

José Francisco Custódio Filho

**PRINCÍPIOS DE CONSERVAÇÃO E CONSTRUÇÃO
DE MODELOS POR ESTUDANTES DO ENSINO
MÉDIO**

**Florianópolis - SC
2002**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM EDUCAÇÃO
LINHA DE INVESTIGAÇÃO: EDUCAÇÃO E CIÊNCIA**

**PRINCÍPIOS DE CONSERVAÇÃO E CONSTRUÇÃO DE
MODELOS POR ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada como exigência parcial para obtenção do título de MESTRE EM EDUCAÇÃO na área de Educação e Ciência, do curso de Mestrado em Educação da Universidade Federal de Santa Catarina.

José Francisco Custódio Filho

Orientador : Prof. Dr. Maurício Pietrocola de Oliveira

**Florianópolis - SC
2002**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO**

**"PRINCÍPIOS DE CONSERVAÇÃO E CONSTRUÇÃO DE MODELOS POR
ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO"**

**Dissertação submetida ao Colegiado
do Curso de Mestrado em Educação
do Centro de Ciências da Educação
em cumprimento parcial para a
obtenção do título de Mestre em
Educação.**

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA EM 02/04/2002

Dr. Maurício Pietrocola de Oliveira (CFM/UFSC - Orientador)

Dra. Sônia Krapas Teixeira (UFF/RJ - Examinadora)

Dr. Frederico Firmo de Souza Cruz (CFM/UFSC - Examinador)

Dr. Arden Zylbersztajn (CFM/UFSC - Suplente)

Bianchi
Prof. Dr. Lucídio Bianchetti
Coordenador PPGE/CED/UFSC

José Francisco Custódio Filho
José Francisco Custódio Filho

Florianópolis, Santa Catarina Abril de 2002

“Um monte de pedras deixa de ser um monte de pedras quando alguém o contempla e imagina uma catedral.”

Antoine de Saint-Exupéry

Para Dona Roseli e Seu José, sem os quais eu não existiria.

Para Ivana, e ao nosso “baby” que está chegando.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Maurício Pietrocola de Oliveira, pela orientação no mestrado e pela “orientação” em outros nuances da vida que transcendem aos aspectos formais.

Aos Professores Dr. Arden Zylbersztajn e Frederico Firmo de Souza Cruz, pelas contribuições na fase ainda embrionária deste trabalho.

Ao Professor Dr. José de Pinho Alves, pelas contribuições e incentivo.

Aos amigos da sala 52: Mikael, Daniel e Terezinha, pela interlocução valiosa e indispensável.

Às secretárias do curso de Pós-graduação em Educação, Maurilia e Sônia, pelo trabalho eficiente e “boa vontade” para auxiliar.

Aos Professores Lucídio, Ari e Eneida, da área de Educação e Trabalho, por aceitarem um “estranho no ninho”.

À CAPES pelo auxílio financeiro.

Aos meus alunos, por serem o motivo deste trabalho.

À todos que de alguma maneira contribuíram para elaboração deste trabalho.

Obrigado a todos.

RESUMO

A temática dos modelos é, atualmente, uma das mais trabalhadas na área de pesquisa em ensino de ciências. Tal discussão apoia-se amplamente nas abordagens sobre *modelos mentais* oriundas da área de psicologia cognitiva.

Na ciência existe uma relação muito importante entre construções teóricas em geral, modelos em particular, e princípios. Diversos trabalhos epistemológicos e históricos permitem avaliar o funcionamento dos princípios como *guias heurísticos* genéricos na produção científica. Esta pesquisa visa investigar o papel do Princípio de Conservação de Energia (PCE) na construção de modelos por estudantes do Ensino Médio.

Estudantes da terceira série do ensino médio foram submetidos à entrevistas clínicas semi-estruturadas, mediante um protocolo contendo duas situações externas ao contexto escolar. As respostas e suas justificativas foram analisadas e categorizadas em seis grupos: *energia, impulso, cinemática, pseudo força, simetrias e analogias*. De maneira geral, em situações um pouco diferenciadas daquelas usualmente tratadas na disciplina de Física, os estudantes utilizam toda sorte de esquemas intuitivos. O resultado mais surpreendente nesta pesquisa, foi a falta de menção explícita ou implícita ao PCE. Além disto, os modelos inferidos a partir das respostas dos estudantes mostraram-se extremamente *instáveis* e *mutantes*.

Como implicação didático-pedagógica, avançamos a idéia que os princípios deveriam desempenhar papel *heurístico* na construção de modelos na escola, como forma de minimizar a *instabilidade* dos modelos.

ABSTRACT

One of the most endeavored issues, currently, are the so-called models in science research teaching. Such discussion is extensively supported by *mental models* approaches derived from cognitive psychology.

There is a very important relationship in science between theoretical constructs in general, models in particular, and principles. Several epistemological and historical works allow assessment to operation of such principles as generic *heuristic guides* in science production. Such research seeks to look into the role of the Principle of the Conservation of Energy (PCE) to build for high school students on models.

Students from senior high school graders were submitted to semi-structured clinic interviewes, by means of a protocol comprising two outer school context situations. The answers and their vindicatives were analyzed and ranked in six groups: *energy, impulse, kinematics, pseudo-force, symmetries* and *analogies*. In general, in brief contrasting situations from those usually negotiated in the subject Physics, students use all types of intuitive schemata. The most surprising result in this research, was the lack of explicit or implicit allusion to PCE. Besides, the inferred models from the student's answer have shown extremely *unstable* and mutant.

As didatic-pedagogical implication, we proceeded the view that principles should carry out a *heuristic* role in construct at school, as way to minimize the *instability* of such models.

ÍNDICE

Apresentação	1
Introdução	4
Princípio de conservação de energia: dificuldades de uma abordagem tradicional	4
Reverendo as concepções sobre o princípio de conservação de energia	10
Capítulo I- O Papel dos Princípios nas Ciências Empíricas e a Abordagem nos livros didáticos	
I.1- Introdução	14
I.2- Princípios: seu papel nas ciências empíricas	14
I.2.1- O sentido de um princípio	14
I.2.2- A categoria de verdade de um princípio	18
I.2.3- O dilema entre o empírico e o racional	21
I.2.4- O valor heurístico de um princípio	25
I.3- A abordagem do PCE em livros didáticos	28
I.3.1- Análise de livros didáticos	28
I.3.2- Os livros	29
I.3.3- Categorias de análise	30
I.3.4- Algumas considerações	38
Capítulo II- Modelos, Modelos Conceituais e Modelos Mentais	41
II.1- Introdução	41
II.2- A noção de modelo mental como referencial teórico	47
II.3- As tradições de Gentner e Stevens e Jonhson-Laird	52
II.4- Modelos mentais: estruturas conceituais explicativas	58
II.5- Modelos mentais e princípios	63
Capítulo III- Metodologia e Resultados	65
III.1- Introdução	65
III.2- A amostra	68

III.3- Protocolo de entrevistas	67
III.4- Análise de resultados	73
III.4.1- Categorias de análise	74
Capítulo IV- A Instabilidade dos Modelos Mentais e as Implicações para o Ensino	91
IV.1- Introdução	91
IV.2- Sobre a instabilidade dos modelos mentais	94
IV.3- Modelos pedagógicos, modelos mentais e o PCE: a necessidade da instabilidade complexa	97
IV.4- A instabilidade dos modelos e as implicações para o ensino	100
Considerações Finais	103
Referências Bibliográficas	105
Anexos	113

APRESENTAÇÃO

Qualquer indivíduo, a partir do momento em que nasce, ao entrar em contato com o mundo, necessita construir representações sobre ele. Estas representações, inicialmente se dão de forma rudimentar, voltadas principalmente às noções sensitivas. Um brinquedo fora do campo visual de uma criança, nos primeiros meses de vida, é tido como desaparecido. Com o passar do tempo e, conseqüentemente, com o desenvolvimento da estrutura cognitiva, esta mesma criança pode fazer representações mais abstratas, e inferir que o brinquedo apenas caiu da cama.

Ao longo da vida, atividades mais variadas, como orientar-se dentro de uma cidade ou resolução de uma equação matemática, envolvem a articulação de representações mentais. Porém, os indivíduos não constróem todas as suas representações de maneira idiossincrática. A Ciência, em especial, permite que certas representações e visões de mundo sejam incorporadas.

A Ciência, atualmente, tem conduzido a humanidade a uma representação e interpretação cada vez mais precisa e complexa do mundo. Isso não se resume somente a natureza. Diversas aplicações tecnológicas, fazem, efetivamente, parte do cotidiano dos indivíduos, e acabam por necessitar de representações calcadas em conhecimentos científicos. O indivíduo comum, em princípio, não participa destas construções, apesar de pertencer a mesma realidade.

Cabe ao Ensino de Física, em particular, habilitar os indivíduos à compreenderem diversos aspectos da realidade que os cerca. Se o processo de ensino for de qualidade; fenômenos luminosos, sonoros, térmicos, entre outros, antes apreciados de maneira sensitiva, passarão a ser compreendidos como abstrações interpretáveis no campo teórico.

Todavia, o ensino de Ciência vem apresentando dificuldades no cumprimento do seu papel. Tais dificuldades revelam-se na preferência dos estudantes por representações intuitivas. De outro lado, professores desmotivados caem nas garras da comodidade de um ensino tradicional, calcado no formulismo, decoreba e repetição. Entre a “ciência dos cientistas” e a “ciências dos estudantes” levantem-se barreiras que o ensino tradicional de física não consegue transpor.

Em nossa atividade profissional, como professor de Física no Ensino Médio, constatamos grande parte das dificuldades mencionadas. Entretanto, de início, tais dificuldades eram vistas como normais. A partir de nossa participação, no segundo semestre de 1995, no programa PROLICEN (Programa de Apoio à Licenciatura), este ponto de vista começou a modificar-se. Lá vivenciamos discussões iniciais sobre concepções alternativas, epistemologia, história da ciência, dentre outras. Mais tarde, no primeiro semestre de 1998, novamente participamos de um outro programa: o PRÓ-CIÊNCIAS (Programa de Formação Continuada para Professores de Física do Ensino Médio). Novas discussões, novas perspectivas e novos anseios surgiram, principalmente, a vontade de contribuir para a melhoria do Ensino de Física. Foi no segundo semestre de 1998 que a chance surgiu. Ingressamos na Iniciação Científica e desenvolvemos um trabalho de pesquisa sobre o Princípio de Conservação de Energia e a temática dos modelos. O resultado deste trabalho culminou em outro trabalho, apresentado no VII EPEF em 2000.

Neste trabalho levantamos dados sobre a forma como os estudantes constroem modelos e sobre as relações entre processo e o conteúdo científico ensinado em sala de aula, em particular, dirigimos nossa atenção para o papel que os princípios desempenham na construção dos modelos pelos estudantes. Em especial, procurávamos entender o uso que os estudantes fazem do princípio de conservação de energia/quantidade de movimento em situações não escolares nas quais estes conhecimentos eram exigidos. Desta forma, obteríamos explicitamente qual o grau de utilidade deste Princípio na seleção/ exclusão dos modelos aplicados à situação física que se desejava interpretar.

Muitas das respostas mostraram a existência de esquemas conceituais alternativos, já evidenciados pelas pesquisas na área, onde todos os alunos, mesmo sem se relacionarem às situações apresentadas com princípios ou leis físicas, utilizaram-se de conceitos como força, velocidade e aceleração da forma determinada por sua “intuição”. A maioria dos estudantes, tem algum domínio de conceitos isolados. Porém, uma correlação maior, como a generalização de um Princípio, torna-se uma abstração muito complexa e não enfatizada na escola. Afirmamos, assim, a necessidade de incorporar Princípios como instrumento importante na construção de modelos, pois com estes, os estudantes terão um arsenal maior e melhor na construção de explicações sobre fenômenos.

A falta de subsídios, tanto teóricos quanto metodológicos, fez com que buscássemos dar continuidade à este trabalho, propiciando uma reflexão mais profunda. Portanto, Ingressamos em março de 2000 no Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal de Santa Catarina. Visando uma aproximação entre a “ciência dos cientistas” e a “ciência do estudantes”, temos como objeto deste trabalho, aprofundar nosso entendimento sobre *modelos*, processos de *modelização* e o papel do Princípio de Conservação de Energia na construção de *modelos (pedagógicos e mentais)*.

INTRODUÇÃO

PRINCÍPIO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA: DIFICULDADES DE UMA ABORDAGEM TRADICIONAL

A capacidade dos indivíduos em construir representações do mundo à sua volta é determinada, não somente, pelas suas observações do mundo empírico, mas, também, pelo seus conhecimentos prévios de ordem teórica. As representações são construções situadas numa dimensão entre o empírico e o racional. Um exemplo simples e fascinante é dado no livro *O Pequeno Príncipe*. Nas primeiras páginas do livro o autor fala sobre seu desenho número 1¹ uma jibóia digerindo um elefante. Aos seis anos, após ter lido um livro falando sobre jibóias engolindo feras, ele se aventura no mundo artístico com este desenho. Perguntando aos adultos se o seu desenho lhes fazia medo, recebia a seguinte resposta: “por que é que um chapéu fazia medo?”. Pobre personagem, não havia compreendido ainda que, quem não sabe nada sobre jibóias só poderia interpretar o desenho através argumentos mais próximos do seu cotidiano.

Fora da literatura infantil, na filosofia da ciência, Hanson (1979) discute a imbricação entre *observação e interpretação*. Um físico vê na realidade as mesmas coisas que um leigo, porém, as interpretações não são as mesmas, porque o leigo não aprendeu tanto quanto o físico. Hanson ressalta que não se pode considerar a observação científica despida de “critérios de significância”, como se não fosse determinada por estes critérios; como também não se pode, por outro lado, considerar as teorias como algo inteiramente alheio àquilo que, na verdade, ocorre no mundo.

Um outro exemplo, sobre as observações, ocorreu em uma disciplina do mestrado. Tratando desta discussão, o professor apresentou uma foto do traçado de partículas numa câmara de bolhas. Alguns perceberam imediatamente do que se tratava, outros viram uma constelação. Até foi mencionado por uma aluna uma fotografia em “close” de confetes e serpentinas de uma festa de carnaval. A diversidade de opiniões se deu pelas divergentes formações e conhecimento teórico dos observadores.

¹ Em anexo.

As representações dos indivíduos, ao contrário dos cientistas, possuem uma carga intuitiva muito grande. Cientistas não confiam unicamente nos sentidos, ou melhor, a avaliação do cientista não se resume só a sua percepção. A capacidade de teorizar, permite explicações e, sobretudo, ações calcadas em critérios racionais. A humanidade que um dia esperou o fogo cair do céu, hoje, o “coloca” dentro de pequenas caixas de fósforos. O conhecimento teórico fecundado pela Ciência criou um novo mundo, de fato, até a Terra “passou” a girar em torno do Sol.

Dentro das ciências empíricas, na verdade, toda observação é criada teoricamente. Contudo, existem preceitos que direcionam o olhar aos fenômenos. No universo teórico existem leis fundamentais, determinando formas da *apreensão do real*, o produto da Ciência. Em particular, a Ciência irá dispor de *Princípios* que são os limites norteadores em tal tarefa.

Na ciência existe uma relação muito importante entre construções teóricas e princípios. Como nos mostram diversos trabalhos epistemológicos e históricos (Poincaré 1995; Paty, 1993; Einstein, 1998), eles funcionam como guias heurísticos genéricos na produção científica, e, na concepção de Einstein (1950), são responsáveis pela elaboração de teorias com uma perfeição lógica e fundamentação segura. Princípios qualificam os modelos que podem ser explorados por uma teoria, ou melhor, apoiam a investigação científica permitindo a previsão de fatos novos, restringindo leis e fenômenos. Em algumas áreas como a física nuclear, a inexistência de teorias gerais² acaba por transformar os princípios nos guias maiores na construção e avaliação de modelos teóricos.

A apreensão da realidade, pela Ciência, forja-se pela criatividade, o livre pensar do cientista e também pela adoção de *guias heurísticos*. A tarefa de construir o novo mundo, o desenho número 1 da realidade, como já afirmamos, tem sido uma tarefa bem sucedida pela ciência. Mas será que os nossos estudantes compreendem os desenhos número 1 da ciência?

Aprender Física na escola, diferentemente da Ciência, não significa produzir representações consensuais da realidade, mas, apenas incorporá-las e saber utilizá-las. Cabe ao Ensino de Física conduzir este processo. Os estudantes tem direito de adquirir

² Na verdade existem teorias gerais, a cromodinâmica quântica é um exemplo. Embora haja uma teoria geral ela não dá conta da complexidade dos casos tratados. Os modelos tem base nestas teorias e em princípios gerais.

todas as representações do mundo físico, bem como dos processos de formação destes conhecimentos, sendo este o papel legítimo da educação. Todavia, a escola em âmbito geral, tem contribuído pouco para este objetivo. O currículo tradicional de Física, em particular, é um remédio ao senso comum cheio de efeitos colaterais. Ao contrário de atrair o interesse dos estudantes para a ciência, os afasta cada vez mais, com seus axiomas e com o pouco contato com a realidade. Com efeito, não é incomum nossos estudantes saírem da escola, vendo “chapéus” no lugar de “jibóias”. Traços importantes da realidade são despercebidos ou incompreendidos.

Seria importante que o Ensino de Física desse conta de explicar a realidade em geral, não somente a realidade contida nas práticas escolares. Nem mesmo a estruturação conceitual do conhecimento científico é fornecida pelo ensino tradicional, ocorrendo muitas vezes supressões e modificações na apresentação das Leis, Princípios e Conceitos de Física.

Na perspectiva de evidenciar a função explicativa e interpretativa do conhecimento teórico sobre o mundo físico, atentamos para o fato que o papel dos princípios no ensino médio está sendo subestimado ou, pouco enfatizado pelos livros didáticos e pelos professores. Contrastando com a posição privilegiada que os princípios desempenham no contexto científico, no contexto escolar eles são utilizados como meros instrumentos na resolução de problemas artificialmente formulados. Em tais atividades acabam por se resumir a algumas estratégias empregadas na busca da solução de problemas padrões. O Princípio de Conservação de Energia (PCE), em particular, acaba por ser identificado com problemas do tipo, “montanha russa”, “looping” e eventualmente pêndulo. Assim, seguindo a orientação proposta nos diversos livros didáticos³, os professores do ensino médio não ressaltam a relevância dos princípios como determinantes das possibilidades, simplificações e limitações na interpretação de um dado sistema físico.

Numa rápida análise histórica encontramos subsídios que fundamentam nossas preocupações com a forma insipiente de tratar os princípios no contexto do ensino de ciências. Desde a Grécia antiga a busca de conservações permeava o pensamento de filósofos como Parmênides[540-470 A.C.]. Idéias de conservação de grandezas físicas estiveram presentes nos debates entre Descartes, Huygens e outros no século XVII, na

³ A ser abordada no capítulo I.

conservação da *vis viva* de Leibniz, além de teorias como o flogisto e o calórico. Tais idéias culminaram com a formulação do PCE. Como resultado da busca de elementos que se conservassem nos processos físicos, verificamos a aproximação de campos de estudo que antes do seu aparecimento e amadurecimento eram separados e após sua explicitação e clareza, passaram a ser considerados como únicos. Assim, dentre os conceitos unificadores, o de Energia parece ser o mais atual e potente (Angotti e Auth, 2001). Os cientistas até hoje tem confiado nos Princípios, tanto que eles servem como elementos para “testar” e “comprovar” teorias científicas. A violação de princípios é, na ciência, um fator determinante do fracasso das teorias.

Entretanto, podemos verificar que no contexto escolar os princípios não possuem operacionalidade na interpretação de situações diferentes daquelas propostas para sua apresentação nos livros didáticos. A escola parece não fornecer os guias necessários para o direcionamento do olhar dos estudantes sobre a natureza. Além disso, não bastaria somente fornecê-los: é necessário saber encaminhar as idéias e ações de acordo com eles. Isto aponta para uma outra lacuna no Ensino de Física: a construção de *modelos*.

Diversas pesquisas (Pinheiro, 1996; Pietrocola, 1999; Pietrocola & Zylbersztajn, 1999; Borges, 1999) respondem em parte a questão levada anteriormente. Elas indicam que estudantes apresentam dificuldades quando elaboram modelos sobre fenômenos físicos. Na maioria dos casos, quando solicitados a prever, explicar ou até mesmo justificar o comportamento de determinada situação, mesmo aquelas abordadas na escola, os alunos fazem previsões sem nenhuma justificativa, respondendo a partir de uma intuição pouco científica. Resultados deste tipo parecem fazer crer que as atividades de educação científica na escola não ensinam a modelizar fenômenos. Elas são em geral destinadas a resolução de exercícios (Gil-Perez, 1987). Os modelos que fazem parte dessas atividades são por demasiado simples ou diretos referindo-se quase sempre a produtos acabados, sem menção ao caráter gerativo dos modelos, não propiciando aos estudantes a ocasião de praticar a modelização de fenômenos.

Na ciência, os modelos desempenham um papel relevante na construção do conhecimento. Esta certeza tem motivado diversos estudos na área de Ensino das Ciências. Uma análise na literatura indica que muito se tem discutido a respeito da multiplicidade de empregos do termo modelo (Krapas et al., 1997). Mesmo sendo difícil a proposição de

uma definição consensual, é inegável seu papel na tarefa de pensar sobre o mundo. Eles são meios de apreensão de aspectos importantes da realidade, e, enquanto substitutos do real percebido, podem desempenhar diversas funções.

O conhecimento científico, particularmente o conhecimento Físico, é constituído por teorias, que permitem a elaboração de modelos. Martinand (apud Astolfi, 1995, p. 103), considera que os modelos permitem a apreensão da realidade em virtude de facilitar a representação do “escondido”, pois “*substituindo as primeiras representações por variáveis, parâmetros e relações entre variáveis, fazem com que se passe à representações mais relacionais e hipotéticas*”.

Gilbert e Boulter (1998a) definem *modelo* como a representação de uma idéia, um objeto, um evento, um processo ou sistema. Entendem que o papel dos modelos e da modelização merecem enfoque próprio na aprendizagem em ciências, por diversas razões. A forma onipresente como o termo modelo é empregado no campo de educação em ciências para descrever representações, varia desde uma idéia individual passageira até objetos mantidos em museus. O caráter mutável destas representações, aliado à diversidade de elementos representados e a variada natureza existencial dos modelos resultantes, asseguram que os significados dos processos envolvidos permaneçam obscuros e incertos. Modelos permitem que as conseqüências das teorias sejam deduzidas e testadas experimentalmente, pois contrariamente as últimas, abarcam uma dimensão empírica.

Gilbert e Boulter consideram que, para propiciarmos uma Educação em Ciências intimamente relacionada com a condução da Ciência, é imprescindível a discussão sobre *modelos e modelização*. Apontam para um conjunto de investigações a serem realizados em sala de aula, sendo que algumas são de nosso particular interesse. No que tange a formação e desenvolvimento de modelos por estudantes em ciências, estamos interessados em compreender como se adquire competência para modelar e também investigar e comparar os tipos de modelos usados na ciência e na educação em ciência, o que possivelmente contribuiria para as práticas educacionais nesta área.

Pinheiro (1996), discutiu o papel da matemática na construção de modelos e a importância da apreensão e domínio deles por parte dos estudantes. Afirmou que alunos e cientistas constroem modelos, porém com estatutos epistemológicos diferentes. Pelo menos três aspectos podem determinar as diferenças entre os modelos construídos por eles:

“as experiências pessoais”, “os conhecimentos de matemática” e “os construtos da natureza”. Assim, assumimos que a “ciência dos alunos” é diferente da “ciência dos cientistas” e que o papel do ensino de física reside, entre outras coisas, em aproximar estes universos. Percebemos que este distanciamento entre a “ciência dos cientistas” e a “ciência dos alunos” se torna evidente, sempre que os estudantes são requisitados a justificar suas respostas a uma situação problema. Em geral, verificamos a presença de esquemas conceituais alternativos. Ao nosso ver, fatores que limitam a apropriação e utilização de conhecimentos físicos através dos modelos construídos pelos estudantes, tem íntima ligação com as formas como os estudantes constróem modelos e as relações deste processo com o conteúdo ensinado em sala de aula.

A importância da reflexão sobre modelos e sobre o processo de modelização é salientada por Martinand (1986), porque esta pode ser uma via de acesso por meio da qual podem resultar transformações nos conteúdos de ensino. Também assinala que é preciso conhecer como os alunos modelizam espontaneamente ou como eles fazem para se apropriar de um modelo. Julga necessário conjugar os seguintes aspectos; uma análise epistemológica do problema, a preparação, a execução e a avaliação de ensaios didáticos em sala e a observação precisa da caminhada de grupos de alunos.

O pressuposto básico nestas argumentações fundamenta-se na assertiva que as práticas dos cientistas envolvem a elaboração de modelos, desempenhando um papel central na construção do conhecimento científico. Portanto, é necessário que a educação em ciências também trate o tema dos modelos. Na prática científica, a produção do conhecimento incluem a elaboração de modelos como aproximações tentativas de descrição, explicação e interpretação de fenômenos. É fundamental que a aprendizagem de ciências evidencie esta característica, promovendo uma reflexão sobre o papel dos modelos e dos processos de modelagem na ciência (Colinvaux, 1998).

Modelos desenvolvem a potencialidade da teoria, são construídos a partir de imagens e analogias que aprendem os fenômenos. Como representações do mundo as teorias determinam as explicações que podem ser elaboradas, os modelos determinam a maneira pela qual são determinadas as classes de fenômenos vinculadas a eles. Modelos estabelecem os vínculos as restrições necessárias ou as estruturas internas, mesmo quando

não sejam diretamente observadas, como no caso das estruturas que imponham distintos modelos de átomo.

Pelo que dissemos até agora, princípios são guias na construção do conhecimento teórico e também norteiam a elaboração de modelos. Contudo, o Ensino de Física tem evidenciado este caráter? Os estudantes utilizam os princípios com esta perspectiva? Como os princípios podem participar dos modelos mentais dos estudantes?

No presente trabalho almejamos compreender como o PCE pode organizar a construção de modelos. O primeiro passo será uma revisão de trabalhos sobre o PCE no ensino de ciências.

REVENDO AS CONCEPÇÕES SOBRE O PRINCÍPIO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

O conceito de energia é muito difundido na vida cotidiana dos indivíduos. Na televisão, nos cartazes, em diversos outros contextos, a palavra energia é utilizada sem rigor nenhum. Por exemplo, o rótulo do achocolatado nescau apresenta a seguinte mensagem: “mais força para sua energia”. Assim, diariamente os indivíduos convivem com proposições científicas e não científicas sobre esta idéia. Aderir a uma ou outra concepção é uma opção das pessoas.

