escrita como:

$$\Delta E_c + \Delta E_p + \Delta E_{\text{int}} = \Delta E = W_{\text{ext}}$$

Vimos também que a bola retorna sempre para uma altura cada vez menor a medida que interage com o piso horizontal e rígido determinando seu “repouso” depois de certo tempo. Para compreender melhor essa questão vamos responder uma pergunta muito interessante: a bola é uma realidade estática ou uma realidade dinâmica?

Olhando para a bola temos a impressão que ela é uma realidade estática. Entretanto, teorias mais recentes desenvolveram um modelo em que a matéria é constituída por átomos e moléculas. Os átomos e moléculas estão em constante movimento aleatório e a configuração dos mesmos depende do estado físico da matéria – gás, líquido, sólido. No caso dos sólidos os átomos ou moléculas mantêm uma posição de equilíbrio devido às forças eletromagnéticas. Esse movimento é influenciado pelas diferentes interações que esses corpos se submetem. No caso dos gases os átomos ou moléculas tem movimento aleatório e quase não interagem entre si..... No caso dos líquidos.

Em função desses modelos para sólidos, líquidos e gases, podemos acreditar que a bola é uma realidade dinâmica e que os seus átomos ou moléculas participam do processo embora não possamos “ver”, mas podemos medir alguns parâmetros externos tal como a temperatura que nos permite correlacionar o que está acontecendo.

Sendo uma realidade dinâmica a bola executa dois movimentos quando está descendo: um movimento ordenado (aquele em que todas as partículas descem numa mesma direção – modelo de bola como partícula material) e outro desordenado que está associado ao movimento aleatório de suas partículas. O que acontece com esses movimentos quando a bola toca o solo? Na interação com o solo o movimento das partículas (movimento desordenado) é ampliado e por isso cada partícula se afasta uma das outras a cada interação. Isto é, a bola é uma realidade dinâmica que está aumentando de tamanho a cada interação com o piso.

Para tornar a subir todas as partículas (que constituem a bola) devem reforçar o movimento para cima, mas devido ao movimento aleatório isso não é possível e o movimento de subida da bola como um todo não é reforçado. Dessa forma a bola retorna a uma altura cada vez menor.

O que podemos concluir é que todo o **movimento do tipo ordenado** (no processo de evolução do sistema passando pelas diversas configurações) **acaba passando para movimento do tipo desordenado** e a bola fica em repouso sobre o piso. Podemos dizer que a bola está maior que antes porque suas partículas estão mais afastadas umas das outras em relação ao início de todo o processo. Dessa forma vemos que há um sentido único para os processos naturais (evolução espontânea) acontecerem.

O contínuo desaparecimento do movimento ordenado da bola desorganiza o movimento global das partículas sem violar as leis de conservação do movimento e da energia. Veja que a primeira Lei da termodinâmica assegura apenas que a energia é sempre conservada em qualquer processo da natureza, mas não estabelece em que direção os eventos naturais devem acontecer.

O desordenamento dos movimentos não é eventual em processos espontâneos isolados, mas a natureza se comporta de forma a sempre evoluir para o desordenamento. Na natureza as formas mais organizadas de movimentos dão lugar a formas menos organizadas, resultando em energia pouco utilizáveis. A esse fenômeno dá-se o nome de **degradação de energia** que se constitui na **Segunda Lei da Termodinâmica**.

A energia globalmente se conserva nos processos naturais, mas “perde utilidade” (“perde qualidade”) porque se desordena e isso é um princípio tão universal quanto o princípio da conservação da energia. A degradação da energia é um princípio físico que tem um caráter empírico, mas pode ser visto na perspectiva das probabilidades estudadas na Física estatística.

Muitos são os exemplos em que se aplica a segunda lei da termodinâmica dentre eles podemos citar: um copo de leite quente se esfria quando é colocado sobre a mesa; um gás encerrado em um recipiente não mantém a sua forma quando o recipiente é aberto; toda energia associada aos combustíveis não pode ser reutilizada depois que o combustível é queimado, etc. Dizemos que esses processos são irreversíveis, isto é, não vemos um copo de água à temperatura ambiente diminuir espontaneamente a sua temperatura, ou da mesma forma, um copo de leite se aquecer espontaneamente.