No meio acadêmico, também encontramos adoção de tal conceito de forma nada científica. Cursos como o de Naturologia, ministrado na UNISUL (Universidade do Sul de Santa Catarina), propõem-se à tratar pacientes com técnicas de concentração de energia. Isto não seria problemático, caso eles não afirmassem estar em acordo com os “critérios científicos”. Se no meio acadêmico as fronteiras da *pseudociência* são largas como estas, o que esperar dos nossos estudantes do Ensino Básico cujos espíritos são menos preparados para incorporar o rigor da ciência?

As pesquisas em concepções alternativas nos dão informações sobre o campo cognitivo dos estudantes, ou seja, o que eles pensam sobre conservação de energia e quantidade de movimento, e dos próprios conceitos de energia e quantidade de movimento. De maneira geral, estes trabalhos são úteis pois antecipam e reforçam muitos dos

argumentos lançados até agora. A literatura tem mostrado que estudantes tendem a utilizar conceitos mais próximos do seu cotidiano como força, calor, velocidade etc. Embora, eventualmente, utilizem os conceitos de energia e quantidade de movimento a idéia de conservação não parece estar a eles conectados.

Watts (1983) descreve alguns significados que estudantes atribuem ao conceito de energia. Ele indica que estudantes associam o termo energia com vida, e dependente de objetos com atributos humanos; outros significados incluem energia como ingrediente (algo latente), como produto (fumaça, suor), relacionada com benfeitorias para vida das pessoas(gás, eletricidade) ou como fluxo(colocada no, transportada, conduzida). Frequentemente estudantes não concebem energia com uma quantidade conservada, mas como algo que atua num tempo muito curto e depois desaparece.

Algumas pesquisas apontam que estudantes não utilizam as idéias de conservação. Duit (1981) investigou o uso do princípio de conservação da energia em 84 estudantes alemães entre 13 e 14 anos, numa série de questões que envolviam o movimento de uma bola em circuitos em forma de U, solicitando que eles explicassem suas previsões para as velocidades e alturas finais. Antes de serem instruídos sobre o tema 43% dos estudantes fizeram previsões corretas, mas somente 2% dos estudantes usaram idéias de transferência de energia e nenhum mencionou a idéia de conservação da energia em suas explicações. Após a instrução 63% dos estudantes deram respostas corretas, 17% dos estudantes passaram a incluir energia em suas explicações, mas apenas 10% dos estudantes se valeram da conservação da energia.

Brook e Driver (1984) obtiveram resultados similares. Apenas 2% dos estudantes questionados sobre a altura alcançada na trajetória de uma bola utilizaram a idéia de energia. Apesar disso metade dos estudantes responderam corretamente as questões.

O estudo de Black e Solomon (1983) indica que estudantes tem dificuldades de integrar o conceito de conservação de energia aprendido na escola com a sua vida diária. Esta diferença deve-se em parte a diferença entre o sentido científico e cotidiano dos termos “energia” e “conservação”. Eles encontraram cinco aplicações diferentes para a “conservação da energia” na descrição das modificações de energia que ocorrem num sistema contendo uma bola que pula. Entre os estudantes (46 de 14 anos), alguns

reconheceram a conservação de energia, porém intuitivamente admitiam que ela poderia ser perdida.

Driver e Warrington (1985) questionam estudantes na resolução de problemas contendo sistemas físicos simples (sistema de polias, alavanca, plano inclinado, turbina de água) onde as idéias de conservação de energia são relevantes. As respostas dos estudantes tendem, quando requeridos a usar a idéia de conservação de energia, a usar idéias mais óbvias perceptivelmente, como por exemplo, falar do calor da água no problema da turbina. Grande parte das respostas dos estudantes eram corretas, apesar de não usarem a conservação de energia, isto indica que raramente eles usam espontaneamente a idéia de conservação na análise de um problema ou explicação da situação.

Brook e Driver (1984) sugerem que estudantes mesmo quando diretamente questionados sobre o conceito de energia em situações físicas evitam o uso dele, preferindo características mais palpáveis do sistema (peso da bola, curvatura e comprimento das placas), em detrimento de características abstratas como energia. Estudantes tendem a providenciar explicações em termos de características observáveis nos fenômenos, como forma geométrica, velocidade ou força. Nas situações não familiares preferem idéias bem estabelecidas, obtidas em sua experiência diária, do que aquelas aprendidas na escola (Duit, 1981).

No seu cotidiano estudantes encontram a palavra energia em inúmeras situações diferentes e constroem significados para o termo que não correspondem aos cientificamente aceitos. Em decorrência disto, alguns estudantes abordam problemas usando formas aceitas de energia de maneira não esperada. Por exemplo, a idéia de energia é limitada por alguns estudantes a objetos em movimento, ou ainda somente coisas vivas podem ter energia, havendo muita confusão no uso de energia como objeto ou substância material (Brook, 1985).

Grimellini-Tomasini e colaboradores (1993) apontam as dificuldades de estudantes tanto de nível médio quanto universitário na utilização das leis de conservação, em problemas sobre colisões, onde rotações podem ser negligenciadas e somente as leis de conservação de quantidade de movimento e energia são necessárias. A idéia que alguma coisa pode ser transmitida de um corpo para outro em uma colisão é frequentemente utilizada por estudantes, só que a entidade transmitida é explicada de forma confusa pelos

estudantes. Na forma de força, movimento, inércia, velocidade etc. Estes autores sugerem, também, que estudantes não tem uma distinção muito clara entre os conceitos de energia e momento, os dois conceitos se superpõem nas explicações. Uma das dificuldades associadas à compreensão da quantidade de movimento enquanto grandeza conservada está, segundo eles, associada a sua natureza vetorial, uma característica que não é evidente para os estudantes.

Nós podemos verificar que, a preocupação desta pesquisa está em saber se estudantes usam ou não usam princípios de conservação de energia ou quantidade de movimento. Com uma visão um pouco diferente, pretendemos analisar não estes pontos citados, mas como os estudantes fazem uso destes princípios na seleção de modelos mentais possíveis para uma situação física, ou seja, desejamos investigar o *papel heurístico* dos princípios.

CAPÍTULO I

O PAPEL DOS PRINCÍPIOS NAS CIÊNCIAS EMPÍRICAS E A ABORDAGEM NOS LIVROS DIDÁTICOS

I.1- INTRODUÇÃO

É inegável o papel dos princípios na evolução do conhecimento científico, em especial, o PCE têm contribuído efetivamente para isto. Atualmente, o físico teórico ao empreender alguma hipótese sobre um fato, o fará respeitando o PCE; da mesma maneira, o físico experimental professará que uma observação é sempre direcionada pelo PCE. Um físico que se proponha a invalidar o PCE, provavelmente, não receberá nenhuma espécie de apoio para sua pesquisa e, correrá sério risco de ser ridicularizado pelos seus pares. É interessante a dinâmica do debate científico; ao recordarmos o drama vivido por Mayer ao propor a idéia de conservação de energia no século XIX (ver Sousa Filho, 1987).

Qualquer curso de formação em Física traz menções explícitas aos limites do pensamento do cientista. A criatividade é fator desejável à prática científica, entretanto, existem ressalvas bem importantes. O estudante de física, futuro pesquisador, é conduzido grosso modo à seguinte concepção: “*façam o que quiserem, mas, por favor, não violem o PCE*”. Literalmente, isso não pode ser entendido como vulnerabilidade da área, mas antes, expressa a necessidade de manter *guias* para sua prática. O exagero em nossas palavras é a medida do valor dos princípios para o cientista.

Neste capítulo faremos, num primeiro momento, uma discussão do ponto de vista epistemológico sobre o papel dos princípios nas ciências empíricas, em particular, do PCE. Num segundo momento, analisaremos a abordagem do PCE nos livros didáticos, no sentido de evidenciar contrastes entre este contexto e aquele da ciência.

I.2- PRINCÍPIOS: SEU PAPEL NAS CIÊNCIAS EMPÍRICAS

I.2.1- O SENTIDO DE UM PRINCÍPIO

A acepção atribuída ao termo *Princípio* na língua portuguesa culta, bem como em seu uso comum, designa em geral “*o momento em que alguma coisa tem origem*”, a “*causa*

primária” dos acontecimentos e das coisas. Nesse aspecto, a palavra princípio tem sentido vinculado diretamente ao termo “começo”. Para além dos casos da língua, dentro do domínio das ciências empíricas, de uma forma semelhante, um princípio denota este significado, como um ponto de partida, um primeiro estado de um processo. Eles caracterizam-se como conhecimentos de um nível diferente daqueles no qual se encontram os conceitos e as leis. Os princípios são metadisciplinares com relação à doutrina onde eles são o ponto de partida ou justificação (Granger, 1999).

Nas ciências empíricas, um princípio pode ser tomado como um ponto de partida de uma dedução, mas formulado como interpretação, generalização e abstração de um saber anterior. Um procedimento que pode ser entendido na generalização de leis de um certo domínio elevando-as ao grau de princípio. É o caso da lei de movimento de um corpo proposta por Galileu, enunciada mais tarde por Descartes como Princípio de Inércia, segundo a qual um corpo isento de forças ao começar seu movimento continua-o indefinidamente de maneira uniforme e em linha reta. Neste sentido, Poincaré sintetiza a idéia, afirmando que:

... princípios são resultados de experiências fortemente generalizadas; mas eles parecem tomar a própria generalidade delas um elevado grau de certeza. Efetivamente, quanto mais gerais são eles, mais freqüentemente temos oportunidade de controlá-los, e as verificações, multiplicando-se, tomando as formas mais variadas e mais inesperadas, acabam por não deixar mais margem a dúvida. (Poincaré, 1995, p. 113).

Para Einstein (1998, p.142), os princípios nas ciências empíricas servem de base para a formulação de todas as hipóteses, e é a partir deles que pode-se deduzir conseqüências. Assim, o trabalho do cientista consiste necessariamente em buscar uma certa regularidade, uma propriedade a ser generalizada, uma lei que determine a evolução do sistema considerado e que principalmente sirva de princípio geral da natureza, aliado à procura via observação nos fatos experimentais de características gerais e exatas, que possam ser explicitadas nitidamente. Quando esta formulação obtiver êxito, começa então o desenvolvimento das conseqüências, que muitas vezes revelam relações insuspeitadas que transcendem o campo dos fatos de onde foram tirados os princípios.

Nesse sentido, um conjunto de princípios pode, dentro das ciências empíricas, nos ensinar satisfatoriamente o que podemos esperar conhecer sobre o mundo físico. Tomemos o simples exemplo de uma bolinha de borracha que liberada de uma certa altura cai verticalmente, choca-se com o piso, e retorna a uma nova altura. Se este procedimento se desse “às escuras”, isto é, pressupondo que não conhecessemos como se dá a interação com o solo, ainda assim seria possível produzir algum entendimento. O PCE permite afirmar que a altura final não será nunca maior que a inicial. Sendo assim, em nenhum momento necessitamos entrar nos detalhes que envolveram a interação, ou conhecer as forças que impeliram novamente a bolinha, basta sabermos quais as condições inicial e final. Parece haver neste ponto uma renúncia à visão *mecanicista* do universo, conforme Poincaré nos esclarece de forma mais apurada:

renunciamos a penetrar no detalhe da estrutura do universo, a isolar as peças desse vasto mecanismo, a analisar uma a uma as forças que as põem em movimento, e nos contentamos em tomar por guias certos princípios gerais cujo objetivo é precisamente o de nos dispensar desse estudo minucioso.(Poincaré, 1995, p.112).

Outrora, o intento das ciências empíricas era desmontar a grande máquina do universo. A idéia que o “todo é a mera soma das partes”, despertou no homem o desejo de dominar a natureza e agir sobre ela, tornar-se senhor da natureza. Este estilo de pensamento disseminado no século XVI, cujos expoentes foram Galileu, Descartes, Hobbes (Koyré, 1991), hoje, é substituído por um novo sistema intelectual, baseado em princípios que, por sua vez, fornecem um quadro não tão detalhado do mundo empírico, porém bem mais geral e conclusivo. Ao imaginarmos qualquer mecanismo de “caixa preta”, podemos com certeza inferir proposições verdadeiras sobre o seu comportamento através do uso de princípios gerais. Nesse sentido, um conhecimento razoável e verdadeiro acerca do universo, a grande “caixa preta”, pode, com auxílio do princípios que conhecemos, ser concebido, sem com isto pagarmos o esforço de revelar os diversos mecanismos ocultos. Esta interpretação também mostra que os princípios conduzem o cientista na realização do trabalho empírico, já que com estes em mãos as hipóteses podem ser formuladas e os dados empíricos lançados em sistemas teóricos deduzidos logicamente. Indubitavelmente serão estes princípios os responsáveis em dizer o quanto a “máquina” deve ser desmontada.

A Ciência procura também compreender os mecanismos. Isto se dá, por exemplo, na física de partículas. Projetos vultuosos pretendem a construção de grandes aceleradores de partículas para prospear o interior da matéria. Cientistas têm afirmado que com este novo acelerador chegarão a uma grande teoria unificadora. Tais pesquisas, cada vez mais, adentram nos “mecanismos ocultos” da natureza; novas interações são descobertas e no limite tenderão à chegar a derradeira. Entretanto, vale ressaltar, que os mecanismos se remetem ao funcionamento do sistema, que pode não ser mecânico (Cupani e Pietrocola, 2002). Neste caminho o cientista lançará mão de guias, caso contrário, não haveria nenhum critério de seleção dos modelos construídos. Cito Einstein:

enquanto os princípios básicos para dedução não forem descobertos, o teórico não tem absolutamente necessidade dos fatos individuais da experiência. Nem mesmo pode empreender qualquer coisa com leis mais gerais, descobertas empiricamente. Deve antes confessar seu estado de impotência diante dos resultados elementares da pesquisa empírica até que se lhe manifestem princípios, utilizáveis como base de dedução lógica.(Einstein, 1998, p. 142).

Neste direção, verificamos uma substituição das determinações complexas e ainda desconhecidas do real, que se oferece nas observações empíricas, por um conjunto de princípios; sobre o alicerce destes, a teoria desenrolará seus encadeamentos: eles servirão de quadro formal e protocolo metodológico. Temos, no interior desta classe, os princípios de conservação (de energia, de quantidade de movimento, de momento angular, de carga etc.),o princípio de relatividade e os axiomas da mecânica quântica. Esses princípios são relativos às propriedades mais gerais do real(o movimento e a constituição dos corpos materiais) e constituem a transcrição mais abstrata que dele fazemos e, em sua generalidade, substituem o real. São um pensamento-do-real, uma abstração simplificadora, de utilidade e aplicações gerais, uma denominação não contraditória da realidade à qual pode se aplicar, com toda legitimidade a lógica comum e sua transcrição matemática (Paty, 1995).

De acordo com Einstein (1950), as teorias, em função de suas bases epistemológicas, podem ser de dois tipos: As **teorias construtivas**, “*que tentam construir um representação dos fenômenos complexos a partir de algumas proposições*

relativamente simples” e constróem modelos sobre seus constituintes fundamentais. É o caso da teoria cinética dos gases. E as **teorias de princípio**, onde o “*ponto de partida e fundamento não são constituintes hipotéticos, mas propriedades gerais empiricamente observáveis nos fenômenos, princípios dos quais as fórmulas matemáticas são deduzidas tal que elas se aplicam a todo o caso que se apresente*”: é o caso da termodinâmica, uma teoria de princípio que serviu de protótipo para formulação da teoria da relatividade por Einstein. Segundo ele, “*o mérito das teorias construtivas está em seu alcance, adaptabilidade e clareza; o das teorias de princípio em sua perfeição lógica e segurança de seus fundamentos*” (Einstein, 1950, p.54).

A teoria da relatividade de Einstein parte do princípio de relatividade, é uma idéia anterior ao corpo da teoria. Por outro lado, existem construções teóricas que partem de pequenas idéias e tentam relacioná-las com outras construções. Lorentz, por exemplo, tem a idéia de elétron e tenta explicar outros fenômenos. As leis de Newton e o modelo das bolas de bilhar foram as fontes a partir das quais foi derivada a teoria cinética e o seu modelo de gases. Porém, tal tarefa é sofisticada e exige a adoção de guias. Dentro de um processo de teorização, os princípios aparecem como guias genéricos, responsáveis pela organização das hipóteses e matematização do real físico, e ainda, cabe a eles de certa forma reger as verificações empíricas.

I.2.2- A CATEGORIA DE VERDADE DE UM PRINCÍPIO

A racionalidade teórica, um outro marco da condução da atividade científica e tecnológica, é transversal a esta discussão. Frequentemente, surge como um meio de alcançar a *verdade* ou fazer uso dela. Em um mundo sem verdades, os indivíduos não dariam conta das mais rudimentares representações à sua sobrevivência, como representações acerca deles mesmos ou de sua volta (Bunge, 1985). A importância da verdade se compreende na medida em que o racionalista, em contraste com o sofista, irá se preocupar não comente com a precisão conceitual e coerência lógica, mas com o valor de verdade das premissas a partir das quais argumenta; caso contrário, o aperfeiçoamento de nossos conhecimentos e a busca de novas verdades se estagnariam, presos às lacunas da incerteza.

Princípios dentro das ciências empíricas são postos como proposições verdadeiras dentro do sistema de fatos que eles organizam. Mas esta “verdade” é de uma outra natureza que aquela das outras proposições de uma teoria, porque os princípios não são proposições verificáveis ou demonstráveis.

Cabe aqui algumas considerações feitas por Freire-Maia (1990) sobre a noção de verdade científica. As três definições clássicas para que uma proposição seja verdadeira são: quando for coerente com o restante do nosso conhecimento; quando, posta em prática, realiza o que diz; quando revelasse uma correspondência com a realidade a que se refere, isto é, entre o pensamento e a realidade. A primeira noção⁴ exclui qualquer “verdade” nova que possa contradizer os conhecimentos já adquiridos, portanto, é demasiado conservador. A segunda noção exclui qualquer “verdade” que não possa ser posta em prática, assim sendo, o excessivo pragmatismo elimina proposições incapazes de entrar em funcionamento. A última noção define como verdadeiro só o que mostra adequação com os fatos, sendo a verdade neste caso, uma relação entre a proposição e a “realidade”; a proposição deixará de ser verdadeira caso a representação da realidade se alterar.

No entanto, qualquer destas três noções de verdade, dentro das ciências empíricas, não pode ser traduzida com eficácia ou sem ambigüidades, devido às sérias restrições impostas a esta noção no seio da comunidade científica: na primeira noção, pode-se dar coerência ao erro; na segunda noção, uma hipótese pode explicar bem um fenômeno e estar errada; na terceira noção, os cientistas vêem os fatos de acordo com suas teorias. Parece emergir destas considerações a necessidade de uma nova noção de verdade.

Para Popper (Silveira, 1996), por mais que os fatos ocorram conforme as predições de uma teoria, nunca se poderá saber se ela é “verdadeira”. Segundo ele, uma teoria ao passar pelo teste empírico é apenas *corroborada*, ou seja, por mais que a teoria seja corroborada, jamais poderá se dizer ter sido *provada*. Nesta visão, não existe forma de provar se uma teoria é ou não verdadeira; estamos sempre sujeitos a encontrar no futuro, conseqüências derivadas de uma teoria que sejam incompatíveis com as verificações empíricas. A ciência procura exatamente, teorias cada vez mais corroboradas e, por isto, cada vez mais *verossímeis*.

⁴ A primeira noção de verdade se enquadra bem com o conceito de ciência normal em Kuhn (1987).

Popper sustenta que, as conseqüências lógicas de uma teoria podem ser divididas entre as que são verdadeiras (o “conteúdo de verdade” da teoria) e as que são falsas (o “conteúdo de falsidade” da teoria). A diferença entre os dois conjuntos de conseqüências é a *verossimilhança* da teoria, ou quão perto da verdade ela se encontra. Assim, a teoria de Newton tem mais verossimilhança que a de Kepler, e a de Einstein mais do que a de Newton. A teoria de Einstein prevê todos os fatos previstos pela teoria de Newton e prevê alguns mais corretamente. Além disso, a teoria de Einstein prevê com êxito fatos que não foram previstos por Newton, como o deslocamento da luz, quando emitida num forte campo gravitacional, para a extremidade vermelha do espectro (Kneller, 1980).

A idéia de *incomensurabilidade de paradigmas* proposta por Kuhn (1987), baseada no fato de que os padrões científicos e definições científicas são diferentes para cada *paradigma*, traz consigo alguns problemas para noção de verossimilhança. Já que as teorias não podem ser comparadas, é impossível sabermos se uma tem mais verossimilhança que a outra. Kuhn aborda este tema tratando da transição do paradigma newtoniano para o relativístico. Os termos compartilhados em ambas as teorias, como a grandeza massa, assumem significados diferentes: a massa newtoniana é conservada, a massa relativística é conversível em energia. Como estes significados físicos são diferentes a mecânica clássica não pode ser considerada com um caso particular da mecânica relativística. Assim sendo, negando a possibilidade de comparação, não podemos afirmar se a evolução da ciência avança para a verdade.

Para essa discussão, a posição de Popper sobre a noção de verdade parece mais adequada. Concordamos com ele, na medida em que suas idéias permitem uma compreensão que legitima setorialmente cada teoria, e conseqüentemente os princípios que a suportam. Em desacordo, Kuhn não defende uma aproximação teórica da verdade, ou seja, do real propriamente dito. Nessa concepção, nossos princípios, são, enquanto guias teóricos, entes utilizáveis somente pelo poder de solução de problemas.

Bunge (1985) rechaça tal tese de maneira simples. Para ele, basta acompanhar as tarefas do físico: o teórico ao deduzir um teorema, afirma que este é verdadeiro na teoria a que pertence; por seu turno, o experimental, ao confirmar este teorema no laboratório, corrobora a afirmativa que o teorema é verdadeiro, com a garantia que o seja pelo menos, parcialmente relativo aos dados empíricos considerados. Em suma:

a confirmação é sempre parcial e, além disso, temporária. Mas a verdade não é uma ilusão por ser relativa e parcial.(Bunge, 1973, p.18).

Por sua vez, Granger (1999) sustenta que os princípios não revelam a categoria de verdade, mas a de validade entendida como sabida. Uma validade mínima significará que o conjunto de princípios de uma teoria não é incompatível, que suas conseqüências não se contradizem; uma validade máxima significará que eles são fecundos dentro de um certo estado da ciência, que eles permitem enquadrar os objetos de uma teoria em uma unidade sistemática e de tirar conseqüências novas. A mutabilidade de princípios, por exemplo, quando da passagem da mecânica clássica para a mecânica relativística ou a para a mecânica quântica não significa sua baixa fundação na realidade; pelo contrário, significa que sua relação com a realidade é susceptível de progresso. Na medida em que a função principal dos princípios é a determinação de objetos de um domínio da ciência, eles são inseparáveis da evolução que podem suportar estes objetos introduzidos e representados. Assim, os princípios científicos têm uma realidade como ponto de partida do conhecimento, mas não uma verdade fixa e definitiva, porque eles podem ser transformados a cada etapa deste processo.

I.2.3- O DILEMA ENTRE O EMPÍRICO E O RACIONAL

Nas ciências empíricas, podemos discernir duas fontes de conhecimento: a *experiência* e a *razão*. No entanto, o conjunto de dados empíricos fornecidos na primeira não constituem conhecimento; é necessário que, sobre eles, aja a razão. A razão forma conceitos e constitui categorias, generalizações que ordenam os dados da experiência. Uma vez ordenados, os conceitos podem ser combinados em sistemas hipotético-dedutivos capazes de explicar, prever e inferir sobre o mundo empírico. O progresso científico pode ser medido por graus de avanço na ciência teórica melhor que pelo volume de dados empíricos. A ciência contemporânea não é apenas experiência, porém teoria mais experiência planejada, executada e entendida à luz de teorias (Bunge, 1974).

Evocamos para essa discussão, dois princípios que podem nos auxiliar no entendimento sobre os fundamentos que possibilitam o conhecimento. O *princípio de interioridade*, cujos defensores argumentam que estão na razão, no pensamento ou na mente os dados inquestionáveis da realidade, seja como sujeito psicológico, cognitivo ou

metafísico. O conhecimento perceptivo tem o ato da percepção dependente das estruturas dadas *a priori* pelo entendimento que o limita e o organiza. O *princípio de exterioridade* se apoia no argumento de que existe no objeto exterior ao sujeito uma realidade a ser conhecida. O mundo é transcendente, ontologicamente falando, ao sujeito cognitivo. A divisão entre *empiristas* e *racionalistas*⁵, fundamenta-se, entre outros, nestes dois princípios. Questiona-se, portanto, a localização do mundo com relação ao sujeito cognitivo, seja esta relação de transcendência ou imanência (Morais, 2000).

Bacon (1979) é o representante autêntico da tradição empirista. Ele aceitava a idéia de que a observação do mundo empírico era a base pela qual, via indução, seria construído o conhecimento. Para tanto, a mente humana deveria estar livre de elementos que a obstruíssem, acumulando-se as percepções e impedindo seu acesso à verdade (os quatro ídolos). Eliminando-se esta interferência subjetiva, estamos aptos a capturar a inteligibilidade própria dos fenômenos, desaparece o sujeito da cultura, restando somente o *tábula rasa*, onde se depositam informações relevantes dos domínios observacionais (Oliva, 1990).

No outro extremo, Descartes (2000) duvida das impressões causadas pelos sentidos enquanto meios de apreensão da realidade, afirma que os sentidos muitas vezes já nos enganaram, e por isso são passíveis de desconfiança. Condiciona a existência ao ato de pensar, pois a existência é o resultado lógico da dúvida: se duvido penso, e se penso, existo. Descartes instaura o dualismo⁶ corpo e alma. O corpo se apresenta como substância material; a alma como substância imaterial, constituindo a fonte da racionalidade e do conhecimento. O conhecimento adquirido da experiência é sujeito a erros (Morais, 2000).

O idealismo de Kant (2000) assegura que não existem percepções que possam ser desvinculadas dos elementos inerentes ao pensamento. O conhecimento é então adquirido pela conjunção de observações do mundo empírico e proposições incrementadas racionalmente. Popper assegura que uma observação é uma percepção, porém uma percepção planejada e preparada. Portanto, nossas observações devem ser planejadas,

⁵ Não temos a pretensão neste trabalho de discutir as críticas a estas visões, somente apresentá-las.

⁶ Pelo menos como pressuposto epistemológico. Outra coisa seria inferir se Descartes é dualista do ponto de vista ontológico.

imbuídas de um problema de interesse. Este plano, todavia, é direcionado por uma hipótese ou teoria que seleciona quais percepções serão relevantes para solução do problema.

Dentro destas considerações feitas sobre as filosofias racionalista e empirista, como enquadrar os princípios das ciências empíricas, em uma destas tradições? Seriam eles a própria evidência dos fatos? Ou atributos da razão em adequação ao real? São eles leis empíricas, ou princípios racionais? De acordo com Paty, os princípios:

...são considerados implicitamente como os dois juntos, inseparavelmente, mesmo que uma formulação privilegie um ou outro [aspecto]. (Paty, 1995, p. 248)

Esta ambivalência é atestada na qualificação das três leis de movimento de Newton. Para ele, São fatos, mas podem também ser considerados princípios, no sentido em que, a partir deles, toda a mecânica dos corpos em movimento pode ser deduzida, mediante métodos de cálculo adequados. D'alambert , apoiado em sua epistemologia fundamentalmente racionalista, os chama unicamente de princípios, e os desloca em relação às definições de Newton, referindo-os explicitamente ao real. Eles formam a base e o fundamento conceitual de todo o sistema da mecânica clássica. Mas é evidente que eles não são de modo algum empíricos. O princípio de inércia não é, absolutamente, evidente e faz referência a um pensamento muito afastado da experiência imediata.

A este respeito Poincaré (1984, p.82), escreve: *“um corpo que não está submetido a nenhuma força só pode ter um movimento retilíneo e uniforme. Será essa uma verdade que se impõe a priori ao espírito? Se fosse assim como teriam ignorado os gregos?”*. Mais adiante ele acrescenta, *“o princípio de inércia, que não é uma verdade a priori, seria então um fato experimental?”*. Ainda, segundo ele, quando Newton escreveu *Principes*, considerava essa verdade como estabelecida e demonstrada experimentalmente. No entanto, uma lei experimental está sempre sujeita à revisão; devemos estar preparados para vê-la, algum dia substituída por uma lei mais precisa; entretanto, por que o princípio de inércia não será abandonado ou corrigido? Precisamente porque ele não poderá, nunca, ser submetido a uma prova decisiva. Cito Poincaré:

Essa lei, verificada experimentalmente em alguns casos particulares, pode ser estendida, sem medo, aos casos mais gerais porque sabemos que, nesses

casos gerais, a experiência não a pode contrariar nem confirmar.
(Poincaré, 1984, p. 86).

Essa força de generalização pode também ser apreciada no PCE, escapando assim aos ataques da experiência, já que é possível a redefinição de novas formas de energia, quando o princípio aparentemente falhar. Poincaré em a *Ciência e a Hipótese* afirma: “*só nos resta um enunciado para o princípio de conservação da energia: existe alguma coisa que permanece constante*”. Nitidamente esta frase explicita uma falta de imagem para a energia. Apresentado-o desta forma, o princípio parece ser anterior á experiência. Nesta direção, o próprio Poincaré escreve em seguida que: “*o princípio de conservação da energia, baseado na experiência, não mais poderia ser por ela falseado*” (Poincaré, 1984, p.106). Mas, em outro momento, ele escreve também que a percepção de que algo se conserva é proveniente de constatações com o mundo, tendo pois uma dimensão empírica. Recáímos então à dualidade.

Einstein (1998) estabelece um lugar para a razão e para a experiência, num sistema de física teórica. Para ele, a razão constitui a estrutura do sistema. Os resultados experimentais e suas imbricações mútuas podem ser expressos racionalmente mediante proposições dedutivas. É nesta possibilidade de representação que se situam o sentido e a lógica dos princípios que formam a base do sistema como um todo. Princípios se revelam como invenções espontâneas do espírito humano que não podem ser justificados *a priori*. No seu ponto de vista princípios são:

A parte inevitável, racionalmente incompreensível da teoria. Porque a finalidade precípua de toda teoria esta em obter estes elementos fundamentais irreduzíveis tão evidentes e tão raros quanto puderem ser, sem olvidar da adequada representação de qualquer experiência possível.
(Einstein, 1998, p.148)

A posição de Einstein, reflete uma noção mais voltada para o caráter racional na elaboração de um princípio; por outro lado, esta elaboração esta condicionada pelos fatos observados. Naturalmente a experiência se impõe como único critério de comprovação da veracidade destes construtos. Entretanto, estes princípios podem ser sugeridos pela experiência, porém em caso algum deduzidos. Como afirma Bachelard (apud Lopes, 1996), “*um empirismo sem leis claras, sem leis coordenadas, sem leis dedutivas não pode*

ser nem pensado, nem ensinado; um racionalismo sem provas palpáveis, sem aplicação à realidade imediata não pode convencer plenamente". A incerteza sobre a natureza dos princípios não nos dá subsídios para concebermos com clareza se estes são *puros dados* ou *legítimas construções*. Parece-nos, que ambas formulações são plausíveis e simultâneas em uma relação dialética.

1.2.4- O VALOR HEURÍSTICO DE UM PRINCÍPIO

Um princípio tem como função servir de guia à restrições de leis possíveis, uma função evidentemente teórica que, no entanto, não é suficiente para a construção de uma teoria; porém, exercendo esta função, um princípio é capaz de limitar consideravelmente as possíveis arbitrariedades dentro de um sistema teórico (Paty, 1993). Quer dizer, dentre as várias hipóteses a serem lançadas no processo de construção teórica, temos condições de restringir e simplificar uma série de formulações para leis de uma certa classe de fenômenos. Sob esta tutela, podemos afirmar, por exemplo, a impossibilidade do *moto-perpétuo*.

As máquinas de moto perpétuo são máquinas cujo movimento é auto-alimentado sem necessidade de um agente externo. Muitas foram as tentativas de construção de artefatos desta espécie, utilizando-se fenômenos relativos à força gravitacional, aos magnetos, a capilaridade, ao empuxo etc. Hoje, com base nos princípios da termodinâmica, é invalidada *a priori* qualquer tentativa de construção de máquinas desta espécie. Caso aceitássemos esta possibilidade, isto implicaria na violação do primeiro princípio (de conservação da energia), que possibilitaria criar energia do nada e; do segundo princípio (do aumento da entropia), que possibilitaria reaproveitar o calor na produção de ciclos infundáveis (Sousa Filho, 1987). Estas proposições encaixam-se perfeitamente dentro dessa função dos princípios e garantem necessariamente que, não é preciso construir máquinas desta espécie, pois de antemão, esta possibilidade é negada.

No processo de construção teórica, um princípio joga um papel importante, devido à sua capacidade de viabilizar descobertas experimentais imprevistas. Ou seja, a realidade à qual nos referimos, nesse processo, pode revelar novos elementos antes desconhecidos que, pela força de um princípio, passam de simples correções matemáticas ou "falta de algo" a um produto real. Falamos aqui de predizibilidade. Esta propriedade heurística dos

princípios é atestada com maior clareza no caso concreto da “descoberta” do neutrino⁷ que resumiremos a seguir.

Por volta de 1930, o estudo dos espectros de elétrons emitidos nas desintegrações beta dos corpos radiativos gerava grandes dificuldades. Chadwick demonstrara um aspecto contínuo relativo aos elétrons (raios beta) nucleares, isto é, diretamente oriundos da transformação do núcleo radiativo superpunha-se as raias monoenergéticas dos elétrons de conversão, que resultavam dos rearranjos dos níveis atômicos em torno do núcleo final. Nessa transição somente uma única partícula, o elétron, emergia e, como se tratava de dois estados bem definidos, era esperado que ele apresentasse um única raia, e não um espectro contínuo. Portanto, perdia-se energia na reação. Após diversas pesquisas realizadas para explicar esta perda, diversos físicos (Bohr, Rutherford, entre outros) começam a discutir os limites do princípio de conservação da energia.

Diante do iminente desmoronamento dos princípios sobre os quais foram construídos os alicerces da física teórica moderna, Pauli propõe a existência de partículas emitidas ao mesmo tempo que os elétrons. De maneira que a soma das energias de uma tal partícula e do elétron fosse constante. Essas partículas, os neutrinos, seriam neutras, de spin $\frac{1}{2}$, massa muito pequena, obedecem ao princípio da exclusão e muito penetrantes. No entanto, vale ressaltar, esta formulação foi criada somente para levar em conta o que “faltava” nas equações, a fim de preservar os princípios fundamentais. Ou seja, o neutrino ainda não era uma partícula física, havia necessidade de verificações empíricas para a comprovação da hipótese.

A teoria construída por Fermi, em 1933, propunha que o neutrino, juntamente com o elétron formava uma corrente que se aclopa à corrente nuclear, através de um campo de força, o campo das interações fracas. A partir da criação da teoria_ mesmo não sendo o neutrino mais do que uma função de onda_ ele, passa a ser figura indispensável na compreensão deste fenômeno. A teoria seria corroborada na medida em que, possuía alto grau preditivo. Foi, certamente, este mesmo poder preditivo que possibilitou a passagem do neutrino de hipótese à realidade, porque a teoria previa justamente a sua capacidade de interação. A interação dos neutrinos sobre os núcleos é um processo inverso da desintegração beta; neste caso os neutrinos são absorvidos, em vez de serem emitidos.

⁷ Ver Paty(1995), p. 243

Assim, estas interações elevaram o status do neutrino de *efeito*, enquanto simples “falta”; para *causa*, pois interagia com o núcleo, o que deu crédito definitivo à sua real existência.

Além das características de teorização, paralelamente, desenvolvem-se procedimentos experimentais que, partindo da hipótese da existência do neutrino, ou seja, da confiança nos princípios fundamentais, dão partida a um avanço tecnológico buscando melhorias nas técnicas observacionais. Completamos com isto o cenário necessário à construção, conforme a predição, de um elemento cuja realidade é construída “artificialmente”. Contemplamos neste palco, as abstrações que fundamentam as teorias: que passam pelos conceitos, símbolos, matematização, mas imprescindivelmente pelos princípios.

Uma vez caracterizado o valor heurístico de um princípio, sem dúvida, podemos nos questionar: até quando aos princípios poderá ser atribuído este valor? Até quando poderemos estender o domínio de aplicação de um princípio? Ou, principalmente, até quando poderemos confiar neles? A resposta proposta por Henri Poincaré, parece-nos convincente. Segundo ele, poderemos abandonar um princípio quando:

Ele deixar de ser útil, isto é, quando não mais nos fizer prever, sem engano, fenômenos novos. Estaremos certos, num caso como esse, de que a relação afirmada não é mais real, pois, se tal não se desse, o princípio seria fecundo. A experiência, sem contradizer diretamente uma nova extensão do princípio, o terá, contudo, condenado. (Poincaré, 1984, p.131)

Neste sentido, o valor heurístico de um princípio está em sua fecundidade, na sua capacidade de gerar ou restringir novos conhecimentos e, isto faz que acreditemos com tanta certeza nos resultados produzidos. Não seria por outro motivo, pois, uma ciência se constrói sobre bases sólidas, caso contrário, viveríamos de conjecturas.

L3- A ABORDAGEM DO PCE EM LIVROS DIDÁTICOS

L3.1- ANÁLISE DE LIVROS DIDÁTICOS

Um livro didático representa uma interface entre a demanda do currículo e o espaço cognitivo criado pelos professores em sala de aula (Gilbert et al., 1998b). Eles são o instrumento mais utilizado pelos professores de física do ensino médio na preparação de aulas, o que caracteriza imediatamente uma vinculação parcial (às vezes total) entre os conteúdos ensinados e o conteúdo proposto nos programas. Sem discutir se esta “dependência” do professor em relação ao livro didático é boa ou ruim, o livro didático deve atender à alguns requisitos mínimos, que o tornem aceitável enquanto difusor do conteúdo de ensinável física. Um livro didático deve, entre outros requisitos, apresentar os conceitos corretamente nas suas bases conceituais, respeitando o nível ao qual o conceito irá se dirigir. Ele também deverá ser explicativo, elucidando cada uma de suas partes, permitindo um avanço teórico e aplicações do conteúdo.

Mediante tais características_ englobam-se aqui as questões de estilo_ cada autor tem uma opção ao escrever um livro didático, ou seja, uma pretensão, um objetivo de ensino implícito nos conteúdos e na forma de apresentação. Neste sentido, acreditamos que seja possível traçar um perfil que descreva esta opção através da análise de conteúdo. Na perspectiva tradicional, evidenciada na maioria dos livros, temos fortes indícios que os conteúdos almejam operacionalizar aplicações formais em exercícios (Gil-Perez, 1987). Mede-se a validade de um conteúdo pela eficácia na elaboração destas situações artificiais que, em nada se remetem aos fatos reais.

Outro vetor transmissor desta tendência, é a noção de atender ao pré-requisitos dos vestibulares. Os autores dos livros textos propõem uma infinidade de questões de vestibulares, quase sempre escolhidas a dedo e, coerentes com as suas propostas. Tal atitude, mascara as reais pretensões de muitos exames vestibulares, voltados à avaliação de outras habilidades e competências (Gaspar e Prado, 2000). Como resultado e sob esta justificativa, o conhecimento físico, freqüentemente, é banalizado em mnemônicos musicais e aplicações de fórmulas.

Necessariamente, precisamos investigar qual o ponto de partida do autor, ao abordar um conteúdo. Entendemos que se o autor parte de elementos reais, e evidencia que o conhecimento físico construído é fruto de processos de modelização, cujo elemento final floresce de sucessivas aproximações do fenômeno real, o ponto de chegada provavelmente será mais intimamente ligado a idéia de construção de modelos. Eles permitem a *explicação e predição* de situações na sua forma não lapidada, diferentes das que encontramos nos livros didáticos. Por outro lado, quando parte-se de fenômenos já modelizados, empobrece-se a dimensão criativa do conteúdo, limitando-o àquelas aplicações imediatas de fórmulas. A ciência da “natureza”, tão pregada nas páginas iniciais do livro, se perde em meio a blocos e fios ideais, dando um caráter restrito ao conteúdo. Acreditamos ser mais difícil chegar a realidade limitando a aplicação do conhecimento a sistemas previamente idealizados e abstratos.

Num contexto mais restrito, o conhecimento proposto em um livro didático também deve propiciar a compreensão dos próprios meios do fazer científico. No geral, é importante que o conhecimento proposto em um livro didático permita a compreensão de aspectos do cotidiano dos indivíduos. Entretanto, às vezes, internamente (dentro do “mundo escolar”) o conhecimento ensinado é transposto de forma engessada, traços férteis são suprimidos. É o que também procuraremos evidenciar.

Pretendemos primeiramente, identificar a intenção dos autores de livros didáticos do ensino médio ao propor o tema Princípio de Conservação de Energia. Uma vez identificada esta opção, ensaiaremos sobre qual o papel dos princípios dentro desta opção e também sua relação com os modelos e com o grau de alcance da realidade.

1.3.2- OS LIVROS

Escolhemos os seguintes livros para análise: Antônio Máximo & Beatriz Alvarenga; “Curso de Física”; São Paulo: Scipione, 2000 ; Bonjorno & Clinton; “Física”; São Paulo: FTD, 1992. Nossa escolha se deu pelo fato destes livros destinarem-se ao público do Ensino Médio, e por serem representativos de duas tradições presentes nos livros existentes: um enfoque conceitual versus enfoque formalista. A escolha destes livros se baseou também no fato do primeiro apresentar uma abordagem menos tradicional, e ambos serem de ampla difusão. Em particular, as escolas dos sujeitos de nossa pesquisa adotam

tais livros. No livro Nossa análise se concentrou no tópico Princípio de Conservação, incluído no volume I, na parte de Mecânica, de ambas coleções. Chamaremos a primeira obra de L1 e a segunda de L2. L1 o PCE aparece no capítulo 8: “Conservação da energia”. Das 391 páginas deste livro, este capítulo é contemplado com 46, o que equivale a 11,7 % do livro. No livro L2 o PCE aparece no capítulo 13: “Energia”. Das 352 páginas do livro, este capítulo é contemplado com 18, o que equivale a 5,1 % do livro. Por estes dados, já podemos adiantar a maneira como um conteúdo importante como este é pouco discutido.

1.3.3- CATEGORIAS DE ANÁLISE

A forma de exposição de conteúdos em livros didáticos a priori não possui nenhuma regra rígida a ser seguida. Devemos, entretanto, pressupor a existência de balizadores metodológicos para o desenvolvimento dos conteúdos a nível teórico e experimental. Delizoicov e Angotti (1992) indicam um balizamento possível, pautando a apresentação do conteúdo em três momentos pedagógicos: **problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento**. Na problematização inicial são apresentadas questões e/ou situações para discussão com os alunos, visando a ligação do conteúdo com a realidade dos alunos. Neste momento, concepções dos alunos podem emergir bem como a necessidade de adquirir novos conhecimentos, assim, forja-se um *problema didático* que, espera-se faça sentido para o aluno. A organização do conhecimento tem como objetivo sistematizar os conhecimentos de Física necessários para compreender o tema central e da problematização inicial. Finalmente, a aplicação do conhecimento visa explorar o conhecimento incorporado pelo aluno na análise e interpretação tanto de situações inicialmente problematizadas, como de novas situações.

Inspirados em tais momentos, em nosso trabalho de análise utilizaremos algumas categorias que, tentaremos demonstrar, participam da proposta dos autores de livros didáticos e, através delas, faremos a leitura dos livros consultados delineando a opção de ensino na abordagem do conteúdo. Optaremos pelas seguintes categorias: *motivação, contextualização, história da ciência, corpo teórico e aplicações*. Nas categorias motivação e contextualização, incluímos a intenção dos autores em despertar o interesse do estudo, com aproximações às vivências e expectativas dos indivíduos. Vale ressaltar, que as categorias motivação e contextualização podem não se constituir em verdadeiras

problematizações, ou melhor, a problematização é um caso particular destas duas. O corpo teórico expressa o momento do autor para formalização do conteúdo. A categoria aplicações, por sua vez, se apresenta prerrogativa do conhecimento escolar em gerar atividades. Todo conhecimento científico transposto para o contexto escolar é palco de atividades (Chevallard, 1985). Com relação a categoria história da ciência, ela aparece nos livros de complemento ou “verniz cultural” situando-se fora do plano onde as demais aparecem (por isto o plano superior na figura 1.1). A seguir detalharemos tais categorias:

a. Motivação: introdução na qual os autores procuram relacionar o conteúdo a ser tratado com o cotidiano, aquilo que é familiar, acentuando a sua utilidade prática. Os autores enfatizam que o conteúdo faz parte da vida cotidiana dos alunos, sendo alvo da mídia e outro veículos, e por isto merece ser estudado e compreendido.

b. Contextualização: inclui situações onde os conceitos introduzidos tornam-se utilizáveis. Em geral esta categoria aparece na forma de quadros com informações tiradas do mundo real. Estabelece o lugar destes conceitos no mundo.

c. História da ciência: relato sucinto da vida e obra de cientistas que desenvolveram trabalhos relacionados com o conteúdo enfocado.

d. Corpo teórico: apresentação do arcabouço teórico, ou seja, o conteúdo propriamente dito, onde conceitos, leis e princípios aparecem de forma sistematizada.

e. Aplicações: são situações criadas para operacionalização do conteúdo. Podemos subdividir esta categoria em três etapas:

e.1. exemplos: resolução de situações feitas pelos próprios autores para exemplificar as aplicações do conteúdo.

e.2. exercícios e problemas: situações mais ou menos artificiais propostas para os estudantes solucionarem.

e.3. experiência: propostas de verificação empírica e comprovação de leis e princípios apresentados.

Ao mapearmos os livros didáticos com estas categorias, podemos montar em forma de diagrama o conjunto de relações estabelecidas entre elas. Os diagramas permitem a visualização de cada seção dos capítulos enfocados, facilitando a análise e interpretação. A figura 1.1 fornece um diagrama com a estruturação pedagógica entre as categorias. As setas

representam as possíveis relações entre as categorias, sem indicar seqüenciamento temporal.

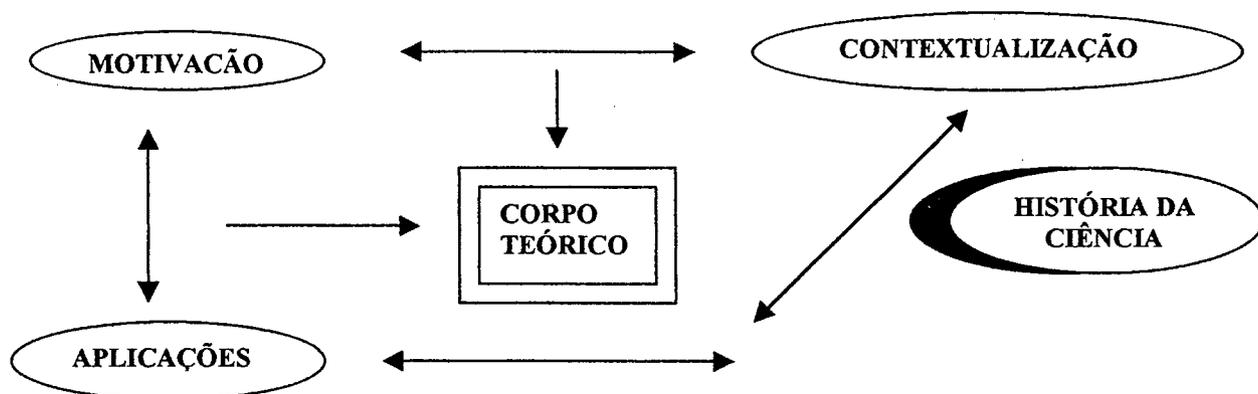


Figura I.1- Interações entre as categorias de análise dos livros.

Motivação

No livro L1 os autores iniciam a unidade 4 (p. 299) procurando justificar porque devemos entender melhor o conceito de Energia. Tomam como exemplo, o problema do consumo desenfreado da energia em nosso planeta que é constantemente alvo de reportagens na mídia em geral.

...Os problemas com a produção e consumo de energia ocupam diariamente os noticiários de TV, rádios e jornais constituem uma preocupação constante (...) de todas as nações do mundo. Por esses noticiários, você já deve saber que, se um país possui reservas de energia, ele terá possibilidades de se desenvolver.

Esta forma de introdução do conteúdo parte de pressupostos pragmáticos. A introdução do conteúdo é feita com apenas um parágrafo, demonstrando o valor da energia para sociedade capitalista. Seria interessante enfatizar que a energia desempenha um papel importante em nosso cotidiano, não somente nos meios de produção da economia.

Mais adiante, na seção 8.3 (p. 306) O conceito de Energia, é apresentado de maneira formal. No entanto, os autores são contraditórios. Ao iniciarem o capítulo (numa espécie de contracapa, p. 298) comentam: "Alertamos os professores para um fato muito comum nos dias atuais: o uso inadequado da expressão 'energia' em situações totalmente destituídas de caráter científico...", mas no primeira parágrafo da seção destinado a sua definição e o caráter informal do conceito, afirmam: "A energia é dos conceitos mais

importantes da Física e talvez o termo energia seja um dos mais empregados em nossa linguagem cotidiana. Assim, apesar de ser difícil definir, em poucas palavras, o que é energia, você já está acostumado a utilizar este termo e já tem, então uma certa compreensão do seu significado". A primeira citação esta claramente preocupada com a disseminação de idéias não científicas do termo energia. O lembrete ao professor o torna responsável por informar e ajudar a superar estas concepções. Na segunda citação, os autores precisam definir o conceito científico de energia sobre aquele disseminado no dia-a-dia. Corre-se o risco de induzir os estudantes à usar expressões como "energia positiva" e "energia dos cristais" no mesmo patamar que o conceito cientificamente aceito.

Em L2, a motivação aparece no início do capítulo 13 (p.215), os autores introduzem o conteúdo iniciando o texto da seguinte forma:

Quando dizemos que uma pessoa tem energia, supomos que tem grande capacidade de trabalhar. Quando não tem energia, significa que perdeu a capacidade de trabalho. Então podemos dizer que um sistema⁸ ou um corpo tem energia quando tem a capacidade de realizar trabalho.

O uso das pessoas como ponto de partida para discussão sobre energia, apesar de motivador (no sentido de próximo ao grupo de interesses do indivíduos) não parece uma boa estratégia didática. O "sistema corpo humano" difere muito dos sistemas físicos onde o conceito de energia torna-se eficiente. Pessoas aparentemente "sem energia" (no sentido vulgar) tem ainda "capacidade de realizar trabalho", pois nem os músculos do coração pararam de bombear sangue, nem aqueles do abdômen pararam de contrair-se e relaxar, permitindo a entrada e saída de ar dos pulmões.

No livro L1 a categoria motivação foi identificada nas seções 8.1, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5⁹. Em L2 somente na seção 1 os autores procuram motivar os estudantes, no restante das seções partem diretamente para apresentação do conteúdo. Mostrando a maior preocupação dos autores de L1 com a inserção do cotidiano no conteúdo. No entanto, percebemos a intenção de ambos autores: quando trazem elementos do cotidiano camuflam a frase "isto serve para alguma coisa". O que ficará claro ao terminarmos a exposição das categorias.

⁸ Destaque do autor

⁹ A seção 8.6 é destinada a Conservação de Energia, propriamente dita. As seções 8.6 e 8.7, referem-se as aplicações e o tópico especial respectivamente.

Contextualização

No livro L1 encontramos diversas figuras, numa tentativa de mostrar onde encontramos no mundo real os conceitos apresentados na seção. Na seção 8.1 (p. 299) os autores apresentam um quadro contendo informações sobre produção e consumo de energia. No entanto, este quadro não é retomado ao longo do texto, ou seja, no corpo teórico onde o conceito é discutido. Além disso, estes quadros não apresentam nenhum tipo de identificação, como a numeração das situações modelizadas do corpo teórico.

Mais adiante (p. 304), os autores apresentam a figura de uma lâmpada incandescente acompanhada de uma pequena legenda contendo informações sobre potência. Só que no decorrer do corpo teórico não resgatam em nenhum momento estas informações. Percebemos desta forma que, informações deste tipo apesar de estarem intimamente ligadas ao conteúdo não são aproveitadas significativamente no desenvolvimento do corpo teórico.

Para finalizar, encontramos dois quadros (p. 321), no primeiro os autores apresentam uma pintura de Escher e no segundo a imagem de uma queda-d'água, com as respectivas legendas:

A ilusão criada pelo artista dá origem a uma situação onde não haveria conservação de energia. Cascata. (Litografia por M. C. Escher, 1961).

A energia potencial de uma queda-d'água se transforma em energia cinética e pode ser convertida em outras formas de energia, como a energia elétrica.

Estes dois casos mostram que os autores não se preocupam em “explicar” as afirmações contidas nos elementos desta categoria, vejamos porquê: no primeiro quadro a afirmação que naquela situação não haveria conservação de energia, fica implícita. Como no corpo teórico esta situação não é discutida, as interpretações sobre a mesma podem ser várias. Diversas questões podem surgir, como: por que nesta situação não teremos conservação de energia? Não é difícil imaginar esta possibilidade, já que a situação apresentada difere de outras modelizadas encontradas durante todo o capítulo. Seria interessante que o livro assumisse o compromisso de responder as questões que ele mesmo instiga. No Segundo quadro, novamente podemos verificar a pouca relação estabelecida entre os elementos desta categoria e os elementos do corpo teórico. A imagem é

apresentada sem ser referenciada no corpo teórico, criando assim um grande “vácuo” entre o que é proposto no corpo teórico (que diz respeito as situações modelizadas) e o que se tenta contextualizar. Não nos parece que seja possível interpretar e entender estes elementos presentes na contextualização, já que não são situações modelizadas e, apesar de serem mais próximas da realidade se apresentam a “margem” do texto.