Vamos novamente retornar aos casos já estudados. No caso da bola você elevou a bola até a altura h . A sua energia organizada realizou um trabalho e estabeleceu uma ordem

inicial no sistema. A energia potencial gravitacional, energia organizada, pode ser facilmente utilizada por várias máquinas (bate estaca, ...) para realizar trabalho. Quando a bola voltou ao repouso no chão a energia organizada (sua energia, energia potencial gravitacional, energia cinética) passou para energia interna da bola e da superfície. Para chegar a esse estado ocorreu uma evolução espontânea do STB após a sua intervenção. Como a energia organizada passou para a energia interna (desordem) ela agora tem pouca utilidade para realizar trabalho. Dizemos que houve uma **degradação de energia**. Poderá ainda ocorrer alguma interação com outro sistema que estiver a uma temperatura menor e, assim se realizar algum trabalho (máquina térmica).

As máquinas são projetadas e construídas sempre em função da disponibilidade de energia organizada que o homem obtém a partir de sua interação com natureza. (ex: energia elétrica, energia do combustível, energia nuclear, energia eólica, etc.).

Pelo que foi explicado sobre degradação da energia podemos fazer uma crítica ao que se lê e ouve no dia-dia sobre conservação de energia. Não precisamos conservar a energia porque a própria natureza se encarrega disso, o que precisamos é conservar as reservas naturais de energia organizada porque é por meio delas que podemos realizar trabalho útil.

Para consolidar esses conceitos vamos fazer uma leitura e discussão de um texto elaborado por Laércio Ferracioli publicado na Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental (Anexo A)

ANEXOS

ANEXO A

Fundação Universidade Federal do Rio Grande

Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental

Rev. eletrônica Mestr. Educ. Ambient.

ISSN 1517-1256

Programa de Pós-Graduação em Educação Ambiental

O conceito de energia e a educação ambiental

Laércio Ferracioli Laboratório de Tecnologias Interativas Aplicadas à Modelagem Cognitiva
Departamento de Física Universidade Federal do Espírito Santo laercio@npd.ufes.br,
laercio@cce.ufes.br www.modelab.ufes.br

Resumo

O presente artigo aborda o conceito de energia dentro de uma perspectiva da Segunda Lei da Termodinâmica procurando estabelecer uma conexão deste conceito com sua visão no senso comum das pessoas a partir da discussão de alguns contrastes que têm reflexos no ensino e na aprendizagem deste conceito para a formação do cidadão crítico e transformador de uma sociedade que se pretende sustentável.

O tempo é que é a matéria do entendimento.

Guimarães Rosa

1. Introdução

O conceito de energia é um dos conceitos científicos mais abrangentes e ao mesmo tempo um dos menos entendido por pessoas comuns, alunos e professores. O problema do ensino do conceito de energia vai muito além da busca por uma maior coerência acadêmica *-scientism*, mesmo porque explicações e conclusões científicas não devem simplesmente contradizer as experiências do dia-a-dia. Neste sentido, o ponto central passa pela determinação de levar o estudante, futuro cidadão, a ter alguma chance de poder compreender o mundo que o cerca a partir de seu próprio ponto de vista levando-o ao entendimento de importantes aspectos da ciência *-plubicism*.

Neste sentido, uma possível abordagem no estudo do conceito de energia é através da Segunda Lei da Termodinâmica que explicita que todo processo natural ocorre devido a circunstâncias específicas naturalmente ou intencionalmente pré-fixadas e ocorre em direção ao equilíbrio atingindo um estado de máxima dispersão de energia.

2. As leis da termodinâmica

A Termodinâmica é a ciência que trata das transformações de energia e pode ser estudada a partir de duas leis básicas. A Primeira Lei da Termodinâmica, que estabelece que energia é sempre conservada em qualquer processo da natureza, é a base para a compreensão da natureza do calor e do trabalho como *processos* e não *entidades* (Ferracioli, 1986).