No livro L2 os momentos em que ocorre a contextualização são poucos, e como em L1 limitam-se a quadros ilustrativos de situações reais sem nenhuma referência direta no texto. Em L2, aparecem ao longo do capítulo apenas quatro figuras, duas na página 215 e duas na página 216. As duas primeiras são exemplos de situações onde a energia cinética está presente, e as duas últimas são exemplos de onde a energia potencial está presente.

História da ciência

No livro¹⁰ L1 os momentos dedicados a elementos desta categoria se resumem a uma breve descrição da vida e obra de três cientistas:

Sobre James P. Joule (p. 300):

Físico inglês, discípulo de John Dalton na universidade de Manchester; que realizou uma série de famosas experiências com as quais mostrou ser o calor uma forma de energia. Esse trabalhos serviram de base para o estabelecimento do Princípio de conservação da Energia.

Sobre James Watt (p. 303):

Filho de um escocês, fabricante de instrumentos e máquinas, seguiu a profissão do a pai, tornando-se um habilidoso profissional. Em 1765, inventou um novo modelo de máquina a vapor que contribui enormemente para o desenvolvimento industrial no século passado. Sua invenção foi usada na construção dos primeiros barcos e locomotivas a vapor e para acionar uma grande variedade de máquinas nas fábricas que começavam a se desenvolver.

Sobre Robert Hooke (p.314):

¹⁰ O livro L2 não apresentou nenhum elemento desta categoria

Físico inglês descobridor da lei que leva o seu nome sobre a elasticidade dos corpos membro da Real Acadêmia de Ciências de Londres, envolveu-se em polêmicas com Newton a respeito da teoria da Gravitação Universal e da natureza da luz, defendendo ardentemente a teoria ondulatória.

Como podemos verificar são introduzidos elementos da história da ciência, no velho molde tradicional, dando a idéia de uma ciência estática, fruto da mente de pessoas brilhantes que trouxeram a luz da revelação aos menos capazes. Ao retirar estes fatos do contexto ao qual estavam inseridos, o livro didático suprime toda a problemática que envolveu a construção dos conceitos, os problemas epistemológicos, as sucessivas teorias colocadas em jogo e os diversos personagens que contribuíram construção da teoria aceita.

Um pensamento voltado na direção de uma ciência acabada, passível de transmissão, com certeza inibe no contexto escolar a possibilidade de um ensino de física crítico. O livro didático leva a entender que em suas páginas encontram-se as verdades incontestáveis e somente grandes gênios podem mudá-las. O conteúdo só é validado na interpretação de situações propostas no próprio livro. De fato, a história da ciência é inexistente, pôr tal motivo renomeamos a categoria como biografia.

Corpo teórico

Na seção 8.1 (p. 299) do livro L1 os autores introduzem o conceito de trabalho. Utilizam o tradicional bloco idealizado (fig. 8.1) sendo puxado por uma força F sobre uma mesa horizontal. Para os autores, trabalho é uma grandeza relacionada com a medida da energia. A grandeza trabalho é apresentada de forma duvidosa ao longo deste trecho, não há relação entre o petróleo, gasolina ou gás, com um bloco arrastado por uma força. Os autores parecem esquecer que estão definindo trabalho mecânico, e saltam para discussão da energia química ou energia elétrica só no Tópico Especial). Além do que, os autores não utilizam está figura como parte da apresentação do conteúdo, ou seja do corpo teórico.

Nas páginas seguintes os autores fazem clássica seqüência de apresentação: utilizam situações modelizadas com blocos deslizando sem atrito, blocos suspensos por roldanas, etc. Na maior parte da seção os autores procuram definições matemáticas. A discussão teórica sobre o assunto é pobre, e preocupada em descrever o significado das equações em demonstrar o sentido físico da grandeza trabalho

Durante todo texto encontramos diversas situações que caracterizam a forma como é apresentado o corpo teórico. A seção 8.6 (p. 318), os autores dedicam-na a conservação da energia, apresentando forças conservativas através das situações modelizadas, que permitirão a operacionalização matemática do conteúdo. Em L2 mantêm-se a mesma linha. O corpo teórico é apresentado baseando-se em situações modelizadas. Antes do início do texto aparecem (p. 215 e p. 216) situações reais na forma de figuras.

O corpo teórico como apresentado, tanto em L1 quanto em L2, não é em nenhum momento vinculado diretamente no decorrer da exposição do conteúdo com a motivação contextualização ou biografia. Esta categoria é marcada pela aparente “neutralidade” em relação às supracitadas categorias. As suas relações são feitas internamente em suas estruturas modelizadas, sem vínculo com as categorias anteriores.

Aplicações

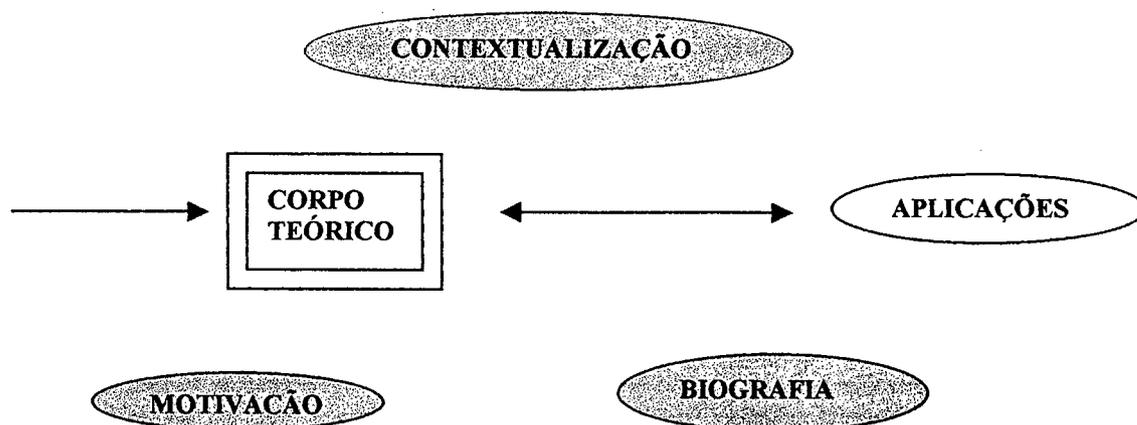
Em geral tanto em L1 quanto em L2, as aplicações aparecem inicialmente na forma de exemplos contidos no corpo teórico. Estes exemplos são resolvidos no próprio livro com aplicação direta dos conceitos apresentados no decorrer da seção e visam sobretudo, operacionalizar os conceitos gerando situações modelizadas para que seja possível utilizar o formalismo contido no corpo teórico.

Uma segunda etapa de aplicações consiste em exercícios e problemas propostos para os alunos resolverem. Nesta etapa exercícios e problemas gerados são meras situações semelhantes aquelas exemplares apresentadas no corpo teórico. Eles não exigem nem um tipo de modelização, já que tratam de situações modelizadas muito distintas da realidade. Assim, todos elementos que não dizem respeito ao corpo teórico não são utilizados quando da aplicação do conteúdo. O formalismo proposto no corpo teórico se adequa perfeitamente a estas situações facilmente solúveis com aplicações quase sempre direta de fórmulas.

Notamos que todo o conhecimento físico a ser ensinado neste capítulo se limita a aplicações deste tipo. Os elementos do mundo real_ até mesmo aqueles um pouco diferenciados do contexto escolar_ não são abarcados. O conhecimento de conteúdos de física expostos neste capítulo dos livros analisados só diz respeito à “coisas da física”.

1.3.4- ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

Apesar da diferença entre os livros L1 e L2 de modo geral podemos concluir que a forma de apresentação é a mesma e também o objetivo de ensino contido na opção dos autores. Inicialmente, ao propormos as categorias, não sabíamos quais as relações possíveis entre elas. No decorrer da análise alguns indícios se tornaram muito evidentes e nos levam a crer que em um livro didático (mesmo os “melhores”), existe uma **linha didática preferencial** na qual os conteúdos são apresentados e operacionalizados em aplicações e, uma **linha didática periférica** destinada a motivações, contextualizações, história da ciência e tópicos especiais. Podemos estabelecer então um diagrama com as relações entre as categorias, como mostra a figura I.2:



- Linha didática principal
- Linha didática periférica

Figura I.2- Preferência didática dos autores.

A **linha didática preferencial** se caracteriza totalmente voltada para representação de situações modelizadas e desenvolvimento de técnicas matemáticas que darão subsídios a resolução dos exercícios e, problemas propostos nas aplicações. Uma espécie de “vamos falar sério”. Em nenhum momento os autores resgatam os elementos de outras categorias, o que nos leva a supor que estão ali somente como um enxerto de conteúdo, fazendo parte de uma **linha didática periférica**. Portanto, nestes livros didáticos os conteúdos de ensino

e os objetivos implícitos na abordagem proposta pelos autores passam necessariamente pelos elementos da primeira linha e facultativamente pelos elementos da segunda.

Os livros didáticos utilizam situações modelizadas prontas sem tratarem o processo de modelização possível para chegar àquele modelo. Sendo assim, não fica claro trata-se de um modelo e não da realidade em si. Na verdade, a escola cria a sua própria realidade. O que é apresentado nas situações, são aplicações próprias do contexto escolar, como decorrência, os conteúdos ensinados na escola são sempre preteridos em relação a outros mais funcionais, que de certa forma dêem conta da realidade. A forma como o conteúdo é apresentado só serve para interpretar situações que dizem respeito ao “mundo da física”.

Os mesmos livros didáticos não sugerem modelos alternativos do tipo : “e se não fosse assim”. Por exemplo: “pegue um sabonete e o deixe deslizar em uma banheira”, é uma situação bem mais explorável do ponto de vista da modelização do que situações envolvendo, montanhas russas sem atrito. A ênfase dada as técnicas de resolução de exercícios é evidenciada na seguinte expressão encontrada no início da seção 8.7 do livro L1 (P. 324):

...veremos que a aplicação da conservação da energia torna mais simples a solução de alguns problemas que, se abordados de outra maneira, poderiam apresentar maiores dificuldades ao serem resolvidos.

Nossa preocupação, naturalmente, é mostrar que esta opção dos autores de livros didáticos diverge dos objetivos de uma educação para vida, ligada a construção de modelos capazes de solucionar problemas diferentes daquelas artificiais, propostos no ambiente escolar. Os livros não exigem nenhum tipo de modelização e, muito menos, servem como exemplares para situações reais. Neste sentido, quando retiramos a referência ao real contida principalmente na motivação, contextualização e história da ciência, deixando-os como elementos periféricos, fatalmente perdemos a oportunidade de propiciar momentos que envolvam processos de modelização.

Neste contexto, o PCE perde caráter **heurístico** conferido à ele pela Ciência. A visão axiomática proposta nos livros didáticos implica em quantificação de valores. As formas de energia são definidas antes do enunciado do princípio. Parece, portando, que a conservação é uma decorrência empírica. Some-se as formas de energia haverá

conservação. Todavia, isto é uma inversão histórica¹¹. Na verdade o princípio é que permite a definição de novas formas de energia. A idéia de energia só têm sentido pela conservação.

A abordagem do PCE é apresentada nos livros didáticos como técnica de resolução de exercícios. Não dá indícios de sua dimensão **heurística**, enquanto guia na construção de modelos. A precedente discussão mostrou a falta de modelos e processos de modelização exposta nos livros didáticos. Vamos evidenciar nos próximos capítulos a forma como os estudantes fazem uso PCE e quais as imbricações com a construção de modelos. Temos a noção que a abordagem dos livros didáticos contribuem para isto.

¹¹ Uma discussão histórica sobre a descoberta do PCE pode ser vista em Kuhn (1977) e Sousa Filho (1987).

CAPÍTULO II

MODELOS, MODELOS CONCEITUAIS E MODELOS MENTAIS

II.1- INTRODUÇÃO

Na esfera do conhecimento científico, a representação do mundo físico envolve a construção de sistemas conceituais que permitam compreendê-lo; isto é feito através de teorias científicas. Mas cada tentativa de passagem das teorias para a realidade ou da realidade para as teorias não acontece diretamente. A abstração das teorias e a materialidade do fato não se compatibilizam sozinhas. Nagel (1987) estabelece que uma teoria é composta por: a) um cálculo abstrato, que é a base lógica do sistema explicativo e que define as noções básicas do sistema; b) associado a um conjunto de regras que atribuem um conteúdo empírico ao cálculo abstrato; e c) um modelo interpretativo para o cálculo abstrato, que fornece, em termos de materiais visualizáveis, alguma substância à base lógica. Nesta concepção, modelos auxiliam a fazer previsões, resumir dados, explicar resultados. Eles são autênticos intermediários entre as abstrações da teoria e os dados empíricos.

Utilizar modelos se constituiu na verdadeira base do pensamento científico. Em alguns casos, teorias são forjadas a partir da descrição e exploração de um modelo. Um exemplo claro deste processo é observado na teoria cinética dos gases, onde um gás modelado em moléculas é inserido nas relações da mecânica de partículas materiais. Neste caso, a falta de conhecimento sobre os mecanismos que realmente atuam na natureza é contornada por analogia com estruturas conhecidas (Harré, 1984).

Bunge (1974) analisa a função dos modelos na constituição do conhecimento teórico das ciências. Para ele, a capacidade de produzir conhecimento teórico é uma característica da ciência desenvolvida pelas sociedades modernas, pois nas sociedades pré-industriais, crença, opinião e conhecimento pré-teórico eram suficientes. A ciência contemporânea não é somente experiência, é sim, teoria mais experiência planejada, executada e entendida à luz de teorias. O conhecimento se edifica sobre o próprio

conhecimento, ou seja, apelando-se às teorias existentes (em vários casos a matemática) constróem-se novas teorias. Não basta a mera acumulação de fatos. O essencial no trabalho científico é a formulação de hipóteses precisas que permitam a compreensão dos fatos.

Bunge define três elementos fundamentais no processo de teorização, a saber: Teoria Geral, que, pelo fato de ser geral, se aplica potencialmente a qualquer parte da realidade, mas é impotente por si só na resolução de problemas; Objeto Modelo, que se constitui em imagens conceituais e abstratas dos elementos pertencentes a um sistema real que se pretende interpretar através de uma teoria geral; Modelo Teórico (ou teoria específica), que consiste num sistema hipotético-dedutivo que concerne a um objeto-modelo e pode ser obtido pela junção de suposições específicas e subsidiárias a uma estrutura geral.

Segundo Bunge, conquistar conceitualmente a realidade começa por idealizar objetos concretos, classificando-os em grupos nos quais haja certas propriedades equivalentes ou supostamente equivalentes, criando-se *objetos-modelos*. Podemos falar assim de planetas ou metais. Porém, para que estes objetos-modelos possam ser inseridos em uma teoria, eles devem ser dotados de propriedades abstratas susceptíveis de serem tratadas pelas mesmas. Neste sentido, um planeta é modelado como uma massa pontual e um metal é modelado como uma rede cristalina. Apesar da proximidade com os elementos do mundo, objetos-modelos não permitem nenhuma operacionalização que vá além do próprio estabelecimento de semelhanças.

Para o trabalho teórico, uma lista de características atribuídas a um objeto concreto não diz muita coisa. Conforme Bunge, é necessário descrever todas estas características de forma detalhada e de acordo com as leis gerais conhecidas, construindo-se uma teoria para os objetos-modelo, isto é, um *modelo teórico*. Desta forma, O objeto-modelo passa a representar os objetos reais e o modelo teórico, o comportamento deles. Um objeto real como uma folha de papel tipo A4, modelada como um objeto retangular (objeto modelo), adquire propriedades que podem ser tratadas, por exemplo, pela geometria euclidiana. É possível determinar sua área, perímetro e as demais propriedades permitidas por esta teoria.

No caso de sistemas físicos, adiciona-se a um modelo-téorico, devido a sua estrutura lógica, a inferência de relações explicativas e preditivas. Exemplificando, uma

onda eletromagnética polarizada plana passa a ser uma representação possível do *lunar*, cujo comportamento pode ser obtido pelas relações básicas contidas na teoria eletromagnética clássica. De posse deste modelo, explicar o comportamento de tal objeto (por exemplo, a formação de halos coloridos ao passar por uma fina camada gasosa durante a noite), assim como realizar previsões (como mostrar que a luminosidade se extingue ao fazermos passar um feixe de luz por um polarizador convenientemente direcionado, ou rotacionar o plano de polarização pela aplicação de um campo magnético), torna-se tarefa possível através de relações ditadas pela teoria eletromagnética (Pietrocola, 1999).

Reconhecendo as diversas conotações do termo modelo na ciência, Kneller (1980) distingue três classes nas quais podemos incorporar as diversas acepções da palavra modelo, são elas: representacional, teórica ou imaginária.

Um *modelo representacional* é uma representação física tridimensional, como um modelo de museu do sistema solar, um avião em miniatura ou um modelo de molas representando a estrutura dos metais. Desta classe, fazem parte as analogias, que representam um objeto sem reproduzir suas propriedades, como, por exemplo, um sistema hidráulico utilizado como modelo de um circuito elétrico.

Um *modelo teórico* é um conjunto de pressupostos sobre um objeto ou sistema, geralmente expresso na forma de equações matemáticas, mas deve ser distinguido de quaisquer diagramas, desenhos ou construções físicas utilizados para ilustrá-lo. Um modelo teórico atribui ao objeto ou sistema que descreve uma estrutura ou mecanismo interno que é responsável por certas propriedades desse objeto ou sistema. Por exemplo, o modelo corpuscular da luz atribui uma estrutura particular à luz a fim de explicar propriedades como reflexão e refração. Os *modelos teóricos* são os tipos mais importantes utilizados em ciência e, em muitos casos (como os citados), representam legítimas teorias.

Um *modelo imaginário* é um conjunto de pressupostos apresentados, não com descrição plausível de um objeto ou sistema, mas com uma descrição de como o objeto ou sistema seria se fossem satisfeitas certas condições. Por exemplo, podemos imaginar um mundo governado pela mecânica relativística e descrever como ela se apresentaria a um habitante.

Parece haver um consenso que modelos são uma dimensão entre o empírico e o racional. Gilbert et. al. (2000) oferecem uma visão geral de como se estabelece a relação entre teoria e modelo:

Um modelo é uma leitura de entidades perceptíveis por intermédio das quais as abstrações da teoria talvez sejam conduzidas para suportar alguns aspectos do mundo... em uma tentativa de compreendê-lo.

Tanto em Bunge, como em Kneller, depreende-se que o processo de construção de modelos deve ser entendido como uma atividade cognitiva fundamental no cientista. Observemos, no entanto, que a construção de modelos científicos visa construir representações eficazes do mundo físico e estas representações, ao passarem por um processo de *transposição didática*, podem tornar-se objeto de ensino. No contexto escolar, professores constroem *narrativas* em torno de modelos científicos com o intuito de explicar aos estudantes diversos fenômenos do mundo físico e, conseqüentemente, através do ensino, tornar mais acuradas suas representações pessoais e privadas do mundo físico, ou seja, seus modelos mentais (Gilbert e Boulter, 1998a).

Gilbert e Boulter (1998a) fazem uma distinção de quatro tipos de modelos envolvidos no processo de ensino de ciências: *modelo mental* (representação pessoal e privada de um sistema); *modelo expresso* (uma versão do modelo mental, que é expressa pelo indivíduo através da ação, da fala ou da escrita); *modelo consensual* (um modelo expresso, que foi submetido a testes, por exemplo, pela comunidade científica); *modelo pedagógico* (um modelo construído para facilitar a compreensão de um modelo consensual).

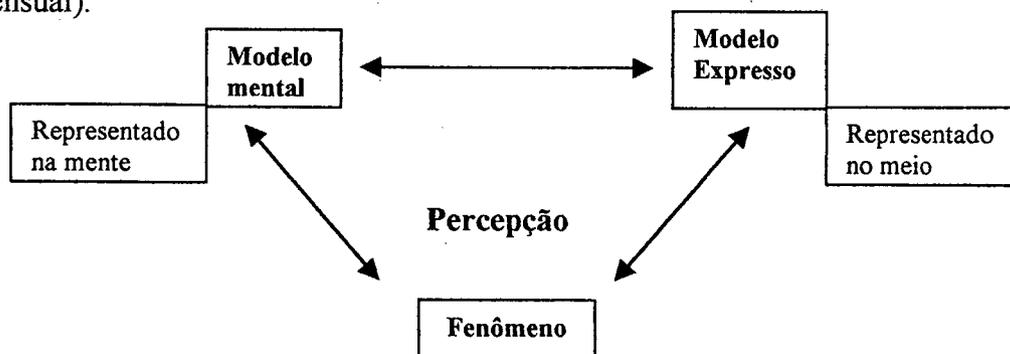


Figura II.1- Relações interativas entre modelos e fenômenos (Buckley e Boulter, 2000)

Para Buckley e Boulter (2000), os modelos mentais são usados para compreender e criar modelos expressos. Eles influenciam nossa percepção dos fenômenos, os quais, por

seu turno, influenciam nossos modelos mentais (ver figura II.1, acima). Os modelos expressos representam aspectos selecionados dos fenômenos e de nossos modelos mentais. Neste sentido, modelos são vistos também na área de ensino de Ciências como meios de representação de aspectos dos fenômenos. Queremos dizer com isso que, da mesma maneira proposta pela Ciência, os modelos são usados como intermediação entre aspectos abstratos da razão e a realidade em si.

De acordo com Norman (1983), as pessoas, ao verem o mundo, elas mesmas, ou ao usarem suas capacidades e, também, quando questionadas sobre o comportamento de sistemas físicos ou de coisas do mundo em geral, realizam conceitualizações sobre os sistemas ou coisas. Interagindo com o ambiente, com outras pessoas e com artefatos de tecnologia formam *modelos mentais* deles mesmos e dos elementos que interagem. Deste modo, os modelos mentais construídos formarão um quadro explicativo e preditivo do comportamento de sistemas físicos e coisas.

Os modelos mentais, em geral, não são precisos, porém devem ser funcionais. No processo de interação com os sistemas, um modelo mental pode evoluir, no sentido de obter um modelo mental que forneça uma explicação sobre os sistemas e uma funcionalidade mais satisfatória. Os modelos mentais têm limites circunscritos por fatores como: formação técnica, experiências prévias com sistemas similares e a própria estrutura cognitiva das pessoas (op. cit. p. 8). Neste sentido, são mais adaptados a uma interpretação dos processos mentais, pois são capazes de incluir especificidades dos objetos em questão, contrariamente às abordagens puramente cognitivistas, como a piagetiana. Por exemplo, o modelo mental sobre um circuito elétrico de um físico tem maior poder explicativo e preditivo do que o modelo mental de um electricista, por sua vez, o modelo mental do electricista é mais completo do que o de um adulto leigo, e o modelo mental de um adulto leigo produzirá informações mais coerentes que o modelo mental de uma criança.

Norman (op. cit. p.8) descreve, em linhas gerais algumas observações sobre como são os modelos mentais:

1- Modelos mentais são incompletos.

2- Pessoas têm habilidade limitada para “rodar”¹² seus modelos mentais.

¹² “Rodar” significa, em linhas gerais, fazer uma simulação mental em uma seqüência temporal de eventos.

3- Pessoas não lembram detalhes do sistema, especialmente quando estes detalhes não são utilizados por algum período. Ou seja, modelos mentais são instáveis.

4- Modelos mentais não têm limites definidos. Dispositivos similares e operações confundem-se uns com os outros.

5- Modelos mentais são “não científicos”: pessoas mantêm padrões de comportamento supersticiosos, até em situações que sabem que não é necessário, porque realizam pouco esforço físico e mental.

6- Modelos mentais são parcimoniosos: pessoas preferem esforços físicos adicionais do que planejar mentalmente determinadas ações. Poderíamos chamar de “voluntarismo da ação”.

Os modelos mentais estão contidos na cabeça das pessoas, determinando como elas explicam sistemas físicos e coisas. Entretanto, existem outras classes de modelos, em particular aqueles projetados por cientistas, professores e engenheiros. Por pertencerem a uma prática comunitária, sistemática, são consensuais e razoavelmente precisos. Por se fundamentarem em conceitos claros, são ditos modelos conceituais. São propostos como instrumento para se compreender ou ensinar um sistema físico, intermediando as interações entre as pessoas e o sistema. Boa parte do ensino científico está relacionada com a assimilação que estudantes fazem desses modelos conceituais. Uma pergunta que pode ser feita neste momento diz respeito à existência de uma relação entre modelos conceituais e modelos mentais. Diríamos que o objetivo de quem se preocupa com questões de ensino é que se estabeleça uma relação simples e direta entre ambos. Portanto, a didática, necessariamente, deveria ocupar-se com os modelos conceituais ensinados e de como os estudantes se apropriam destes modelos na construção de modelos mentais sobre um sistema físico.

Os modelos conceituais ensinados por professores representam modelos em torno dos quais existe um consenso sobre a sua aceitabilidade. Em geral, isto ocorre porque este modelo foi submetido a testes (e não foi refutado por longo período). Um exemplo disto seria a teoria cinética dos gases. Os objetivos de ensino devem levar em conta a necessidade de correspondência entre os modelos conceituais ensinados e os modelos mentais construídos por estudantes, na medida em que os modelos mentais ensinados

devem produzir as mesmas explicações sobre um sistema físico que aquelas geradas pelo modelo conceitual.

Feitas estas considerações, no processo de ensino de Ciências, um modelo conceitual é o subsídio básico na construção de modelos mentais que representem adequadamente o mundo físico. Neste sentido, Norman (ibid p. 12) sugere que os modelos conceituais devam ser aprendíveis, funcionais e utilizáveis. Um modelo conceitual não pode ser bom e ao mesmo tempo impossível de ser aprendido. Um modelo conceitual não é funcional se falhar ao explicar ou predizer aspectos importantes do sistema físico como, por exemplo, um modelo que explique a coloração de um objeto sob luz branca, mas falhe ao explicar a sua coloração sob luz azul. Finalmente, um modelo conceitual deve ser facilmente utilizado na estrutura de processamento de informação de uma pessoa, dada a sua pequena capacidade de armazenar estas informações.

No ensino de Física, devemos estar atentos à elaboração de estratégias que propiciem aos estudantes elaborarem modelos mentais mais consistentes com os modelos conceituais. Isto requer uma aproximação entre o ensino de Física e a ciência Física. Usando modelos mentais, admitimos que, do ponto de vista epistemológico, o conhecimento é estruturado em modelos. Na ciência Física, em particular, a produção do conhecimento está intimamente relacionada com a elaboração de modelos que desempenham um papel importante tanto na construção quanto na aplicação do conhecimento. Portanto, aprender Física implica saber apropriar-se de modelos conceituais e construir modelos mentais em ligação com eles. Como já dissemos, isto não é simples. Talvez, partindo da concepção científica de modelo, tenhamos um maior entendimento sobre os modelos conceituais, conseqüentemente do seu papel no ensino, e a natureza dos modelos mentais. Vale ressaltar que sempre haverá diferenças qualitativas entre os modelos científicos e os modelos mentais de cientistas ou leigos. Não obstante, existem superposições como objetos de pensar e representar o mundo.

II.2- A NOÇÃO DE MODELO MENTAL COMO REFERENCIAL TEÓRICO

A idéia de ciência, como construção humana, e a de aprendizagem de ciências, como construção de cada aprendiz, estão na base do que se chama hoje de

construtivismo¹³. A visão de ciência predominante hoje é a de construção: o homem constrói o conhecimento científico. Analogamente, a visão de aprendizagem predominante hoje é também a construtivista: o aprendiz é construtor de seu próprio conhecimento. Em ambos os casos, todavia, a construção não é um processo cumulativo, linear. Existem crises, rupturas, profundas remodelizações nestas construções. Conhecimentos cientificamente aceitos hoje poderão ser ultrapassados amanhã. A ciência é dinâmica. O conhecimento cresce e evolui não por mera acumulação, mas principalmente por reformulação do conhecimento prévio (Davis et al., 1993).

Kuhn (1987) foi um dos precursores nas críticas lançadas a correntes objetivistas de desenvolvimento da ciência, que exacerbavam a neutralidade do sujeito e o papel do teste empírico como medida de aceitação ou rejeição de teorias científicas. Para ele, o desenvolvimento da ciência ocorre em dois estágios principais: *ciência normal*, em que comunidade científica é dogmatizada pela aderência a um único *paradigma*; e *revolução científica*, em que há uma transição entre paradigmas. O estágio de revolução científica inicia-se com a identificação de *anomalias*, isto é, problemas que a comunidade científica não consegue resolver, sendo necessário reavaliar o paradigma vigente e, no limite, substituí-lo.

A evolução da ciência atravessa, com alguma freqüência, épocas de estagnação; períodos em que não há progressos significativos. Estes períodos inertes são marcados por idéias que, devido a sua grande importância e utilidade, acabam por se enraizar tão profundamente que a sua contestação passa a se tornar uma dificuldade, um obstáculo frente a uma nova realidade. “Quando se procuram as condições psicológicas do progresso da ciência, logo se chega à convicção de que é em torno de obstáculos que o problema do conhecimento científico deve ser colocado.” (Bachelard, 1996, p. 17). Os obstáculos tendem a se cristalizar e bloqueiam o conhecimento. “Um obstáculo epistemológico se incrusta no conhecimento não questionado. Hábitos intelectuais que foram úteis e sadios podem, com o tempo, entrar a pesquisa.” (Bachelard, 1996, p. 19). Existem, ao longo da história, vários momentos em que se pode perceber a resistência oriunda destes obstáculos epistemológicos. “É no âmago do próprio ato de conhecer que

¹³ Uma discussão crítica sobre a posição construtivista no ensino de ciências pode ser vista em Pietrocola (1999).

aparecem, por uma espécie de imperativo funcional, lentidões e conflitos. É aí que mostraremos causas de estagnação e até regressão, detectaremos causas de inércia às quais daremos o nome de obstáculos epistemológicos” (Bachelard, 1996, p.17).

Um exemplo bastante presente de obstáculo epistemológico é o senso comum (Bachelard,1996); idéias baseadas no mundo sensível ao indivíduo; pensamentos que podem se referir a um pequeno grupo, como a proposição “fechar a porta para o frio não entrar”, ou até mesmo, teorias que representavam a base do conhecimento científico, como a filosofia aristotélica, responsável pelo lento desenvolvimento da ciência durante muitos séculos. Percebemos que, ao longo da história, o senso comum e a intuição podem contribuir negativamente no avanço científico.

Em sua obra *La formation de l'esprit scientifique*, Gaston Bachelard apontava questões didáticas, mostrando-se surpreso pelo fato de professores de ciências não compreenderem que não se compreenda. Professores não levam em conta que os alunos trazem para a sala de aula conhecimentos empíricos já constituídos, portanto, não é necessário somente adquirir uma cultura experimental, mas sim mudar de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana (Bachelard, 1996).

As idéias construtivistas disseminaram-se muito rapidamente na área de ensino de ciências, em geral assumindo que o conhecimento não é transmitido diretamente de uma pessoa para outra, mas é construído paulatinamente por aquele que aprende (Driver ,1994). O aluno passou a não ser mais visto como “tábula rasa”, seus conhecimentos prévios, intuições e concepções de mundo passaram então a ser admitidos e valorizados. A resposta a estas afirmações começou no campo da didática com o estudo das denominadas *concepções alternativas*. Diversas pesquisas (Viennot, 1979; Saltiel e Malgrange, 1980; Zylberstajn, 1982) detectaram a existência de concepções desenvolvidas espontaneamente por estudantes a respeito do mundo físico. Estas construções formam-se a partir da interação do indivíduo com o mundo, permitindo fazer previsões e explicar inúmeros fenômenos que o cercam.

Driver (1988) argumenta que os esquemas conceituais se tornam resistentes ao ensino tradicional por apresentarem certa coerência interna e não serem simples construções para os fatos em discussão. Portanto, o processo de aprendizagem está

associado à estruturação de esquemas conceituais construídos a partir de noções intuitivas iniciais.

Astolfi (1993) afirma que estes conceitos possuem um *status* de explicação funcional, ou seja, são formas de conhecimento construído há muito tempo que explicam de maneira coerente os fenômenos científicos. Encontramos aí a existência de uma resistência ao ensino, a substituição de uma representação que “funciona” por outra cientificamente correta. O conhecimento científico aprendido pelos estudantes parece incapaz de operar sobre diversas situações a seu redor, já que aprender ciências implica assimilar conhecimentos que inibem, desestabilizam os conhecimentos do senso comum.

Os resultados obtidos por estas pesquisas contribuíram significativamente para o campo da didática das ciências, providenciando um amplo mapeamento sobre o raciocínio intuitivo dos estudantes nesta área. Contudo, limitaram-se a apontar os erros dos estudantes com descrições do tipo “*estudantes pensam que...*”. Dizer que os alunos não têm modelos newtonianos ou concebem energia como substância não parece muito relevante como via que permita a realização de estratégias didáticas para o ensino de ciências. Levando isto em conta, passou-se a procurar meios de promover nos estudantes a passagem de concepções alternativas, baseadas no senso comum, a um raciocínio calcado no conhecimento científico, culminando na *teoria de mudança conceitual*.

Para Posner et al. (1982), muitas vezes os conceitos preexistentes dos alunos são inadequados para permitir captar novos conceitos satisfatoriamente, sendo necessário trocar ou reorganizar seus (dos alunos) conceitos centrais. A esta forma de *mudança conceitual* denominam *acomodação*. Algumas condições de grande importância devem cumprir-se antes que se suceda uma acomodação: deve existir insatisfação com as concepções existentes, uma nova concepção deve ser inteligível, uma nova concepção deve aparecer como verossímil inicialmente, um novo conceito deve oferecer a possibilidade de estender-se, de abrir novas áreas de aplicação. Desta forma, a acomodação para os alunos deve acontecer gradualmente, um primeiro passo pode ser a aceitação de algumas afirmações, modificando algumas idéias, ao dar-se conta da maior abrangência e significado dos novos conceitos; um processo cujo resultado é a reorganização dos próprios conceitos centrais.

A suposição fundamental incorporada a este programa de pesquisa que seria possível, e até mesmo com facilidade, substituir as concepções alternativas dos estudantes por conhecimentos científicos, mostrou-se frágil. Resultados eminentemente moderados para suas aspirações informam que a mudança conceitual não era simples de ocorrer e deveria ser pensada de outra forma. Seria mais como evolução conceitual do que como substituição de concepções. Não obstante, foram estes resultados que levaram à busca de novos referências teóricas, convergindo para os *modelos mentais*. Os modelos mentais deram uma nova partida às pesquisas em concepções alternativas, possibilitando discutir como as pessoas constroem representações sobre o mundo. Com efeito, a evolução conceitual pode ser interpretada como passagem para modelos mentais mais elaborados, enriquecidos com adição de informações (instrução formal também) aos modelos pré-existentes e, ainda, redefinindo pressupostos, crenças individuais ou a estrutura relacional do modelo (Moreira, 1997).

Os modelos mentais são representações dinâmicas e generativas que podem ser manipuladas mentalmente para promover explicações causais de fenômenos físicos e fazer previsões sobre estados de coisas do mundo físico. Muitos modelos mentais são episódicos para resolver situações específicas. Entretanto, alguns modelos mentais, ou parte deles, são armazenados como estruturas que podem ser recuperadas (Vosniadou, apud Moreira 1997). Há consensos sobre a idéia de que pessoas pensam utilizando modelos mentais e, por conseguinte, qualquer análise sobre suas conceitualizações deve envolver as internalizações que elas fazem do mundo. Ao formarem modelos mentais do mundo físico, os estudantes estabelecem primeiramente uma relação direta e sensorial. Posteriormente, as relações com o mundo se complexificam, por consequência da instrução formal. Pela via direta, em geral, acabam sendo formadas concepções que divergem daquelas propostas pelo ensino formal. Com a instrução formal, são agrupadas novas informações aos modelos mentais anteriores, tornando-os mais coerentes e explicativos.

Contudo, ainda não existe uma fronteira bem demarcada entre o movimento das concepções alternativas e o movimento dos modelos mentais. Ao nosso ver, a melhor distinção é entre *forma* e *conteúdo*. No estudo das concepções alternativas, os pesquisadores tem focalizado o *conteúdo* das representações dos estudantes. Já na perspectiva dos modelos mentais, a lógica e a estrutura das concepções alternativas são inferidas (Thijs e Berg, 1995). Mais do que descrever os conteúdos das representações dos

estudantes, é interessante ao pesquisador compreender como os estudantes estruturam o raciocínio. Porém, não se pode inferir se é possível separar forma e conteúdo, muitas vezes dentro dos conteúdos padrões aparecem.

II.3- AS TRADIÇÕES DE GENTNER E STEVENS E DE JONHSON-LAIRD

Apesar do uso corrente, o conceito de modelo mental não é empregado de forma consensual (Krapas et.al., 1997). Isto se deve em parte ao fato do lançamento no mesmo ano de dois livros denominados modelos mentais. Um deles, editado por Gentner e Stevens (1983), onde encontramos uma série de artigos resultantes de um Workshop sobre o assunto. Entretanto, no decorrer do livro, não encontramos uma definição precisa do termo, nos trabalhos relativos à interação entre pessoas e dispositivos ou sistemas físicos. O outro, escrito por Jonhson-Laird (1983), define o termo modelo mental ao explicar o raciocínio dedutivo e a compreensão de texto.

Inseridos na tradição definida pelo livro de Gentner e Stevens, de Kleer e Brow (1983) desenvolvem a idéia do modelo de como pessoas compreendem dispositivos físicos, tais como, máquinas, equipamentos eletrônicos e hidráulicos. Eles organizam uma estrutura, denominada *modelos mentais mecânicos*, desenvolvendo a noção de simulação qualitativa para investigar os modelos mentais sobre dispositivos físicos, e avançam na idéia intuitiva de que as pessoas podem simular sistemas com os “olhos da mente”. Tal simulação consiste em “rodar” o modelo para “ver” o que acontece.

No processo de simulação qualitativa, dispositivos complexos, máquinas e sistemas físicos podem ser compreendidos se soubermos o comportamento e a combinação individual dos componentes que os constituem. Assim, é possível apresentar os eventos importantes no entendimento do sistema em sua ordem causal, bem como, descrever qualitativamente elementos importantes na operação do sistema. Evidentemente, distinguimos duas etapas neste processo, uma realizada para representar o sistema e outra responsável pela simulação propriamente dita de como o dispositivo funciona. Ambas as etapas e suas imbricações tornam possível a compreensão do modelo mental mecânico.

Para a compreensão do raciocínio qualitativo, de Kleer e Brow (op. cit. p. 158) introduzem quatro noções básicas:

- **topologia do dispositivo**→ representa a estrutura do dispositivo , ou seja, a organização física de seus componentes.
- **visionamento**→ representa como os elementos da topologia podem trabalhar, isso significa quais são as suas funções dentro do dispositivo.
- **modelo causal**→ descreve o funcionamento do dispositivo. Quer dizer, o comportamento do dispositivo pode ser explicado como sendo resultado do comportamento dos componentes constituintes em termos de interações causais entre os mesmos.
- **rodagem**→ consiste em executar o modelo causal para obter as condições de um estado específico, sendo estas condições estabelecidas por uma série de eventos relacionados em uma ordem causal.

Idealmente, um modelo causal deve ser *consistente, correspondente e robusto*. Um modelo causal consistente é livre de contradições internas: dois componentes não podem associar valores diferentes ao mesmo atributo em um mesmo estado do dispositivo. A correspondência especifica que um modelo causal deva reproduzir fielmente o comportamento real do dispositivo; decorre que o comportamento descrito no modelo causal deva corresponder ao observado. O critério robustez exige que o modelo causal se aplique a situações em que sejam introduzidas perturbações, ajuste-se ao imprevisível, como a retirada de um dos componentes. Neste caso, são necessárias previsões acerca do comportamento global do dispositivo que devem corresponder a esta falta. Isto pode ser assegurado se tivermos os próprios modelos de componentes robustos (p.168).

Explicações sobre o funcionamento de um sistema são relatadas em termos de ações e efeitos verificados no sistema real e simulados mentalmente no modelo. Não havendo correspondência entre os resultados simulados e o funcionamento real, o processo é repetido. Aparentemente ingênua, a idéia de modelo mental concebida por de Kleer e Brown possui critérios rígidos que restringem a validade do modelo (consistência, correspondência, robustez). Por sua vez, estes critérios podem determinar a complexidade do modelo. Um modelo mais complexo necessariamente exige o entendimento sobre constituintes mais internos ao sistema, por outro lado, ganha em poder explicativo. No processo de simulação mental, o modelo causal pode partir de alguns dados de entrada fazer inferências sobre estados passados e determinar estados futuros do sistema, isto é,

previsões. Estas previsões servem de realimentação para o modelo mental, regidas pelo critério de correspondência.

Nesta mesma tradição, Williams, Hollan e Stevens (1983) assumem que os modelos mentais são compostos de *objetos autônomos* associados em uma certa topologia, são “rodáveis”, por intermédio de inferências qualitativas, e podem ser decompostos. Para eles, a noção de objetos autônomos é central, visto que um objeto autônomo é um objeto mental com uma representação explicitada no sistema, no qual as conexões topológicas com outros objetos também são explicitadas por um conjunto de parâmetros internos. Associados aos objetos autônomos, existem um conjunto de regras que modifica estes parâmetros e especifica o comportamento dos objetos. Os autores afirmam que a noção de objeto autônomo é proveniente da tentativa de capturar intenções diárias sobre objetos do mundo real. Consideram a idéia de que objetos levam seus mecanismos para responder ao mundo completamente internos e que objetos respondem a algumas condições externas e estas podem ser atribuídas de forma a modificar os parâmetros internos de outros objetos. Focalizam sua pesquisa no uso que pessoas fazem de modelos mentais para produzir explicações ou justificações.

Neste sentido, um modelo mental é formado por um conjunto de objetos autônomos conectados. Simular o sistema usando um modelo mental corresponde a modificar os parâmetros do modelo por propagação de informação, usando regras internas e topologia específica. No trocador de calor proposto pelos autores (p. 134), uma região de fluido pode representar um objeto autônomo e ter como parâmetro a temperatura, descrita qualitativamente assumindo quatro valores (aumentando, diminuindo, constante ou indeterminado). A mudança no valor dos parâmetros dá a sensação de “rodar” bem presente na descrição de sistemas

Numa abordagem diferente, Jonhson-Laird (apud Moreira 1997) distingue três tipos de representações mentais: *proposições*, que são cadeias de símbolos verbalmente expressáveis; *imagens*, que são representações específicas de um evento ou objeto em particular; *modelo mental*, que é uma representação interna de informações que corresponde analogamente com aquilo que está sendo representado. Os Modelos mentais podem conter proposições, sendo interpretadas como falsas ou verdadeiras em relação a um dado modelo mental. As imagens são vistas particulares de um modelo. Modelos

mentais são compostos por *elementos* ('tokens') e *relações* que representam um estado específico de eventos ou coisas. Esses elementos formam uma espécie de receptores de informação, inseridos em estruturas que designam como deverão operar. Conforme Johnson-Laird, construímos modelos mentais acerca de eventos e raciocinamos com eles. Johnson-Laird sugere que as pessoas raciocinam com modelos mentais que são como blocos cognitivos, podendo ser combinados e recombinaados de acordo com a necessidade. Como resultado, eles capacitam as pessoas a fazerem predições e inferências, a compreenderem fenômenos e eventos, a atribuírem causalidade aos eventos observados, a tomarem decisões e a controlarem a execução das mesmas.

O conceito de modelo mental envolve uma série de pressupostos e diversidade de uso, cabendo, portanto, ressaltarmos algumas distinções importantes entre as duas tradições. Por exemplo, Borges (1998) descreve o modelo das concepções de modelo mental de Payne (1992). Essa representação pode ser imaginada com uma série de círculos circunscritos, onde os círculos exteriores compartilham os mesmos pressupostos dos interiores e acrescentam outros. No núcleo deste esquema, encontramos a concepção de modelo mental que o comportamento de uma pessoa pode ser explicado em termos do conteúdo de sua mente, ou seja, em termos de conhecimentos e crenças explicitados, independente dos mecanismos mentais (círculo I, figura II.2) Neste nível estão incluídos diversos capítulos do livro de Gentner e Stevens (1983) e os trabalhos sobre concepções alternativas. Neles, as analogias têm um papel preponderante, na medida em que os modelos mentais são construídos por analogias com sistemas familiares.

No círculo seguinte, acrescenta-se que os modelos mentais podem ser simulados mentalmente, possibilitando inferências como explicações e previsões sobre o comportamento de sistemas físicos (círculo II, figura II.2). O modelo mental mecanístico de de Kleer e Brown (1983) e o modelo mental de Williams et. al. (1983) adotam este pressuposto, uma vez que estes modelos são "rodáveis", permitindo, a partir de proposições iniciais, explicar as sucessivas transformações até um estado final. Com base na observação da estrutura e composição do sistema, é possível explicar seu funcionamento. Logo, um modelo mental, nesta visão, pode ser rodado na mente de uma pessoa, e o conhecimento dos componentes do sistema e a forma de conexão entre eles contribuem para o resultado.

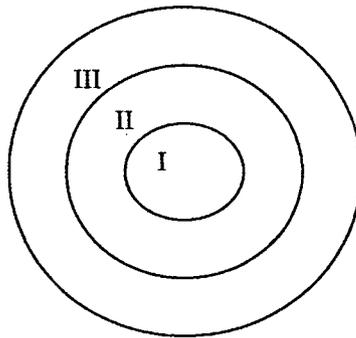


Figura II.2- Um modelo das concepções de modelo mental (Borges, 1998).

No círculo mais externo, encontramos a concepção de Jonhson-Laird, que supõe que os modelos mentais são estruturalmente análogos aos sistemas que eles representam e que os mesmos tipos de modelos podem ser construídos através da percepção, da imaginação ou da leitura (círculo III, figura II.2).

Brewer (1987, 1999) faz uma outra distinção importante entre os modelos mentais contidos nos livros de Gentner e Stevens e Jonhson-Laird. Segundo ele, os modelos mentais, na concepção de Jonhson-Laird, são estruturas específicas construídas quando uma pessoa necessita delas, sendo ulteriormente necessários novos modelos para produzir novas representações. A natureza específica deste modelo mental é consistente com representações de arranjos espaciais desconhecidos como uma casa ou lugar. Já os modelos mentais de Gentner e Stevens procuram enfatizar a generalidade das representações cognitivas e sua durabilidade, o que se adequa com nossa intenção de fornecer, via instrução, a aquisição de modelos conceituais balizadores na construção de modelos mentais.

Pessoas vêem o mundo e procuram representá-lo utilizando-se dos seus conhecimentos prévios e de suas intuições. Os trabalhos sobre concepções alternativas mostraram que o senso comum luta contra os conceitos científicos que, desejamos, sejam adquiridos pelos nossos estudantes, ou seja, o conhecimento científico muitas vezes é preterido em relação ao conhecimento do senso comum. Por outro lado, existem preocupações de como estudantes lidam com os conceitos científicos, em especial, diríamos, com a área mental destinada à estruturação e maturação de conceitos científicos, ao contrário das estruturas mais gerais.

Larkin (1983) compara como *experts* e *novatos* praticam representações de um domínio ao qual estão tentando resolver problemas. Ela demonstra que os dois grupos diferem na precisão e velocidade das respostas das soluções e traça estas diferenças no caminho no qual seus sujeitos abordam cognitivamente estes problemas. Os novatos tem uma *representação mental ingênua* dos problemas. Esta representação é um modelo mental rodável da situação problema real, composta de objetos que existem no mundo real (blocos, molas, corda) e desenvolvida com operadores que correspondem ao desenvolvimento em tempo real. Os experts adicionam a estas representações a habilidade de construir *representações físicas* que contêm entidades imaginárias como força e momento. Um expert tem um segundo modelo mental da situação problema, com atributos altamente poderosos, envolvendo operadores que correspondem a leis físicas.

Segundo Nersessian (1995), a forma como os “experts” abordam problemas novos está ligada à capacidade deles em trabalhar com modelos mentais genéricos. Para ela, uma aproximação entre as práticas do pensamento dos cientistas e a forma como os estudantes novatos de física resolvem problemas resultaria em estratégias pedagógicas mais eficientes. Neste sentido, situações pedagógicas seriam mais efetivas se permitissem aos estudantes pensarem e praticarem a modelagem de forma semelhante aos cientistas. Para ela, uma forma de promover esta aproximação é através da *modelagem construtiva*, que pode ser entendida como “*um processo de raciocínio integrador que emprega modelagem visual e analógica e experiências de pensamento, criando e transformando representações informais dos problemas*”.

Percebemos claramente a existência de diferenças entre um expert e um novato. No entanto, este não é o ponto central que nos interessa. Para além disto, na didática, é importante saber como pessoas operam com conceitos científicos e também como assimilam novos conceitos deste tipo em suas estruturas cognitivas. Desta forma, uma definição de modelo mental adequada deve se adaptar a esta necessidade, permitindo uma descrição satisfatória dos procedimentos empregados por pessoas ao se defrontarem com um sistema físico, procurando fornecer uma explicação. Esta restrição do domínio de estudo aparece na tradição de Gentner e Stevens (1983):

Nós precisamos escolher domínios nos quais existam algum conhecimento normativo que sejam relativamente fáceis de detalhar explicitamente.

Portanto, a pesquisa em modelos mentais focaliza sistemas físicos ou dispositivos (...). a razão pela qual a pesquisa em modelos mentais tem focalizado aparentemente domínios técnicos é precisamente porque estes domínios têm se demonstrado mais tratáveis para cientistas físicos... [eles] são os únicos para os quais existem os melhores modelos normativos explícitos.(Gentner e Stevens, 1983, p.2).

Tratar o domínio da física clássica, por exemplo, parece mais simples do que discutir laços de amizade. Estudar como um novato adquire competência para explicar sistemas físicos é mais facilmente acessível do que um domínio como as relações interpessoais. Queremos afirmar, com isto, que uma definição de modelo mental suficientemente rica para o nosso tema deve, de alguma forma, aproximar-se da idéia de modelo proposta na discussão epistemológica da ciência. Em primeiro lugar, pela essência do conceito de modelo como um meio de facilitar a compreensão de elementos do mundo físico e prover explicações sobre estes elementos. Em segundo lugar, pela estrutura detalhada fornecida quando da elaboração de um modelo científico, pela qual é possível vislumbrar uma certa comparação entre a forma de construção dos modelos científicos e modelos mentais dos estudantes. Por último, porém não menos importante, voltamos à questão do esforço didático e verificamos que, no ensino de Física, a pretensão de enriquecer os modelos mentais dos estudantes com modelos conceituais faz emergir fatalmente o entendimento de como estes conceitos são fixados nas suas estruturas cognitivas. Assumindo esta posição, um conceito de modelo mental adequado deve possuir afinidades com a forma de raciocínio sobre conceitos científicos.

Respeitando o compromisso com a ciência, devemos acentuar um dos motivos que torna razoável a adoção de modelos mentais no contexto educacional: as *explicações*. Qualquer noção de modelo mental adequada deve levar em conta características envolvendo uma compreensão efetiva dos procedimentos empregados pelos indivíduos nas explicações de sistemas físicos. Caso contrário, novamente teremos um referencial frágil como aquele das concepções alternativas (ver Duschl, 1994, p.206).

II.4- MODELOS MENTAIS: ESTRUTURAS CONCEITUAIS EXPLICATIVAS

Brewer (1999) argumenta que na filosofia da ciência, para os chamados positivistas e formalistas, teorias científicas são melhor interpretadas com sistemas formais ou estruturas hipotético-dedutivas, enquanto os modelos são importantes na psicologia do cientista, não tendo papel na estrutura das teorias científicas. Já os “amigos dos modelos”¹⁴ defendem que os modelos são utilizados pelos cientistas para construir conhecimento, não apenas como elemento psicológico, mas como parte intrínseca das teorias, na forma de entidades relacionadas com o real ou outras entidades hipotéticas. Isto porque modelos possibilitem às teorias explicar fenômenos, estender-se a um novo campo de fenômenos, providenciar relatos intelectuais satisfatórios dos fenômenos observados.

De acordo com Brewer, os filósofos a favor dos modelos não têm clareza sobre o estatuto ontológico dos modelos. Por exemplo, Harré (1970) refere que os modelos são representados em termos de imagens visuais. Mackinnon (1975) descreve os modelos como formas de representações conceituais com regras de inferência e não meras imagens. Hesse (1963) critica a interpretação de modelos em termos de imagens e estabelece que um modelo é um sistema edificável, moldável, imaginável, mas que, principalmente, torna a teoria preditiva. Embora haja dificuldade neste ponto, para muitos filósofos, é o modelo implícito que dá à teoria o poder para explicar o fenômeno, tendo em vista o objetivo geral da ciência de providenciar explicações do mundo natural (Meyerson, apud Cupani e Pietrocola, 2002). Os modelos são teorias tanto para alguns campos da ciência (teoria cinética dos gases, hélice dupla, placas tectônicas), bem como para algumas teorias físico-matemáticas.