A Segunda Lei da Termodinâmica, através de seus dois enunciados determina uma *assimetria fundamental na natureza* (Ferracioli, 1994). O enunciado de *Kelvin* (1824-1907)-*Planck* (1858-1947) estabelece a assimetria entre trabalho e calor: nenhuma máquina converte calor em trabalho com eficiência total; alguma energia é sempre perdida por dissipação para uma região de menor temperatura. Em um carro, o calor é irradiado do motor e dissipado através do cano de descarga.

Já o enunciado de *Clausius* (1822-88) implica a assimetria na direção dos processos naturais: calor sempre flui de objetos ou ambientes quentes em direção aos frios. Se você deixa a porta aberta no inverno 'o calor irá escapar'. No verão, se você deixa a porta de uma sala com ar-

condicionado aberta, 'não é o 'frio' que escapa, mas o calor que entra. Ambos enunciados representam a base para a descrição dos processos naturais (Ferracioli, 2000).

Portanto a combinação da Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica afirma que embora a *quantidade* total de energia tem de ser conservada em qualquer processo, a *distribuição* dessa energia é alterada de uma maneira irreversível. Em outras palavras, a Primeira Lei nega a possibilidade da energia ser criada ou destruída enquanto que a Segunda Lei nega a possibilidade da energia ser distribuída de qualquer maneira sem maiores consequências (Ferracioli, 1994).

3. Energia, Entropia & qualidade de energia

Neste ponto é necessário a explicitação desses dois conceitos. Assim como a Primeira Lei introduz a propriedade do sistema, *energia*, a qual determina quais os estados que um sistema pode atingir, a Segunda Lei também possui uma quantidade associada, *entropia*, uma grandeza definida de forma que seu valor nunca decresce sendo relacionada não ao fato de um estado de um sistema ser acessível a partir de outro, mas se este estado é *espontaneamente* acessível.

A direção de um processo espontâneo é o de um estado com baixa entropia para um estado com alta entropia. Esta idéia pode ser expressa através do Princípio da Entropia o qual é considerado como outro enunciado da Segunda Lei da Termodinâmica:

processos naturais ocorrem em direção do aumento de entropia

Este princípio afirma que todos os sistemas tendem para um estado de maior desordem com o passar do tempo. Imagine-se assistindo um filme de uma caixa cheia de bolinhas coloridas sendo espalhadas pelo chão. Se você assistir o filme de trás para frente para mostrar as bolinhas retornando para dentro da caixa, você poderá achar engraçado, mas terá clareza da baixa probabilidade desta seqüência acontecer naturalmente.

Portanto, o conceito de entropia fornece uma maneira conveniente de expressar a assimetria da Natureza, com uma tendência subjacente em direção ao caos e dispersão de energia.

Outro aspecto importante é que pelo fato da entropia total nunca diminuir, sistemas com baixa entropia são valiosos, uma vez que ao passar para um estado de alta entropia, é possível produzir mudanças desejadas, tais como as ocorridas no movimento de um carro. Este fato é expresso, muitas vezes, pela explicação de que sistemas com baixa entropia têm uma alta '*qualidade de energia*'.

Neste sentido, o que é necessário não é *conservar energia*, uma vez que a Natureza o faz automaticamente, mas sim nos preocupar com sua *qualidade*. Nesta perspectiva, nós estamos à beira de uma *crise de entropia*, uma vez que sempre quando um pedaço de madeira é queimado a entropia do mundo aumenta, o que em outras palavras significa que *energia está se tornando menos disponível* (Ferracioli, 1997). Assim, temos que encontrar melhores maneiras de usar energia no sentido de evitar grande produção de entropia de maneira desnecessária.

4. Ordem a partir da desordem

Ludwig E. Boltzmann (1844-1906) percebeu que a assimetria no tempo imposta pelo Princípio da Entropia poderia ser interpretada como a expressão de uma crescente desordem molecular. Assim, ele foi o primeiro cientista a fornecer uma interpretação estatística de uma lei física através da teoria das probabilidades: a Segunda Lei da Termodinâmica. Portanto, nesta interpretação o aumento de entropia passou a ser associado ao aumento da desordem em um sistema.

De acordo com Boltzmann o aumento da desordem é uma tendência espontânea na natureza. Por outro lado, de acordo com Charles Darwin (1809-1882) o aumento na organização e complexidade é uma tendência natural na evolução (Marx, 1983). Em outras palavras, a Termodinâmica vê a natureza como degenerando em direção à desordem inexorável de acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, onde os sistemas naturais evoluem em direção ao equilíbrio. Por outro lado os sistemas vivos marcham em direção a um contínuo afastamento da desordem e do equilíbrio em direção a estruturas altamente organizadas que se mantêm a certa distância do equilíbrio.

A questão é como resolver essa aparente contradição no ensino de energia.

Erwin Schrödinger (1887-1961) observou que os sistemas vivos pareciam desfiar a Segunda Lei da Termodinâmica a qual afirma que, em sistemas fechados, a entropia deve ser maximizada. Dessa forma, recorreu à Termodinâmica de Não-Equilíbrio, reconhecendo que organismos vivos são sistemas abertos em um mundo de fluxos de energia e de matéria. Assim, um organismo se mantém vivo em um estado altamente organizado retirando energia de alta qualidade -baixa entropia -do meio circundante e processando essa energia para manter, em seu interior, um estado mais organizado. Em outras palavras:

organismos vivos são sistemas longe do equilíbrio que mantêm seu nível local de organização às custas de uma maior desorganização global ou aumento global de entropia.

Assim, considerando a Terra -organismos, ecossistemas e toda a biosfera -como um sistema termodinâmico aberto que recebe energia de alta qualidade do Sol, processando-a para se manter longe do equilíbrio, obtem-se uma condição de baixa entropia mediante a dissipação contínua de energia de alta qualidade -luz solar -em energia de baixa qualidade -calor. Em um ecossistema, a *ordem* é, em termos de uma estrutura complexa de biomassa, mantida pela respiração total da comunidade que continuamente elimina a desordem por bombeamento (Odum, 1971).

Dessa forma, Schrödinger (1944) abordou os sistemas vivos a partir de uma perspectiva de não-equilíbrio que reconciliou a auto-organização biológica com a Termodinâmica: a Segunda Lei da Termodinâmica não é um obstáculo mas sim uma pré-condição para a evolução.

5. A seta do tempo, a reversibilidade e o senso comum

Retornando ao aspecto fundamental do conceito de entropia relacionado ao seu contínuo crescimento, este é associado como um sinal da direção do tempo: entropia aumenta na direção do futuro, não em direção ao passado. Este fato evidencia outro aspecto da assimetria da Natureza: *a assimetria do tempo*. Assim, o contínuo aumento da entropia nos fornece a direção do que é referenciada como a '*seta do tempo*'. Esta expressão indica a direção do progressivo aumento do elemento randômico na Natureza, ou seja, da irreversibilidade dos

processos naturais.

No entanto, a seta do tempo possui uma dimensão psicológica. Temos consciência do crescimento das plantas e animais e de nosso envelhecimento. Mas esses processos são lentos e ocorrem em uma curta escala de tempo nos dando a impressão de que o mundo e nós mesmos nos mantemos constantes ao invés de estarmos continuamente mudando. Dessa forma, simultaneamente temos a consciência da inexorável direção do tempo e ao mesmo tempo tendemos a considerar este fato como *não* nos afetando (Ferracioli, 1994).

Além disto, nós podemos agir, no sentido de frequentemente restaurar o estado original de alguma coisa após ela ter sido mudada. Esta maneira de agir nos revela uma falsa sensação de que o mundo é *reversível* neste senso restrito. Nossas ações são capazes de reduzir a desordem e nós não temos a consciência da desordem adicional criada para compensar nossas ações, ou seja, do *preço a pagar* por essa falsa reversibilidade.