Existem diferentes modos de informação no mundo (espacial, mecânica/causal, intencional) e isto merece diversificados modos de representações mentais para um relato adequado destas informações. As quatro principais formas de representação recentemente mais discutidas na psicologia cognitiva são, segundo Brewer (1999): imagens, esquemas, modelos mentais e teorias ingênuas. Na discussão entre modelos versus teorias na filosofia da ciência, alguns assumem que modelos são representados em termos de imagens visuais mentais. Para Brewer, simples imagens na cabeça não são capazes de dar conta sozinhas da riqueza conceitual das teorias. Teorias são mais do que imagens. O mesmo acontece com os esquemas, que são estruturas de dados para representar conceitos genéricos gravados na memória. Os esquemas representam formas genéricas de conhecimento, contudo têm sido

¹⁴ Expressão utilizada por Brewer (1999)

tradicionalmente, dentro da filosofia da ciência, utilizados para distinguir leis (generalizações empíricas universais) de teorias (estruturas que providenciam explicações). Neste caso, os esquemas são formas de representações mentais apropriadas para um relato sobre leis na psicologia da ciência, e sobre generalizações empíricas em não cientistas, não servindo como representação mental de teorias.

Com relação aos modelos mentais, Brewer analisa as tradições de Jonhson-Laird e Gentner e Stevens. Para ele, pesquisadores da tradição de Gentner e Stevens, apesar de não deixarem uma definição aparente de modelo mental, é possível verificar nas suas afirmações as suas intenções. Por exemplo, Normam (1983) menciona que *“na interação com ambiente, com outros e com artefatos da tecnologia, pessoas formam internamente, modelos mentais deles mesmos e das coisas com as quais estão interagindo”*. Collins (1985) enfatiza que *“modelos mentais são significativos para implicar uma representação conceitual que é qualitativa, e que você pode rodar com os olhos da mente para ver o que está acontecendo”*. Brewer deixa claro que a existência de uma primeira aproximação entre os modelos mentais desta tradição e os modelos da filosofia da ciência reside no fato de que o foco desta tradição é similar ao dos cientistas que os amigos dos modelos usam como exemplo. Uma aproximação argumentada e de interesse particular neste estudo diz respeito ao fato de que modelos mentais são utilizados para explicar sistemas físicos. De Kleer e Brow (1981) sugerem que modelos mentais de sistemas mecânicos são *“extremamente usados para construir modelos causais de como e por que o sistema funciona”*. Williams, Hollan e Stevens (1983) salientam que os modelos mentais *“são usados para produzir explicações ou justificações”*. Tendo em vista a similaridade entre os modelos causais desta tradição e os modelos discutidos na filosofia da ciência, Brewer considera os modelos mentais como uma subclasse de teorias.

Teorias como forma de representação mental apresentam como ponto central a construção de explicações. São estruturas mentais que incluem entidades teóricas não observáveis, relações entre estas entidades e relações entre estas entidades teóricas e fenômenos de algum domínio. O papel fundamental das teorias é explicar alguns ou todos os fenômenos neste domínio. Embora existam outras características atribuídas às teorias, como, por exemplo, as previsões, Brewer ressalta que elas não são suficientes para entender as teorias como forma de representação mental. Isto porque esquemas e modelos

episódicos (modelos mentais no sentido de Jonhson-Laird) também providenciam previsões.

Neste sentido, os modelos mentais entendidos como subclasses de teorias contêm estrutura explanatória causal/mecânica e permitem compreender porque na filosofia da ciência, os amigos dos modelos afirmam que modelos são teorias. Também pode-se daí entender a restrição alegada por Gentner e Stevens de que os trabalhos em modelos mentais estudam sistemas físicos ou dispositivos. A reivindicação de diversos pesquisadores desta tradição que estes modelos providenciam explicações fica também justificada.

Brewer et al. (1998) admitem que não é simples definir uma explicação, porém concluem que ela é um relato que providencia uma estrutura conceitual para um fenômeno (fato, lei ou teoria) que leva a um *sentimento de entendimento* no leitor/ouvinte. Estas estruturas conceituais vão além do fenômeno original, integrando diversos aspectos do mundo, e mostram como o fenômeno original pode ser explicado pela estrutura. As estruturas conceituais usualmente utilizadas para dar explicações são: causal/mecânica, funcional e intencional. Explicações que as pessoas dão diariamente devem colocar os fenômenos em alguma grande estrutura conceitual. Por exemplo, se alguém pergunta “por que um balão se expande quando colocado no sol?”, respostas do tipo “vejo ele crescer” ou “eu gosto de balões” não colocam o fenômeno em grandes estruturas conceituais, portanto, não constituem explicações. Uma explicação típica seria “ele contém gás e os gases se expandem quando aquecidos”. Colocando o fenômeno em uma grande estrutura conceitual, a pessoa questionada a respeito de outro balão colocado no mesmo local pode inferir que o balão tenha o mesmo comportamento, expandindo-se ou contraindo-se ou até mesmo ficando do mesmo tamanho. Explicações deste tipo seguem, em geral, uma seqüência causal de eventos. A explicação pode evoluir integrando diversos fenômenos: é possível conceber a idéia de que existe uma grande quantidade de partículas pequenas que se chocam contra as paredes elásticas do balão e que são providenciados choques mais violentos na medida em que o balão se aquece, causando sua expansão. Com esta explicação, é possível ter o sentimento de entendimento do porquê um carro não se expande ou se contrai quando exposto ao vento.

O sentimento de entendimento não se constrói ao acaso, são necessários esforços tanto didáticos como pessoais. Os modelos mentais gerenciam as formas pelas quais este sentimento pode ser adquirido, pois na sua formação estão inseridas as estruturas conceituais supracitadas. Na legitimação destes modelos mentais, entram em jogo conceitos, leis, mas também os princípios.

Parece-nos razoável a adoção de modelos mentais como ferramenta de análise das representações dos estudantes do ensino médio. Como vimos, os últimos parágrafos dão sustentação aos pontos que nos propomos a reforçar, na medida em que os argumentos expostos aproximam da epistemologia e da psicologia cognitiva, além de providenciar a ponte necessária para conectarmos estes dois mundos. O intento da ciência Física é providenciar explicações sobre o mundo físico através dos modelos científicos (teorias gerais sozinhas não fazem referência ao real, ver Bunge). Esta não é a forma como os modelos têm sido tratados no ensino médio. Ao nosso ver, os modelos pedagógicos apresentados na escola devem ser, sobretudo, fontes de explicações sobre o mundo físico. Por mundo físico entendemos a conjunção do “mundo físico escolar” e o mundo físico cotidiano. Esta reflexão conduz a questionar novamente o papel do ensino de Física. Fechamos o ciclo anteriormente explanado (implicitamente) afirmando que os modelos conceituais são as jazidas nas quais os estudantes devem realimentar suas fontes de explicações, ou melhor, seus modelos mentais.

Por que insistimos em enfatizar o caráter explicativo dos modelos mentais? Certamente porque esta função está relacionada com a elaboração do pensamento. Obviamente, uma estruturação coerente entre relações do fenômeno a ser explicado e a bagagem conceitual adquirida no ensino formal. Na investigação científica, uma das motivações fundamentais do homem, reside simplesmente em sua curiosidade intelectual, em seu desejo profundo e persistente de chegar a conhecer e compreender o mundo que habita (Hempel, 1979). Conhecimento e compreensão, na didática, são os produtos do ensino, operacionalmente materializados nas explicações que os estudantes promovem a respeito do mundo. Em suma, um modelo mental eficiente dá a satisfação de dominar (no sentido positivo) os aspectos importantes do mundo físico, na medida em que permite explicar, por exemplo, desde aquela massacrada dispersão da luz branca em um livro didático até um belo arco-íris . Nesta visão mais abrangente, explicar um mundo que passa

pelo mundo do livro didático mais vai muito além dele (Pietrocola, 2001). Neste sentido, carecemos de um esclarecimento melhor do que é uma explicação.

II.5- MODELO MENTAIS E PRINCÍPIOS

Compreender como os estudantes pensam é uma tarefa difícil. As propostas de modelos mentais apresentadas, se levadas a rigor, não permitem ao pesquisador muitas ações concretas no contexto de ensino, pois este insere-se num contexto complexo. Isto traz à tona algumas considerações e restrições em relação à concepção de modelo mental a ser adotada neste trabalho. Seria interessante, do ponto de vista didático, utilizar toda riqueza do modelo mental nos sentidos apresentados? Parece-nos que não. Na medida em que elas tratam de como as pessoas representam o mundo de forma geral, ele se torna menos adequado a abordagens de domínios restritos como as representações de sistemas físicos. O conteúdo científico visa construir representações teóricas do mundo, sobretudo, de como explicar situações físicas através dos modelos.

Uma definição generalizada de modelo mental possibilita, de certa maneira, interpretar como os estudantes pensam. Todavia, não faz parte dos objetivos deste trabalho observar toda a complexidade da estruturação cognitiva. A ciência possui guias gerais para a estruturação do conhecimento. Procuraremos saber se no ensino médio tais guias aparecem como resultado de uma ação didático-pedagógica. Com certeza, tal função não deve estar alojada nas estruturas próprias do pensar. Por outro lado, uma análise conteudista nos moldes das concepções alternativas seria estéril. Pretendemos compreender como os estudantes fazem uso do PCE no contexto extra-escolar. Assim, a análise merece a adoção de categorias mais amplas.

Os modelos mentais, na concepção adotada por nós, admitem explicações em termos causais, o que não parece pejorativo na busca do sentimento de entendimento. No entanto, explicações causais podem incorrer em erros se não tiverem guias que permitem qualificar ou restringir os modelos mentais gerados. Estudantes, em geral, utilizam estruturas causais e seu desenvolvimento no tempo, e isto parece arraigado de uma forma inexpurgável de suas estruturas cognitivas.

Por conseguinte, existe um contraste (no sentido de o outro lado da moeda) com o raciocínio em termos de regularidades, ou seja, grandezas que permanecem imutáveis no tempo. Em outras palavras, os nossos princípios são os guias que devem ser examinados, já que são eles que delimitam a “tempestade” de modelos mentais possíveis, evidenciando o que *permanece na mudança*.

CAPÍTULO III

METODOLOGIA E RESULTADOS

III.1- INTRODUÇÃO

Nossa pesquisa visa compreender como os estudantes fazem uso do PCE na construção de representações sobre situações físicas. No ensino, uma questão crucial envolve o entendimento de como atividades de modelização podem ou não se valer do conhecimento científico. Tal concepção leva em consideração a forma pela qual estudantes incorporam o PCE, e fazem uso dele fora de contextos escolares, enfatizando um procedimento prioritário em relação à apresentação e utilização de modelos.

Estamos interessados em investigar como os modelos gerados por estudantes explicam situações físicas. Para tanto, partimos da premissa que seja possível a explicitação de modelos oralmente ou através de representações gráficas. Os modelos gerados por estudantes refletem sua carga de conhecimento pessoal, suas representações do mundo físico e são diretamente influenciados pelo contexto no qual se inserem. Portanto, o procedimento metodológico adotado na pesquisa deverá contemplar estes aspectos. Neste sentido, discutiremos a seguir dois possíveis procedimentos metodológicos, a saber: *Normativo* e *Naturalista*, e indicaremos o porquê da escolha do segundo.

Com relação ao procedimento normativo, Parlett e Hamilton (1982) esclarecem suas estratégias, focos de atenção e pressupostos. Segundo eles, pesquisas deste tipo utilizam metodologia hipotético-dedutiva, calcada na tradição psicológica experimentalista e psicométrica. Este tipo de pesquisa ocorre sobre uma grande amostra e busca generalizações estatísticas formais _dada a massa de dados_ a partir de um fenômeno educacional específico. Assim, perturbações locais e efeitos incomuns não são levados em consideração, apesar do significado relevante para pessoas e instituições interessadas.

Acreditava-se, com este tipo de pesquisa, ser possível decompor o fenômeno educacional em suas variáveis básicas, onde um estudo quantitativo levaria ao conhecimento total destes fenômenos. Naturalmente, restringe-se a inclusão de qualquer

variável que não possa ser operacionalizada e descarta-se a possibilidade de análise de quaisquer variáveis que se fundamentem em descrições e interpretações subjetivas. Lüdke e André (1986, p.5) comentam:

O conceito de causalidade, que apontava para a busca de um fluxo linear entre variáveis independentes e dependentes, também não responde à percepção do pesquisador atual, atenta a complexidade da teia quase inextricável de variáveis que agem no campo educacional. Em vez da ação de uma variável independente, produzindo um efeito sobre uma variável dependente. O que ocorre em educação é, em geral, a múltipla ação de inúmeras variáveis agindo e interagindo ao mesmo tempo. Ao tentar isolar alguma destas variáveis está-se optando, necessariamente, por uma redução do enfoque do estudo a uma parte do fenômeno.

Moreira (1997) aponta duas das principais dificuldades metodológicas na pesquisa sobre os modelos mentais de estudantes. A primeira diz respeito às crenças que cada indivíduo tem em certas coisas, e que nem sempre são corroboradas em seus procedimentos, aliada ao fator dissimulação, ou seja, a resposta dada ao pesquisador pode ser meramente uma proposição criada naquele momento para aquela situação. Na segunda, apóia-se em Norman (1983) ao dizer que não adianta buscarmos modelos mentais claros, nítidos, elegantes, pois os modelos que as pessoas têm de fato são estruturas confusas, mal feitas, incompletas e difusas.

Apesar destas dificuldades, a análise de protocolos e o uso de informações verbais têm sido as técnicas mais utilizadas nestas pesquisas. Nesta direção, uma metodologia embasada no *paradigma normativo* mostra-se inadequada e insuficiente para o tema dos *modelos*. Como afirmam Gilbert e Boulter (1998), estudantes produzem representações pessoais e privadas que podem ser expressas através da ação, da fala ou da escrita. Isso nos leva a buscar uma metodologia que se adequa à natureza subjetiva da análise dos modelos. Optamos, então, pelo *paradigma naturalista*.

A partir da crítica ao *paradigma normativo*, Parlett e Hamilton (1982) propõem um novo procedimento de análise do fenômeno educacional, denominado "*avaliação iluminativa*", fundamentada no *paradigma "sócio-antropológico"*. Outros autores, como Stake (1983), denominam este procedimento metodológico de "pesquisa qualitativa ou

naturalista”, ou simplesmente pesquisa qualitativa, como Lüdke e André (1986). Uma das características marcantes da pesquisa naturalista ou qualitativa é ter o ambiente natural como sua fonte direta de dados e o pesquisador como seu principal instrumento.

Para Bogdan e Biklen (apud Lüdke & André, 1986), a pesquisa qualitativa supõe o contato direto e prolongado com o ambiente e a situação que está sendo investigada, geralmente através de um trabalho de campo. Para eles, todo estudo qualitativo pode ser entendido como *naturalista*, que se caracteriza por ser realizado no ambiente natural onde os problemas acontecem e sem qualquer manipulação intencional do pesquisador. Em resumo, na versão deles, a pesquisa qualitativa envolve a obtenção de dados descritivos obtidos no contato direto do pesquisador com a situação estudada, enfatiza mais o processo que o produto e se preocupa em retratar a perspectiva dos participantes.

O paradigma de pesquisa *naturalista* fundamenta-se em alguns pressupostos que subjazem abordagens desta espécie. Destacamos a especificidade do tema a ser abordado, em que pesquisador buscará identificar e interpretar o máximo de variáveis envolvidas no fenômeno, sem que, necessariamente, as conclusões do estudo realizado num contexto em particular almejem responder questões idênticas em contextos similares. Abordagens deste tipo permitem ao pesquisador utilizar um amplo leque de técnicas. O problema irá determinar a utilização de certos métodos e não o contrário. As técnicas podem ser utilizadas de forma combinada de modo a esclarecer um problema comum.

Uma das técnicas básicas de coleta de dados é a entrevista, ela visa, através do contato entre o pesquisador e o entrevistado, obter dados relevantes para a pesquisa, de acordo com os objetivos da mesma. O entrevistado discursa sobre o tema em enfoque com base nas informações que ele tem sobre o assunto. Segundo Denzin e Lincom (Apud Zimmerman, 1997, p.71), “*a entrevista é uma conversa, a arte de perguntar e ouvir. Já que é o entrevistador que cria a realidade da situação da entrevista, ela não é uma ferramenta neutra. A entrevista, portanto, produz conhecimentos baseados em interações de episódios específicos*”, permitindo o aprofundamento de certas questões de interesse da pesquisa e, ao pesquisador, explorar o assunto por diversos ângulos.

Entrevistas, em geral, se realizam de maneira exclusiva com indivíduos ou grupo de indivíduos, possibilitando ao pesquisador correções, adaptações e esclarecimentos imediatos, facilitando a obtenção das informações desejadas. Entretanto, podemos

distinguir três tipos de entrevistas, uma chamada não-estruturada, que é realizada de maneira livre pelo pesquisador, sem um roteiro preestabelecido. Outra, chamada estruturada, que difere um pouco de um questionário, sua única vantagem sobre este reside no fato de ter o entrevistador por perto para algum esclarecimento. Na maioria das vezes, visa obter dados para tratamento estatístico. A terceira, chamada semi-estruturada, se desenrola a partir de um esquema básico, porém não aplicado rigidamente, permitindo que o pesquisador faça as necessárias adaptações (Lüdke & André 1986). Ao nosso ver, uma abordagem naturalista com entrevistas semi-estruturadas a partir de uma situação básica parece a mais adequada.

III.2- A AMOSTRA

Num trabalho anterior realizado num projeto de iniciação à pesquisa (Custódio e Pietrocola, 2000), pudemos entrevistar alunos do ensino médio sobre situações envolvendo moto-perpétuos. A maioria esmagadora dos alunos não formulou repostas partindo ou valendo-se do PCE. Este novo trabalho se configura como uma ampliação da pesquisa anterior, onde procuramos entender de que modo os princípios se vinculam com as estratégias para a construção de modelos. Entrevistamos 19 estudantes da terceira série do ensino médio da rede de ensino pública e particular de Florianópolis. A opção por alunos da terceira série atribuiu-se ao fato de que eles já dispõem de uma formação avançada em Física básica e já haviam tido a chance de estudar o PCE. Estávamos interessados em investigar como os estudantes produzem modelos para explicar situações físicas. Para tanto, partimos da premissa de que era possível a explicitação de modelos oralmente ou através de representações gráficas. Os modelos gerados por estudantes refletem sua carga de conhecimento pessoal, suas representações do mundo físico e são diretamente influenciados pelo contexto no qual se inserem. Neste sentido, adotamos, como melhor instrumento de investigação, entrevistas clínicas semi-estruturadas mediante um protocolo versando sobre situações físicas.

As situações continham elementos que exigiam dos estudantes a realização de simplificações e idealizações. Propusemos propositadamente situações pouco idealizadas, em que seria esta a tarefa a ser desenvolvida pelo entrevistado. Como nosso interesse estava focalizado no papel heurístico dos princípios, em particular o PCE, as situações

apresentadas mereciam ser distanciadas daquelas exemplares encontradas nos livros didáticos. Por exemplo, o looping e a montanha russa idealizados são exaustivamente abordadas nos cursos do ensino médio. Com isto os estudantes conseguem, em geral, dar um tratamento matemático aos problemas e abordá-los em termos de conceitos de energia e trabalho.

Neste sentido, adotamos estratégia similar à utilizada em nosso trabalho anterior (Custódio e Pietrocola, 2000). Refinamos nosso atual instrumento de coleta de dados elaborando um protocolo incluindo questões relativas a elementos mais familiares. Apresentamos um protocolo baseado em duas situações: uma contendo uma adaptação de um desenho de revista em quadrinhos e a outra contendo um sistema Lago-Usina Hidroelétrica. A vantagem em apresentar a situação num contexto informal, diferente do escolar, é que isto encoraja os estudantes a exporem mais suas idéias (Gutierrez e Ogborn, 1993).

Na primeira situação, utilizamos o personagem Homem-aranha (figura III.1¹⁵, abaixo) procurando um contexto mais familiar. Além da informalidade, os estudantes, em geral, conhecem o pêndulo, brincaram de balanço, sendo eles acessíveis a sua compreensão. Como ferramenta de investigação, esta situação permite um grande número de variantes nas condições iniciais (protocolo - questões de 1 a 12), mas todas elas reduzíveis a um enfoque simples quando abordadas através do PCE.

A segunda situação apresentada consistia de uma usina hidrelétrica (figura III.2, em anexo). Baseando-se na máquina criada em 1618 por Robert Fludd, adaptamos o sistema transformando-o em um moto-contínuo. Esta escolha se deveu ao fato que esta é uma estrutura bastante conhecida dos estudantes do ensino médio. Além disto, no processo de produção e transmissão de energia elétrica, verificamos quase toda cadeia de transformações possíveis da energia mecânica e eletromagnética. Neste sentido, o aspecto conservação é fundamental para a compreensão deste sistema. Novamente, as aplicações dos princípios de conservação puderam ser avaliadas sob diversos aspectos (questões de 13 a 15).

¹⁵ A figura apresentada é uma versão plana da utilizada. Durante as entrevistas foi utilizada uma figura com dimensões maiores e os estuantes dispunham de cordões, elásticos e percevejos, para simular teia e bastões, respectivamente. Além disto, o fundo da folha era quadriculado para facilitar as indicações dos estudantes.

Foi solicitado aos estudantes que justificassem suas respostas. As entrevistas foram gravadas e transcritas para análise.

III.3- PROTOCOLO DE ENTREVISTAS

Apresentamos a seguir o contexto das situações e questões feitas aos alunos. As questões não eram feitas de maneira literal, mas usando uma linguagem coloquial e explicativa.

Situação 1: O Homem-aranha está em uma perseguição ao vilão “duende macabro” que acaba de cometer um crime. Lançando sua teia a um mastro de bandeira preso ao edifício B, ele pretende alcançar seu inimigo. Discuta a possibilidade de realizar tal idéia nos seguintes casos:

Questão 1: (Posição I)- Partindo do repouso na posição I, o Homem-aranha consegue chegar sobre o prédio C?

Questão 2: (Posição II)- Partindo do repouso na posição II, o Homem-aranha consegue chegar sobre o prédio C?

Questão 3: (Posição III)- Partindo do repouso na posição III, o Homem-aranha consegue chegar sobre o prédio C?

Questão 4: (Mastro II)-Lançando a teia ao mastro II, o Homem-aranha alcançaria o topo do prédio C partindo da posição I?

Questão 5: (Mastro III)- Lançando a teia ao mastro III, o Homem-aranha alcançaria o topo do prédio C partindo do repouso na posição I?

Questão 6: (Bastão no ponto D)- Colocando-se um bastão de ferro no ponto D para interceptar a trajetória do Homem-aranha, ele conseguirá alcançar o topo do prédio partindo do repouso na posição I?

Questão 7: (Bastão no ponto E)- Colocando-se um bastão de ferro no ponto E que intercepte a trajetória do Homem-aranha, ele conseguirá alcançar o topo do prédio partindo do repouso na posição I?

Questão 8: (Bastão no ponto F)- Colocando-se um bastão de ferro no ponto F que intercepte a trajetória do Homem-aranha, ele conseguirá alcançar o topo do prédio partindo do repouso na posição I?

Questão 9: (Bastão no ponto G)- Colocando-se um bastão de ferro no ponto G que intercepte a trajetória do Homem-aranha, ele conseguirá alcançar o topo do prédio partindo do repouso na posição I?

Questão 10: (Bastão no ponto H)- Colocando-se um bastão de ferro no ponto H que intercepte a trajetória do Homem-aranha, ele conseguirá alcançar o topo do prédio partindo do repouso na posição I?

Questão 11: (Bastão de borracha)- Colocando-se um bastão de borracha nos pontos supracitados que intercepte a trajetória do Homem-aranha, ele conseguirá alcançar o topo do prédio partindo do repouso na posição I?

Questão 12: (Teia elástica)- Utilizando uma teia de elástico, o Homem-aranha conseguiria alcançar o topo do prédio C partindo do repouso na posição I?

Situação 2: O sistema descrito na figura foi criado para a produção de energia elétrica em regiões planas, ou onde não há rios, ou regiões com pouca incidência de chuvas. Ele inclui um imenso reservatório de água. A energia é gerada e distribuída conforme o esquema.

Questão 13: (Retorno contínuo de toda a água ao reservatório)- Seria possível canalizar toda a água que passa pela turbina fazendo com que ela retorne continuamente ao reservatório, mantendo-o sempre cheio?

Questão 14: (Bomba d' água)- Caso não seja possível conduzir a água espontaneamente, seria possível conectar uma bomba d'água a própria rede elétrica forçando a água a retornar continuamente ao reservatório mantendo-o sempre cheio?

Questão 15: (Retorno contínuo de 10% da água escoada) Caso não seja possível conduzir toda a água, seria possível conduzir apenas 10 % de toda a água escoada, espontaneamente e continuamente ao reservatório, mantendo-o sempre cheio?