Esta abordagem dos conceitos de energia e entropia e da descrição desta perspectiva de aparente reversibilidade dos processos ao nosso alcance fornece as diretrizes científicas básicas para a discussão sobre a *finitude* e a *preservação* dos recursos naturais disponíveis em nosso sistema Terra face ao imaginário do senso comum de que a Natureza possui uma capacidade infinita de recuperação e reciclagem como se fosse governada por uma ordem natural de eterno retorno (Eliade, 1989).

Desta forma, estes aspectos são de fundamental importância para a Educação Ambiental no sentido de promover a sua integração no discurso que promova o real entendimento de que os componentes bióticos necessários para a nossa existência fisiológica estão em vias de destruição e os balanços globais estão sendo perturbados a partir de uma situação de stress ambiental (Ferracioli, 2000).

A explicação científica pode contribuir para a discussão calcada em argumentos concretos que levem à construção de uma consciência efetiva que incorpore a importância de descobrir e preservar controles que permitam que a biosfera se ajuste a certas quantidades de poluição de fontes não pontuais, como a de gás carbônico, calor e enxofre, bem como a preservação dos *recursos para a manutenção da vida*, tais como água, ar, combustível e alimentos (Odum, 1971).

Assim sendo, a incorporação do argumento científico pode contribuir para o entendimento definitivo de que o *homo sapiens não é o dono mas apenas mais um integrante* deste frágil ecossistema denominado Terra. Neste contexto promover esforços para reduzir a poluição de todas as maneiras possíveis, além de preservar a integridade e a grande escala do sistema tamponado que mantém a vida, ou seja, *conservar a qualidade de energia disponível* neste sistema.

6. Considerações finais

A escrita de uma conclusão não parece pertinente neste ponto. O problema concreto é como abordar de uma maneira coerente e apropriada o conceito de energia que até pouco mais de cem anos atrás ainda provocava dúvidas e confusões na comunidade científica.

Assim sendo, parece *não* existir soluções definitivas sobre como articular o processo de ensino-aprendizagem, formal e não formal, no sentido de promover a evolução conceitual

(Ferracioli, 2001) das diferentes concepções do senso comum para a conceituação científica de energia dentro de uma perspectiva do *publicentrismo*.

O que se torna manifesto é a necessidade da sistematização de estudos que estabeleçam a articulação do estudo do conceito de energia com a educação ambiental para o estabelecimento de diretrizes que possam abordar de maneira apropriada o imaginário do senso comum de que a energia surge da tomada, água nasce na torneira e ar entra pela janela.

7. Agradecimento

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq, CAPES e pelo FACITEC/CMT/PMV -Fundo de Apoio à Ciência e Tecnologia do Conselho Municipal de Ciência e Tecnologia do Município de Vitória, ES.

8. Bibliografia

FERRACIOLI, L. (2001) Aprendizagem, Desenvolvimento e Conhecimento na Obra de Piaget: Uma Análise do Processo de Ensino-Aprendizagem em Ciências. *Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos*, 80(194): 5-18.

FERRACIOLI, L. (2000) A Modelagem do Raciocínio sobre a Reversibilidade de Processos. *Anais do III Seminário sobre Representações e Modelagem no Processo de Ensino-Aprendizagem*. Rio Grande, RS. 17-19/11/99.

FERRACIOLI, L. (1997) Aspectos relacionados ao Raciocínio Baseado no Senso Comum sobre Reversibilidade. *Atas do I Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências*. Águas de Lindóia, SP. 27-29/11/97.

FERRACIOLI, L. (1994) *Commonsense Reasoning About Processes: A Study of Ideas About Reversibility*. Dissertação (Doctor of Philosophy) -Institute of Education, University of London.

FERRACIOLI, L. (1986) *Concepções do Senso Comum em Termodinâmica: Um Estudo em um Curso Universitário Utilizando Entrevista Clínica*. Dissertação (Mestrado em Física) -Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MARX, G. (Ed.) (1983) *Disorder in the School*. Budapest: Roland Eötvös Physical Society.

SCHRÖDINGER, E. (1944) *What is Life?* Cambridge: Cambridge University Press.

ODUM, E.P. (1971) *Fundamentos de Ecologia*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

ELIADE, M. (1989) *The Myth of the Eternal Return*. New York: Arkana.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)