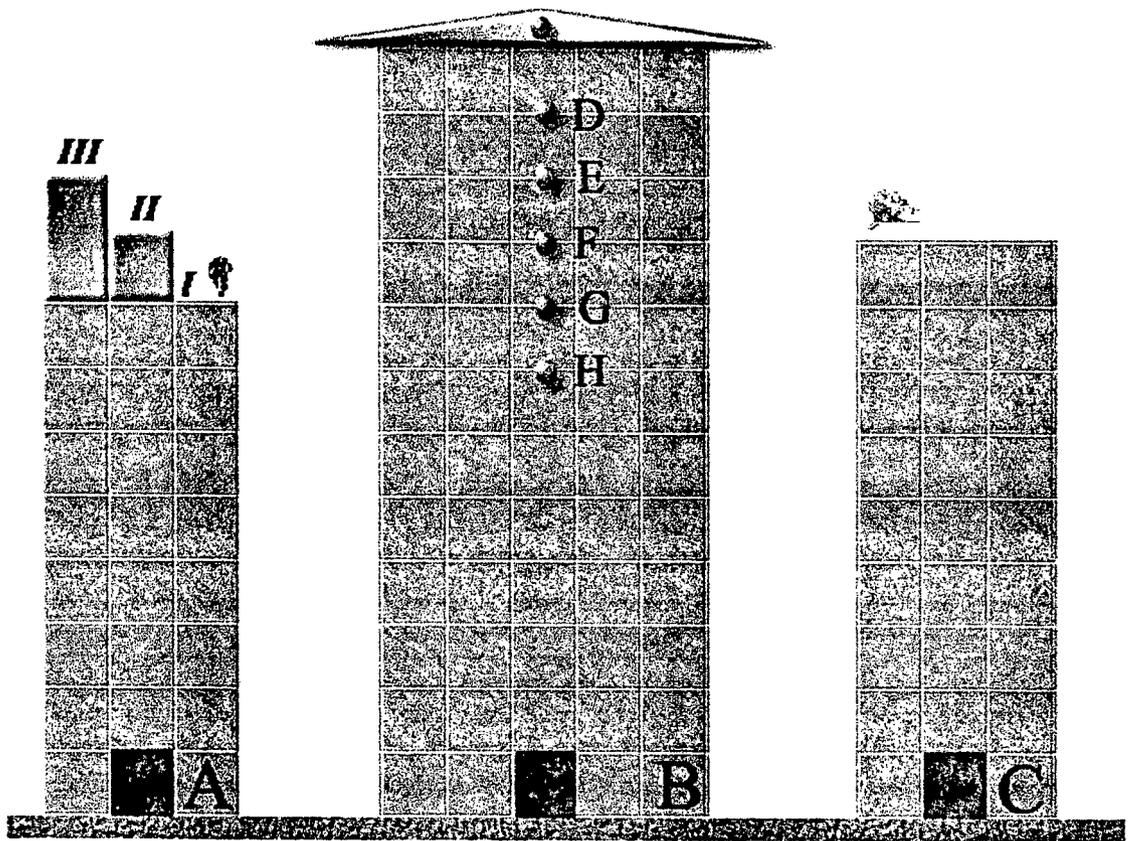


Figura III.1

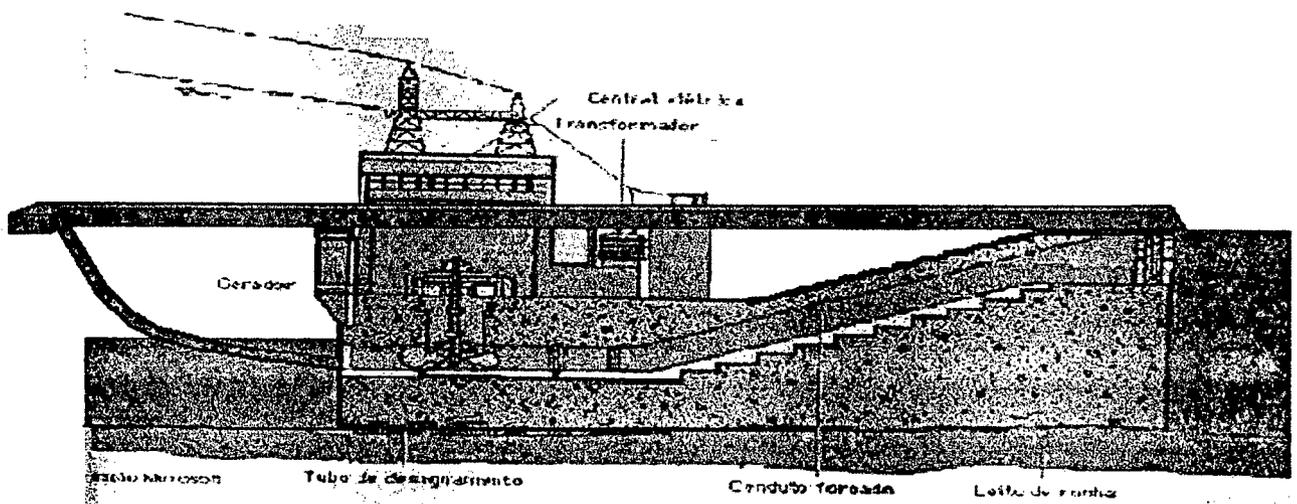


Figura III.2

III. 4- ANÁLISE DOS RESULTADOS

Pelo fato de os estudantes entrevistados serem concluintes do ensino médio, o que significa já terem tido um contato, mesmo rudimentar, com o conceito de Energia e o PCE, esperávamos que o índice de acertos fosse grande. No entanto, os quadros gerais indicam uma grande quantidade de resultados divergentes. Os resultados obtidos através das entrevistas foram sumarizados em tabelas. As tabelas III.1a e III.1b apresentam as respostas fornecidas pelos estudantes (positivas (S) ou negativas (N)) em relação a cada situação apresentada. A partir de um raciocínio fundamentado no PCE, esperávamos respostas negativas para todas as questões (tabela III.1a). Entretanto, como podemos verificar, nenhum estudante acertou todas as repostas. No geral, houve 34% de respostas positivas (S) e 66% negativas (N), ou seja, mais de um terço das repostas dadas foram incorretas. Possivelmente, este percentual seria maior se fossem contabilizadas as respostas às questões 14 e 15 quando a resposta na questão 13 fosse positiva (S) (ver lacunas na tabela III.1a)¹⁶. Na tabela III. 1b, as duas questões pressupunham resposta positiva (S) a partir de um raciocínio físico. Essas questões foram inseridas no protocolo para diversificar as situações nas quais fosse possível a realização da tarefa desejada. Como resultado, obtivemos 90 % de respostas positivas (S) (em acordo com o PCE) e 10% negativas (N). Vale ressaltar que, embora o índice elevado de respostas corretas, não implicou a utilização do PCE ou qualquer outro conceito físico de forma correta.

Outro resultado que chama atenção pode ser extraído da tabela III.1a, onde nas questões 6, 7, 12, 13, 14, obtivemos percentuais de respostas positiva(S) (fisicamente incorretas) de respectivamente: 53%, 53%, 68%, 53%, 78%. Ou seja, mais da metade dos estudantes responderam de forma equivocada a estas questões. Nas questões 6 e 7, inserimos bastões para interceptar a trajetória do Homem-aranha, modificando a estrutura da situação e, conseqüentemente, exigindo maior abstração para explicar o que deveria ocorrer. Na questão 12, com a inserção da teia elástica, exigia-se, da mesma forma, um conjunto de representações mais elaboradas. O mesmo aconteceu nas questões 13 e 14 com a adaptação inicial da hidrelétrica e, posteriormente, com a inserção da bomba d' água. Em resumo, quando enxertávamos algum elemento menos comum nas situações, os estudantes

¹⁶ Incluindo a estes as repostas (S) das questões 13 e 14, o percentual destas repostas sobe para 40%.

apresentavam respostas positivas (S) quase de forma unânime, possivelmente, porque estas sejam as questões que mais se diferenciam do ambiente escolar.

Com exceção de dois estudantes (Flávia apenas 9% e Gilsani apenas 8%), os demais forneceram respostas positivas (S) em mais de 20% das questões. Certos estudantes, por exemplo, Jerusa apresentou um índice altíssimo de respostas positivas (S), com 64% das respostas deste tipo. Ela recorreu a estratégias pouco vinculadas aos conceitos teóricos desenvolvidos na disciplina Física. Outras estudantes, Karina (55%), Mariana (55%) e Grasielle (53%), também apresentaram percentuais elevados de respostas positivas (S). Tais resultados sintetizam o quadro geral, onde todos os estudantes apresentaram padrões de construção de modelos explicativos totalmente destituídos do PCE.

Através das fitas, as estratégias dos estudantes foram analisadas e classificadas em seis categorias distintas conforme os argumentos apresentados, a saber: *energia, impulso, cinemática, pseudo força, simetrias, analogias*.

Na tabela III.3, procuramos mostrar qual destes modelos era utilizado com maior ênfase em cada questão pelos estudantes. Porém, a maioria dos alunos não recorreu a uma única estratégia para responder uma certa questão. Nem, uma certa questão priorizou o uso de uma certa estratégia pelos estudantes.

A seguir, discutiremos, em maiores detalhes, as estratégias utilizadas pelos estudantes nas suas respostas.

III.4.1- CATEGORIAS DE ANÁLISE

I- Energia. O termo/conceito de energia foi pouco utilizado nas justificativas dadas pelos estudantes para as questões. Como podemos verificar na tabela 2, apenas 5 estudantes fizeram recorrência a este conceito. Em geral, as estratégias apresentadas baseavam-se nas transformações entre energia potencial gravitacional, energia cinética e energia potencial elástica. Entretanto, tais transformações, diferentemente do ponto de vista científico, não eram regidas pelo Princípio de Conservação de Energia, isto é, a energia era aceita como uma grandeza passível de transformação, mas o vínculo entre tipos de energia não estabelecia que houvesse conservação da quantidade de energia no sistema.

Vejam, por exemplo, a justificativa dada por Cecília para a questão 1. Quando questionada se o Homem-aranha conseguiria chegar ao topo do prédio C, ela respondeu:

Depende da energia potencial armazenada, porque se ele tiver pouca energia, não consegue chegar sobre o prédio C. O mesmo acontece nas outras posições, depende da energia armazenada... O Homem-aranha tem energia potencial armazenada... com a descida, ele aumenta a velocidade e obtém energia cinética.

A resposta de Rafael para esta questão segue o mesmo estilo:

O Homem-aranha tem uma energia potencial gravitacional, ao descer, ele adquire energia cinética, que irá transformar-se novamente em energia potencial quando ele começar a subir.

Cecília utiliza o modelo das transformações de energia como subsídio para uma resposta negativa na questão 1 (ver tabela 1a). Entretanto, utiliza a mesma argumentação para fornecer uma resposta positiva na questão 4 (ver tabela 1a). Questionada se o Homem-aranha conseguiria chegar sobre o prédio C lançando sua teia ao mastro 2, ela diz:

O ponto onde foi lançada a teia está mais próximo do prédio C. Então, como o comprimento da teia é maior, o Homem-aranha passa mais tempo transformando energia potencial em cinética, com isto alcançaria o topo do prédio C.

Neste argumento, parece claro que as idéias de transformações de energia propostas compartilham, somente em parte, dos pressupostos científicos. Ao declarar que haveria transformação de energia potencial em energia cinética por mais tempo, permitindo que o Homem-aranha alcançasse o topo do prédio C, Cecília expressa que as conversões de energia ocorrem de forma desconectada de qualquer Princípio de Conservação. Quantitativamente, a variável tempo seria preponderante nas transformações de energia ocorridas no sistema, maior tempo para completar a trajetória significaria maior “produção” de energia em uma forma capaz de movimentar o Homem-aranha até o topo do prédio C. Porém, como sabemos, o PCE determina algo na direção contrária, ou seja, liberta a compreensão da evolução do sistema de uma análise temporal, na medida em que, para um sistema isolado, a quantidade de energia é constante.

Um outro aspecto detectado nas entrevistas revela que as transformações de energia também podem propiciar espécies de “bônus de energia armazenada” ao sistema. É o caso da justificativa apresentada por Eduardo para A questão 12 sobre a teia elástica:

O elástico acumulou energia... e quando começou a subir toda a energia que o elástico acumulou, a tendência é liberar esta energia, o que vai levar o Homem-aranha sobre o prédio C.

Eduardo leva em consideração, mesmo que implicitamente, as transformações de energia de maneira unilateral. Ele pensa corretamente ao afirmar que haverá um acúmulo de energia na teia na forma potencial elástica. Contudo, conclui equivocadamente que tal energia possa ser utilizada deliberadamente sem necessidade da transformação de toda energia acumulada no momento da subida do Homem-aranha.

Um outro aspecto relatado sobre o conceito de energia está relacionado com a criação espontânea de energia em um sistema fechado. Para alguns estudantes, a idéia de criação de energia em ciclos fechados é bem plausível.

Joice, respondendo à questão 14 (bomba d’ água), expressa seu ponto de vista dizendo:

... vai ter alguma coisa ajudando a água a subir, passando pela canaletta e voltando sempre pelo mesmo caminho. Irá sempre passar água pela turbina e terá sempre energia para manter a bomba ligada, a água irá ficar passando e o reservatório estará sempre cheio.

Cecília justifica a mesma questão, afirmando que:

...porque se estaria colocando energia. Não seria um processo espontâneo da água, seria uma coisa forçada, então ela conseguiria retornar ao reservatório.

O argumento comum nestas respostas denota a falta da idéia de conservação de energia. De forma similar às outras questões, a argumentação construída é baseada nas transformações de energia independentemente. A bomba d’ água é vista como um elemento externo capaz de utilizar a energia elétrica produzida pela hidrelétrica para puxar a água até a canaletta. Entretanto, os estudantes não estão atentos ao fato que, durante o

Tabela III. 1a. Respostas para as questões

Nomes/ questões	1	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total de S	Total de N	Total de S (%)	Total de N (%)
Rafael	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	N	S	N	4	9	30	70
Eduardo	N	S	N	N	S	S	N	N	N	S	N	N	S	5	8	38	62
Francys	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	S			3	8	27	73
Cecilia	N	S	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	3	10	23	77
Ângela	S	S	S	N	N	N	N	N	N	S	S			5	6	45	55
Maira	N	S	S	N	N	N	N	N	N	S	S			4	7	36	64
Ana Paula	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	N	S	N	4	9	30	70
Flávia	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S			1	10	9	91
Nádia	N	N	N	S	N	N	N	N	S	S	S			4	7	36	64
Everton	N	N	N	S	S	N	N	N	N	S	N	S	S	5	8	38	62
Juliana	N	N	N	N	S	N	N	N	N	S	S			3	8	27	73
Carolina	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N	N	N	2	11	15	85
Grasiele	S	N	N	S	S	S	N	N	S	S	N	S	N	7	6	53	47
Tatiane	N	S	N	N	N	N	N	N	N	S	S			3	8	27	73
Gilsani	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	1	12	8	92
Karina	N	N	S	S	S	S	N	N	N	S	S			6	5	55	45
Jerusa	S	S	S	S	S	S	N	N	N	N	S			7	4	64	36
Mariana	S	S	N	S	S	N	N	N	N	S	S			6	5	55	45
Joice	N	S	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	3	10	23	77
Total de S por questão	4	9	4	10	10	5	0	0	2	13	10	7	2	76	151	34	66
Total de N por questão	15	10	15	9	9	14	19	19	17	6	9	2	7	76	151	34	66
Total de S por questão (%)	21	47	21	53	53	26	0	0	10	68	53	78	22				
Total de N por questão (%)	79	53	79	47	47	74	100	100	90	32	47	22	78				

- As respostas fisicamente corretas para as questões seriam "não".

Tabela III. 1b. Respostas para as questões

Nomes/ questões	2		3		Total de S	Total de N	Total de S (%)	Total de N (%)
	S	N	S	N				
Rafael	S	S	2	0	2	0	100	0
Eduardo	S	S	2	0	2	0	100	0
Francys	S	S	2	0	2	0	100	0
Cecília	S	S	2	0	2	0	100	0
Ângela	S	S	2	0	2	0	100	0
Maira	S	S	2	0	2	0	100	0
Ana Paula	S	S	2	0	2	0	100	0
Flávia	S	S	2	0	2	0	100	0
Nádia	N	N	0	2	0	2	0	100
Everton	S	S	2	0	2	0	100	0
Juliana	S	S	2	0	2	0	100	0
Carolina	S	S	2	0	2	0	100	0
Grasiele	S	S	2	0	2	0	100	0
Tatiane	S	S	2	0	2	0	100	0
Gilsani	S	S	2	0	2	0	100	0
Karina	S	S	2	0	2	0	100	0
Jerusa	S	S	2	0	2	0	100	0
Mariana	S	S	2	0	2	0	100	0
Joice	N	N	0	2	0	2	0	100
Total de S por questão	17	17	34	4	34	4	90	10
Total de N por questão	2	2	34	4	34	4	90	10
Total de S por questão (%)	10	10						
Total de N por questão (%)	90	90						

- As respostas fisicamente corretas para as questões seriam "sim".

Tabela III. 2. Estratégias dos estudantes

Names/estratégias	I - Energia	II- Impulso	III- Cinemática	IV- Pseudo força	V- Simetrias	VI- Analogias
Rafael	q1, q2, q3, q14		q1, q2, q3	q1, q2, q3, q12	q1, q2, q3, q6, q7, q8, q9, q10, q11, q12	q1, q2, q3
Eduardo	q12, q14	q12		q1, q3, q6, q7, q8, q11, q13	q1, q4, q6, q7, q8	q1, q7, q13
Francys		q7, q13	q1, q2, q3, q4	q4, q6, q7, q11, q13	q1, q2, q3, q4	
Cecilia	q1, q2, q3, q4, q13, q14, q15			q1, q12	q4	q6
Ângela		q12	q1, q2, q3, q6, q13		q4, q5	
Maira		q1, q2, q3, q4, q12			q4	
Ana Paula		q6, q7, q11, q12	q13, q15	q1, q13	q4	
Flávia			q1, q2, q3, q4, q6			q4
Nádia		q1, q2, q5, q11, q12, q13		q13	q1	q13
Everton		q5, q12	q5	q13	q1, q2, q3, q4, q6	
Juliana		q1, q7, q12	q1, q4, q6, q7	q1, q7		
Carolina		q4, q6, q12	q1, q13	q12		
Grasiele	q13, q14	q13	q6, q7, q13	q12, q13	q1, q5, q6	q13
Tatiane		q1, q12	q5		q4	
Gilsani			q5, q6	q1, q2, q3, q7, q13	q1	
Karina			q3			
Jerusa		q13	q11	q1	q4	q13
Mariana		q12		q11	q4	
Joice	q14	q7, q12	q1, q6, q7, q13	q1	q4	
Número de estudantes que utilizaram a estratégia	5	14	14	14	15	7

q1- questão 1; q2- questão 2; etc.

Tabela III. 3. Estratégias dos estudantes para cada questão

Nomes/	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7	q8	q9	q10	q11	q12	q13	q14	q15	Estratégias utilizados pelos estudantes
Rafael	(1), (3), (4), (5), (6)	(1), (3), (4), (5), (6)	(1), (3), (4), (5), (6)			(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(4), (5)	(1)			5
Eduardo	(4), (5), (6)	(4), (5), (6)	(4)	(5)		(4), (5)	(4), (5), (6)	(4), (5)			(4)	(1), (2)	(4), (6)	(1)		5
Francys	(3), (5), (6)	(3), (5)	(3), (5)	(3), (4), (5)		(4)	(2), (4)				(4)		(2), (4)			4
Cecília	(1), (4)	(1)	(1)	(1), (4)		(6)						(4)	(1)	(1)	(1)	3
Ângela	(3)	(3)	(3)	(5)	(5)	(3)						(2)	(3)			3
Maira	(2)	(2)	(2)	(2), (5)								(2)				2
Ana P.	(4)				(5)	(2)	(2)			(2)	(2)	(2)	(3), (4)		(3)	4
Flávia	(3)	(3)	(3)	(3), (6)		(3)										2
Nádia	(2), (5)	(2)			(2)					(2)	(2)	(2)	(2), (4), (6)			3
Everton	(5)	(5)	(5)	(5)	(2), (3)	(5)						(2)	(4)			4
Juliana	(2), (3), (4)		(3)	(3)		(3)	(2), (3), (4)					(2)				3
Carolina	(3)		(2)	(2)		(2)						(2), (4)	(3)			3
Grasiele	(5)				(5)	(3), (5)	(3)					(4)	(1), (2), (3), (4), (6)	(1)		6
Tatiane	(2)			(5)	(3)							(2)				3
Gilsani	(4), (5)	(4)	(4)	(4)	(3)	(3)	(4)						(4)			3
Karina			(3)													1
Jerusa	(4)			(5)						(3)			(2), (6)			5
Mariana			(5)	(5)						(4)		(2)				3
Joice	(3), (4)		(5)	(5)		(3)	(2), (3)					(2)	(3)	(1)		5

(1) - Energia; (2) - Impulso; (3) - Cinemática; (4) - Pseudo força; (5) - Simetrias; (6) - Analogias

processo, a energia elétrica, transformada em energia mecânica, deverá ser no mínimo igual a energia transferida pela água para a turbina.

Rafael e Grasielle, ao darem uma resposta positiva à questão 14, adicionam as seguintes afirmações, respectivamente:

...era preciso uma bomba bem eficiente.

...se gastaria energia, teria que se inventar um sistema que consumisse pouca energia.

Os estudantes acreditam que a bomba d'água possa “gerar” mais energia mecânica do que a energia elétrica “consumida” para alimentar a bomba. A noção de eficiência estaria vinculada a uma espécie de relação “geração/consumo” que possa ser maior do que 1. Esta linha de raciocínio revela o quão pejorativas são as palavras geração e consumo, num universo onde queremos sublinhar as transformações de energia e, principalmente, a conservação de energia como ferramenta essencial na construção de modelos.

II- Impulso. Uma outra estratégia elaborada pelos estudantes consistia em fazer uso do conceito de impulso. Não houve a preocupação, durante as respostas, em precisar o conceito. Algumas das afirmações faziam menção correta aos cânones científicos, outras porém, faziam referência ao conceito seguindo idéias intuitivas de impulso como um agente que empurra um elemento do sistema ou parte dele, causando (ou facilitando) o seu movimento. Não raramente, a palavra impulso surgia como única alternativa para a interpretação física da situação apresentada, de tal maneira que as respostas, positivas ou negativas, limitavam-se às afirmações sobre a presença ou não de impulso.

Estas considerações aparecem na resposta positiva de Ângela à questão 12 (teia elástica). Ela justifica com o seguinte argumento:

...ele vai conseguir impulso. A teia vai esticar e chegando no ponto mais baixo, irá voltar... daí o Homem-aranha vai pegar o impulso e alcançar o topo do prédio C.

Maira, outra estudante, exhibe um argumento similar para as questões 4 (mastro2) e 12 (teia elástica):

Se o mastro estivesse mais próximo do prédio C, o impulso seria maior.

Eu acho que iria dar mais impulso para o Homem-aranha... a teia elástica iria dar mais facilidade... iria fazer com que o Homem-aranha subisse facilmente.

Estas respostas indicam que a base das argumentações encontra-se ligada à existência de impulso como facilitador do movimento, um agente capaz de empurrar o Homem-aranha. De fato, esta é uma idéia bem presente no cotidiano e bastante veiculada pelos meios de comunicação, especialmente em comerciais de calçados.

Em um outro extrato de entrevista, Ana Paula tenta justificar uma resposta positiva na situação em que o Homem-aranha tem sua trajetória interceptada por um bastão no ponto E:

...eu acho que vai haver um impulso e o homem-aranha vai chegar ao topo do prédio C.

A justificativa plausível a essa questão, tipicamente, contradiz o argumento de um impulso capaz de empurrar o Homem-aranha. Todavia, com frequência detectamos tal argumento. O mesmo recurso para esta questão ou similares foi utilizado por outros 4 estudantes (Francys, Juliana, Carolina, Joice). Todos eles interpretavam a interação entre a teia e os bastões como uma ação que permitiria, além de modificar a trajetória do Homem-aranha, impulsioná-lo facilitando seu movimento. A verdade é que, na maioria das vezes, o impulso é visto como algo “positivo” para o movimento dos elementos do sistema.

Acrescentamos ainda a esta categoria respostas que utilizam em seus argumentos a necessidade de um agente material que empurre um elemento do sistema, sem necessariamente haver menção explícita à palavra impulso. Tal inserção justifica-se pela similaridade entre esta concepção e a apresentada anteriormente. Isto permite enquadrar respostas vinculadas à idéia de empurrar, nesta categoria.

Por exemplo, Francys, na questão 13, sobre o retorno de toda água ao reservatório, diz:

Com o resto da água que vai empurrar, ela irá conseguir retornar.

Grasiele, na mesma questão, enfatiza que:

Após a turbina... a água teria que ter um certo volume para ir empurrando ela.

De acordo com seus raciocínios, o movimento de uma massa de água seria decorrente do empurrão de uma massa subsequente. Este modelo, com certeza não respeita as conservações de energia e momento linear. No momento inicial, como podemos analisar, a quantidade de água que desce o conduto contaria com um decréscimo em sua energia cinética e no momento linear, devido à interação com a turbina, o que possibilitaria a ela chegar somente a uma certa altura inferior à da canaleta. Posteriormente, é possível admitir a existência destes “empurrões” em função das diferenças de pressões na parte superior do reservatório, em contato com extremidade da canaleta. Entretanto, o resultado final seria uma situação estática e não dinâmica como a suposta, em consequência das pressões nas extremidades serem iguais.

III- Cinemática. Muitos estudantes elaboraram modelos para as suas justificativas baseando-se em descrições cinemáticas dos movimentos ocorridos nas diversas situações. Estas descrições tinham como único critério para a determinação do comportamento do sistema a velocidade ou aceleração que um elemento possuísse. Em situações mais simples (situações mais próximas daquelas trabalhadas didaticamente) como as apresentadas nas questões de 1 a 6, o uso desta estratégia foi bastante empregado. Para os estudantes, não importava como ou por que um elemento do sistema iria adquirir velocidade ou aceleração, conseqüentemente suas descrições eram, em geral, superficiais, limitadas a estes conceitos mais próximos da sua experiência sensorial.

Flávia, respondendo às questões 1 (posição I) e 4 (mastro 2), expressa sua opinião dizendo:

O Homem-aranha não vai ter velocidade para chegar até o topo do prédio C... chegaria mais ou menos até a altura do prédio A e voltaria.

O Homem-aranha chega na mesma altura em que ele saiu por causa da velocidade.

Apesar das respostas serem corretas (negativas), tal análise delega ao conceito de velocidade um status muito mais de “causa” do que de “efeito”. Parece haver uma inversão de papéis, a velocidade do Homem-aranha diminuiria fazendo sua energia cinética diminuir, e não o contrário. A conservação da energia exige que, ao aumentar a energia potencial do Homem-aranha, haja um decréscimo em sua energia cinética e, portanto, em sua velocidade.

Além disto, a similaridade de algumas das questões apresentadas com situações já vivenciadas pelos estudantes (por exemplo, o pêndulo na questão 1) permitiu a realização de inferências preditivas sobre o sistema baseadas nestes conhecimentos. As pessoas, em geral, têm noção do que seja velocidade, sabem que um corpo fora do repouso necessariamente possui velocidade. Ao trafegarem em qualquer meio de transporte, têm contato com marcadores de velocidade e placas que determinam a velocidade máxima permitida. Antes mesmo do contato formal com a disciplina de física, os adolescentes já fazem uso deste conceito diariamente. A velocidade é um conceito bastante difundido e próximo da capacidade de abstração dos indivíduos em geral. Desta maneira, identificar se um elemento do sistema possui ou não velocidade é tarefa simples. Desta forma, as justificativas fundamentam-se mais em descrever quando um elemento tem velocidade ou quando não tem do que explicar o que está acontecendo. Opta-se por descrever no lugar de explicar!

Em um outro extrato de entrevista (na questão 15), Ana Paula justifica porque apenas 10% da água poderiam retornar ao reservatório:

Eu acho que a água irá perder velocidade ... mas [se] a quantidade de água é menor, ela pode subir até a canaleta e retornar ao reservatório.

Nesta sentença, Ana Paula expressa uma relação entre a velocidade e a quantidade de água que passa pelos condutos. Seu pensamento evidencia uma idéia de compensação entre velocidade e quantidade de massa. Ao interagir com a turbina, ela admite uma redução da velocidade de toda massa de água que por ali passa. Porém, esta redução seria compensada pelo fato de que é apenas 10% desta água que deveria retornar ao reservatório. Haveria uma falsa conservação de momento linear desta massa de água, baseada nesta relação. O erro consiste em não observar que esta massa de água também participa da interação.

IV- Pseudo força. Durante as entrevistas, os estudantes também valeram-se da palavra força. Queremos ressaltar, que muitas vezes, esta palavra não pôde ser identificada com o conceito de força cientificamente aceito. A idéia de força expressava, em alguns sentidos, algo como esforço, o “fazer força” da linguagem coloquial. Em outros casos, se aproximava muito do conceito histórico de *força impressa* ou *impetus*, na qual um corpo

em movimento possui algo intrínseco ao seu movimento que é mantido, a menos que o corpo sofra alguma oposição ao seu movimento (ver McCloskey, 1983).

Por exemplo, Gilsani, na questão 1, quando perguntada se o Homem-aranha conseguiria chegar ao topo do prédio C, respondeu:

Quando o Homem-aranha sai de uma posição mais baixa, ele não consegue alcançar o topo do prédio C, porque ele não vai ter força para se manter em movimento.

Ana Paula, na mesma questão, ressalta que:

O Homem-aranha teria uma força maior para alcançar o topo do prédio C se estivesse indo de uma parte alta para uma parte mais baixa... a força que ele adquire, neste caso, não o levaria até lá.

Nestas afirmações, fica clara a crença dos estudantes que o movimento é mantido pela força impressa ao Homem-aranha.

A idéia de que um movimento fica mais lento e pára pela dissipação da força também pode ser observada nas afirmações dos estudantes. Por exemplo, Grasielle, quando requisitada a explicar uma resposta negativa para a questão 13 sobre o retorno de toda água ao reservatório, replicou:

Após passar pela turbina, a água vai mais devagar, não tem mais força suficiente... o contato com a turbina gastou parte desta força.

A alegação de Grasielle que a água vai mais devagar devido ao atrito com a turbina, reduzindo a força, é clara. Tais argumentos são inconsistentes com a física clássica.

Um outro aspecto relatado demonstra a relação direta entre o conceito de força e o movimento. Para alguns estudantes, força era vista como um agente que causava o movimento, quer dizer, o movimento necessitava da presença de uma força, bem como a presença de forças envolvia a necessidade de movimento. Vamos considerar a resposta de Nadia para a questão 6 (bastão no ponto D):

..quando a teia bate no bastão, o bastão exerce uma força sobre a teia. Esta força faz com que a teia se movimente com maior velocidade.

Possivelmente, seu modelo tem como sustentação a noção que uma força é algo que afeta o movimento de um objeto quando aplicado sobre ele, diferentemente de uma interpretação em termos de interação.

Alguns estudantes, implicitamente, empregaram o conceito de força com status de energia. Atributos do conceito de energia, como a sua capacidade de assumir formas potencial, cinética, etc, foram utilizados confusamente na interpretação das situações apresentadas. Como no caso da explicação apresentada por Carolina na questão 12 (teia elástica):

... a teia elástica irá armazenar força... a teia irá trazer o Homem-aranha para cima. A força que foi armazenada, ele teria para voltar no máximo até a altura do prédio A.

Neste argumento, Carolina admite que a teia elástica possa armazenar força. Sua concepção é bem próxima daquela de energia potencial. Porém, a física clássica não admite a existência de 'forças potencias'.

V- Simetrias. Com frequência, os estudantes conduziram suas explicações baseando-se nas características geométricas das situações apresentadas (distâncias, ângulos, raio etc.). Muitas das respostas exprimiam a idéia de que qualquer acontecimento no sistema poderia ser explicado mediante a simetria das características geométricas do sistema (mesmas distâncias, mesmos ângulos etc.).

Por exemplo, Everton, respondendo à questão 1 (posição 1), expressa sua concepção dizendo:

O Homem-aranha chegaria no mesmo nível, na mesma altura, por causa do ângulo que ele está fazendo... a teia deve fazer o mesmo ângulo para o outro lado.

Eduardo, na mesma questão, justifica uma resposta negativa. Ele afirma que:

... a tendência do Homem-aranha é chegar no máximo à mesma [altura]... porque faz o mesmo ângulo.

Grasiele, respondendo às questões 1 (posição 1), 4 (mastro II), 5 (mastro III), utiliza argumentos similares:

...tem um certo ângulo que deve ser respeitado... além disto, depende também das distâncias e do ponto de apoio da teia.

Esses estudantes basearam-se no ângulo descrito pela teia durante a trajetória do Homem-aranha para suas argumentações. Possivelmente, a falta de um modelo capaz de explicar o que estava acontecendo induziu os estudantes a apoiarem-se na geometria da situação. Observações deste tipo são, ao nosso ver, uma estratégia cognitiva fértil, contudo, não possibilitam fazer previsões em situações de maior complexidade e, nem sempre são permitidas, pois não haveria garantia sobre a validade das simetrias. Um raciocínio baseado em simetrias pode produzir respostas corretas em uma situação, mas quando transportado para um outro contexto mais abstrato, será falho.

Nossa opinião é corroborada pela análise de questões cujo grau de complexidade é maior. Estes três estudantes, quando questionados se o Homem-aranha conseguiria alcançar o topo do prédio C, colocando-se um bastão para interceptar sua trajetória na posição D, dizem, respectivamente:

O Homem-aranha iria subir mais. A trajetória dele está sendo modificada. Quando diminui a teia muda a direção e faz com que ele vá mais alto.

...a tendência é que o Homem-aranha vá mais alto... ele poderia chegar até a mesma altura do prédio A. Com o bastão ali, o comprimento da teia diminui e tende a ir mais alto.

O percurso não vai ser tão grande... por isso ele chega no topo do prédio C.

Rafael justifica uma resposta positiva na mesma questão afirmando que:

...eu acho que tem algo a ver com o raio e o ângulo... ao bater no bastão, vão mudar. Mas, a distância que o Homem-aranha vai ter que percorrer será a mesma.

Estes estudantes valiam-se de uma espécie de “*princípio de simetria*”, pois onde as simetrias eram quebradas, deveria haver alguma compensação. De acordo com este argumento, a teia, ao ser interceptada pelo bastão, mudaria a direção da trajetória que normalmente seria percorrida, o que de fato é correto. Porém, como o ângulo a ser descrito não era mais o mesmo e, conseqüentemente, o deslocamento seria menor, haveria uma

compensação na geometria do problema, resultando no alcance de uma altura maior do que a do ponto de partida do Homem-aranha.

Um outro ponto que chamou nossa atenção, também relacionado com a existência de simetrias, surgiu quando modificamos, na questão 4(mastro II), o ponto onde a teia seria apoiada . Quando afirmaram que o Homem-aranha conseguiria alcançar o topo do prédio C, os estudantes justificaram suas respostas com alegações que tratavam da proximidade entre o ponto de apoio da teia e o prédio C. Por exemplo, Cecília diz que:

... com o mastro mais próximo do prédio C, o Homem-aranha conseguiria alcançar mais alto.

Tatiane, uma outra estudante, tem a mesma opinião:

... o mastro está mais próximo do prédio C , o Homem-aranha irá alcançar uma altura maior do que a do prédio A.

Este argumento é compartilhado ainda por outros 7 estudantes. Eles parecem acreditar novamente em uma compensação. Na medida em que um fator geométrico do problema foi alterado, quebrando a simetria, com a mudança do ponto de apoio da teia, isto acarretaria um ganho de outro lado, permitindo ao Homem-aranha alcançar o topo do prédio C.

VI- Analogias. No decorrer das entrevistas, verificamos também a freqüente recorrência a analogias nas justificativas dos estudantes para as respostas. Quando não conseguiam explicar, ou desejavam elaborar melhor suas respostas, os estudantes interpretavam as situações propostas com exemplos de fenômenos conhecidos da sua vivência diária. Flávia, respondendo à questão 4 na qual o Homem-aranha lança sua teia no mastro II, enfatiza seu ponto de vista com uma analogia envolvendo o movimento de uma bola em um círculo. Para ela, a observação do comportamento da bola seria indicativo que, na situação apresentada, o Homem-aranha não alcançaria o topo do prédio C. Ela diz:

... qualquer coisa que a gente joga vai na mesma altura... se a gente pega uma bola e põe em um círculo e joga, ela vai na mesma altura de onde jogamos, depois volta... ou chega um pouco menos, depois volta.

Sua argumentação fundamenta-se no comportamento da bola em movimento em um círculo, mostra a seguinte relação entre as alturas de partida e chegada: ‘a bola não

chega em uma altura maior do que partiu do repouso'. Ela extrai da observação que a altura de chegada da bola é no máximo igual à de partida, subsídios para rechaçar a possibilidade do Homem-aranha alcançar o topo do prédio C, mais alto que seu ponto de partida.

Jerusa, uma outra estudante, acredita na possibilidade de toda a água voltar ciclicamente mantendo o reservatório da hidrelétrica sempre cheio. Ela justifica sua resposta positiva comparando a situação com vasos comunicantes:

...Vai haver um ciclo... continuará sempre o mesmo ciclo... é como vasos comunicantes.

Na mesma questão, Nádia usa uma analogia com o movimento de um carrinho de montanha russa. De acordo com seu argumento, a água poderia retornar ao reservatório, pois seu movimento seria similar ao de um carrinho de montanha russa:

...podemos imaginar um carrinho de montanha russa. Ele desce uma certa altura e sobe com uma certa velocidade... o mesmo acontece com a água.

Nas duas últimas sentenças, verificamos que as analogias são estruturadas também em fenômenos tratados na disciplina de física. Entretanto, não é feita nenhuma restrição às condições que permitem importar estes conhecimentos de outros contextos para situações apresentadas. Em outras palavras, nem todo o conhecimento sobre vasos comunicantes ou 'montanhas russa' é conveniente para analisar a situação da hidrelétrica e, especificamente, a descrição feita sobre ela. O uso de modelos analógicos torna-se uma estratégia perigosa para os estudantes quando entendido como identidade literal.

Contudo, muitos estudantes utilizaram-se deste recurso. Sete estudantes fizeram uso explícito de analogias em suas justificativas. Eduardo, por exemplo, utilizou tal estratégia em três respostas. Quando a situação mudava, como no caso da inserção do bastão, na questão 6, o estudante buscava novas situações nas quais as comparações eram possíveis. Os extratos seguintes ilustram sua forma de interpretação. Respondendo a questão 1 (posição I), ele destaca:

...é o mesmo esqueminha da bola de sinuca.

Na questão 7 (bastão E), afirma que o bastão serviria como:

... uma alavanca... é o mesmo que acontece quando uma pipa bate em um fio de transmissão de energia elétrica... ela bate no fio e vai mais alto.

Justificando uma resposta negativa sobre o retorno contínuo de toda a água ao reservatório da hidrelétrica, Eduardo foi incisivo:

... é impossível que a água retorne. Se pegarmos duas caixas d'água à mesma altura e ligarmos uma mangueira, a tendência da água é ficar ao mesmo nível.

Seu estilo de pensamento era, evidentemente, baseado em analogias.

Possivelmente, os estudantes que fizeram apelo às analogias careciam de um conhecimento teórico eficaz para analisar as situações apresentadas. Em suas respostas, além da estrutura relacional entre os objetos, na maioria das vezes, a analogia admitia o mero traslado de propriedades observacionais dos objetos nos diferentes contextos, de modo que, as repostas pareciam mais um método evasivo do que construtivo. Ou seja, evitava-se adentrar nas especificidades da situação pela apresentação de analogias.

CAPÍTULO IV

A INSTABILIDADE DOS MODELOS MENTAIS E AS IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO

IV.1- INTRODUÇÃO

Como enfatizamos no capítulo III, detectar a existência de modelos mentais nas respostas expressas pelos estudantes é uma tarefa complexa, devido, principalmente, ao acesso limitado do pesquisador a estas representações. Cientistas e educadores expressam seus modelos com os mais variados *modos de representação*, através dos quais os seus modelos são apresentados. Em muitos casos, as informações necessárias à explicação de um fenômeno requerem a utilização de mais de um modo de representação (*concreta, verbal, visual*, entre outras), portanto, cientistas e educadores têm ao seu alcance diversos recursos que, em conjunto, dêem conta da apresentação de um modelo e da representação de um fenômeno (Boulter e Buckley, 2000). Por outro lado, estudantes possuem recursos limitados para expor seus modelos, o que usualmente se reduz à forma *verbal* (linguagem natural) ou *matemática* (fórmulas, equações). Desta maneira, identificar características de modelos mentais em suas representações é uma atividade difícil, e até o ponto de desenvolvimento do referencial dos modelos mentais é um tanto superficial. Todavia, acreditamos que modelos possam ser inferidos em todas as categorias obtidas.

Em situações um pouco diferenciadas daquelas comumente analisadas na disciplina Física, os estudantes utilizaram preferencialmente toda sorte de esquemas intuitivos. A pluralidade de enfoques apresentada pode ser entendida como o resultado de uma amálgama entre as concepções alternativas e as concepções científicas tratadas na escola. Os modelos produzidos não dispuseram de guias e acabaram sendo um resultado de um processo “*self service*”, onde os estudantes buscavam no arsenal conceitual aquilo que no momento lhes parecia mais adequado.

Surpreendentemente, observamos a falta de menção explícita tanto quanto implícita do PCE. Em toda a análise de resultados, não detectamos nenhum argumento plausível, que pelo menos desse indícios da presença do PCE nos processos de construção de

modelos. Na diversidade de questões, as respostas não mostraram vínculos com o PCE. O resultado foi inesperado na medida em que o protocolo foi elaborado justamente sobre situações onde o PCE poderia ser invocado, ou seja, todas as questões podiam ser respondidas de maneira simples, sem necessariamente entrar nos detalhes de cada situação.

Além disso, os estudantes poderiam, a qualquer momento das entrevistas, reelaborar suas respostas, ao perceberem a possibilidade de tratar as questões de outra forma. Porém, cada questão era vista de forma independente, merecendo, na maioria das vezes, um enfoque diferenciado.

Um dos aspectos relevantes extraído dos resultados diz respeito à preferência dos estudantes pelos processos cognitivos “*construtivistas*” em detrimento de uma abordagem calcada em princípios, em referência à classificação feita por Einstein (1950). Por essa abordagem construtivista entendemos a formação de modelos nos quais as idéias são proposições simples, forjadas sobre representações fundamentais e aperfeiçoadas localmente. Por outro lado, os modelos podem ser construídos com pontos de vista mais gerais, a partir de propriedades observáveis ou não nos fenômenos, que se aplicam a qualquer situação física. No segundo caso, os princípios atuam como *guias heurísticos* na construção de modelos, estabelecendo critérios de consistência aos modelos elaborados.

A desvantagem do primeiro tipo de representação reside em priorizar os elementos mais perceptíveis dos fenômenos, muitas vezes, como já mencionamos, desnecessários para solucionar um problema. Nesta abordagem, os modelos não dão conta de representações adequadas de situações diferenciadas daquelas escolares. Voltaremos a este ponto mais adiante.

No plano individual, podemos perceber, pelos resultados da tabela III.3, que 95% dos estudantes entrevistados recorreram a mais de uma estratégia para responder e explicar as questões propostas (somente a aluna Karina utilizou uma única estratégia). Uma inferência possível aponta na direção de formação de modelos mentais sem nenhuma espécie de amarração, ou raiz pela qual os conceitos utilizados pudessem ser conectados e, quando necessário, gerenciassem a formação de novas representações. No plano coletivo, como podemos verificar na tabela III.2, a diversidade de estratégias aponta para uma distribuição caótica dos modelos mentais construídos pelos estudantes entrevistados. Tal resultado, a priori, não era esperado, tendo em vista que a amostra de estudantes era homogênea, isto é, os estudantes tinham formações similares. Admitindo-se que todos os

estudantes tiveram acesso aos mesmos conteúdos programáticos, em especial ao PCE, e valerem-se de estratégias divergentes, dá indícios da maneira ineficaz como o PCE vem sendo abordado na escola.

De maneira geral, os estudantes manipularam alguns conceitos físicos fornecidos no ensino médio. Nas categorias analisadas, existem articulações entre um ou mais conceitos e as situações apresentadas. Força, aceleração, velocidade, impulso, entre outros, são conceitos utilizados pelos estudantes nas categorias analisadas e, mesmo de forma equivocada, fazem parte do seu vocabulário científico. Todavia, o ensino de Física acaba sendo um mero fornecedor de arsenal conceitual, algumas vezes bem entendido, outras não. Mas o ensino de Física não se ocupa em trabalhar adequadamente os critérios para a aplicação dos conceitos. Deste modo, a pluralidade de enfoques é possivelmente decorrência da forma de encaminhar a solução de problemas sem princípios gerais e não da apresentação dos conceitos. Nas aplicações não escolares, os modelos padrões oferecidos pelo ensino não se ajustam perfeitamente às situações em que são enxertadas perturbações. A questão parece não ser somente aprender a modelizar ou incorporar os modelos fornecidos pelo ensino, mas acrescentar critérios de validação ou seleção dos modelos construídos.

Contudo, a pluralidade de enfoques não é em si algo ruim, pois denota imaginação e criatividade, atributos essenciais à construção de modelos, como afirma Bunge (1974). De fato, podar a imaginação dos estudantes é algo aparentemente infrutífero do ponto de vista da aprendizagem e, certamente, estaria à margem desta discussão caso pudéssemos prescindir o compromisso com o conhecimento científico. Com efeito, é preciso que guias sejam fornecidos para que o processo de construção de modelos se dê dentro de padrões aceitáveis pela ciência.

Queremos afirmar que criatividade e imaginação utilizadas de maneira solta pelos estudantes não levam à *explicação* (pelo menos não dentro de critérios qualitativos. Ver Brewer et al., 1998; Gilbert, 2000b). Apesar disto, os estudantes tomavam suas respostas como legítimas *explicações*, pois faziam sentido para eles nas situações em questão. Por outro lado, uma explicação coerente é fixada em alguns pontos pelos quais se fornecem uma fundamentação segura às idéias, caso contrário, corre-se o risco de abraçar os mais variados modelos por toda sorte de razões. Por exemplo, na categoria *simetria*, um modelo baseado na conservação do ângulo é até aplicável em situações com alto grau de simetria,

no entanto, nas situações em que são inseridas perturbações que quebrem essas simetrias, ele será falho. Desta forma, é necessário aos estudantes lançar mão de um nova construção capaz de absorver esta perturbação.

A falta de *guias heurísticos* impede os estudantes de avaliarem os elementos básicos ou definições contidos em seus modelos. A exemplo disto, conceitos como energia e os processos de transformação são utilizados sem que haja qualquer menção ao PCE. Da mesma maneira, em situações em que pequenas modificações eram introduzidas, os estudantes tendiam a abandonar o padrão de resposta. Percebemos mais uma vez como o PCE não tem papel de princípio científico para os estudantes. Destituídos deste *suporte heurístico*, os modelos construídos acabam tornando-se *frouxos* demais, na medida em que a capacidade de dar conta do novo provoca uma reorganização *caótica* de idéias.

Neste sentido, voltaremos nossa discussão à compreensão das categorias analisadas segundo a perspectiva de algumas características dos modelos mentais. Nosso intuito será voltado à interpretação dos modelos mentais no aspecto relativo à *instabilidade*.

IV. 2- SOBRE A INSTABILIDADE DOS MODELOS

Dentre as muitas qualidades atribuídas às representações mentais dos estudantes, uma das posições que causa menos controvérsias gira em torno do consenso sobre a instabilidade dos modelos mentais que os indivíduos possuem (Norman, 1983; Moreira, 1997). Tal consenso permite compreender as dificuldades em investigar os modelos mentais dos estudantes, muitas vezes nebulosos e sem precisão conceitual. Porém, pouco tem se indicado, no tocante à interpretação e formas de absorver, como via de acesso para preparação de estratégias didáticas, esta característica. Neste sentido, a pluralidade das estratégias utilizadas pelos estudantes pode ser vista como consequência direta da *instabilidade* de seus modelos mentais.

O trabalho realizado por Krapas et al. (2000) caminha nesta direção. Em seu estudo, analisaram protocolos contendo 4 questões referentes à Lei de Gauss, com estudantes de Física Básica da Universidade Federal Fluminense. As respostas dos estudantes foram classificadas em seis categorias, a saber: só fórmula, cálculo usual, articulada, isolante, macete, corretas. Na categoria só fórmula, as respostas geralmente eram expressas de forma matemática, consistindo na identificação de variáveis de alguma lei física e não

tinham poder explicativo. As respostas articuladas envolviam articulações entre conceitos da lei física com as variáveis do problema, tinham poder explicativo e eram expressas na linguagem natural. Na categoria macete, as respostas dadas pelos estudantes faziam recorrência a frases prontas do tipo: “*campo elétrico no interior de um condutor é nulo*”. Não apresentavam poder explicativo e eram expressas na linguagem natural. A categoria isolante caracteriza respostas nas quais os estudantes utilizavam explicações baseadas na concepção equivocada de que um corpo isolante impede a ação do campo elétrico. Na categoria cálculo usual, estudantes recorriam às estratégias de cálculo, muitas vezes, para complementar outros tipos de respostas.

Na segunda etapa do trabalho, as categorias foram analisadas de acordo com algumas características dos modelos mentais: *instabilidade*, *dinamismo*, *forma de representação* (proposição versus imagem). Para eles, o caráter gerativo dos modelos mentais é identificado na dimensão *dinamismo* e dá conta da compreensão de como os modelos mentais são capazes de produzir novas idéias a partir de idéias iniciais, isto é, a chamada “*rodagem*” pela qual é possível articular o conhecimento de ordem conceitual e matemática, permitindo explicações e predições. A *forma de representação* diz respeito à forma de expressão utilizada pelos estudantes, ou seja, linguagem natural, linguagem matemática e imagens. Às características mais difundidas dos modelos mentais é acrescentada a *instabilidade*, o que, na compreensão destes autores, é fruto da tentativa da mente em se ajustar às alterações de conteúdo e contexto da realidade física imposta pelas situações problemas.

A idéia de *instabilidade* como característica de um modelo mental, em um primeiro momento, pareceria redundante, tendo em vista o funcionamento *caótico* da mente humana. Entretanto, a *instabilidade* mencionada contempla nuances do pensar humano que permitem adaptação com presteza das representações às variações do meio físico em questão. Neste sentido, a *instabilidade* também não é entendida como pequenas variações em torno de um ponto de equilíbrio, própria dos *sistemas regulares*, como, por exemplo, um pêndulo simples; mas sim, em semelhança ao funcionamento de *sistemas complexos*, intrinsecamente eficientes e ágeis a adaptações mediante variações repentinas do meio, é o caso típico do funcionamento de um coração saudável. Um coração saudável funciona de maneira instável, enquanto um coração doente é bem comportado.

O interessante é que os *sistemas complexos* adotam uma solução de *compromisso* objetivando maximizar o atendimento às solicitações do meio. Desta maneira, um coração saudável reduzirá os batimentos quando estivermos em repouso e adequará os batimentos quando desempenharmos alguma atividade. O que é distintivo em relação a esta propriedade é o compromisso em manter o corpo saudável, garantindo, assim, que não haja “inércia” nesta adaptação. Não seriam espantosas flutuações repentinas nos batimentos cardíacos. Krapas et al. entendem que as representações mentais dos indivíduos funcionam de forma similar, daí a compreensão dos vários adjetivos que as qualificam: imprecisas, incompletas, complexas.

Os resultados da análise deste trabalho são apresentados na tabela IV.1 abaixo (reproduzido de Krapas et al., 2000).

		DIMENSÃO		
		Estabilidade	Dinamismo	Forma de representação
C A T E G O R I A	Só fórmula	Sistema caótico	Não	Proposição (linguagem matemática)
	Cálculo usual	Sistema regular	Sim	Proposição (linguagem matemática)
	Articulada	Sistema complexo	Sim	Proposição (linguagem natural) / Imagem
	Isolante	Sistema complexo	Sim	Proposição (linguagem natural) / Imagem
	Macete	Sistema regular	Não	Proposição (linguagem natural)
	Corretas	?	Sim	Proposição (linguagem matemática)

Tabela V.1. Sumário da análise das categorias em relação as características: estabilidade, dinamismo, forma de representação (Krapas et al., 2000).

Krapas et. al. contribuem para o entendimento dos modelos mentais afirmando que a característica que define um modelo mental é, além do dinamismo (ver Franco e Colinviaux, 2000), a *instabilidade*, que é inerente aos *sistemas complexos*. Conforme esta abordagem, concluem que falta aos estudantes modelos mentais adequados ao entendimento da Lei de Gauss. Eles consideram um dos fatores preponderantes a forma das avaliações realizadas nos cursos de Física básica, em geral limitadas a medir o desempenho dos estudantes nas técnicas de resolução de problemas. Algumas diretrizes são apontadas em tal discussão: a primeira trata diretamente do ensino de Física tradicionalmente praticado, em particular, na valorização excessiva de representações mentais do tipo *estável*; a segunda remete-se ao interesse dos professores em incorporar ações voltadas a

atender estudantes, cujas representações apresentem a *instabilidade* supracitada. Enfim, para eles, as representações a serem privilegiadas são as do tipo *modelos mentais*, contudo, reconhecem as dificuldades em implementar estratégias nessa direção, bem como um posicionamento mais ameno que não descarte por completo, do ponto de vista da aprendizagem, representações do tipo *estável*.

IV.3- MODELOS PEDAGÓGICOS, MODELOS MENTAIS E O PCE: A NECESSIDADE DA INSTABILIDADE COMPLEXA

Passaremos doravante à interpretação dos resultados obtidos na análise das respostas dadas pelos estudantes nas entrevistas, utilizando a característica *instabilidade* dos modelos. Buscamos o entendimento da pluraridade de enfoques e, mais adiante, declarar seus motivos e também encaminhamentos no sentido de contorná-la.

Em nossa análise de livros didáticos realizada no capítulo I, mostramos que a preocupação dos autores em abordar o PCE era voltada a fornecer técnicas de resolução de exercícios. Tal intenção, temos afirmado, é refletida na prática de professores na sala de aula, onde o aspecto quantitativo “formulismo” é, via de regra, privilegiado em detrimento dos aspectos qualitativos do conteúdo. Somado a isto, o papel da escola não tem sido ensinar modelos e muito menos processos de modelização, apenas transmitir conceitos, leis e princípios visando aplicações em situações padrões. Na nossa pesquisa, em particular, isto é presenciado nas aplicações de leis da mecânica às situações apresentadas. Além disto, não são apresentados requisitos para distinguir o que é e o que não é essencial na construção de representações científicas.

Embora a construção de modelos não seja um objetivo declarado do ensino de Ciências, não podemos dizer que a ciência escolar seja destituída de *modelos pedagógicos*. Como não aceitam perturbações, estes modelos são *rígidos* e servem apenas para situações conhecidas e estudadas previamente no contexto escolar. Por exemplo, ao modificarmos algo nas situações do protocolo, quer seja inserindo um bastão, a teia elástica, ou outros elementos, as perturbações não eram agregadas aos modelos até então utilizados, gerando novos modelos. Ao nosso ver, um modelo deve ser capaz de abarcar novas situações, isto implica possuir certos *graus de liberdade e compromissos*. Os modelos escolares

atualmente contemplados não deram conta da riqueza das questões e, na maioria das situações, acabaram “quebrando” e dando origem a novos modelos.

Vale ressaltar que, em nossa investigação, propositalmente procuramos situações que causassem um certo desequilíbrio, ou seja, gerassem conflitos cognitivos, na medida em que as situações físicas propostas eram diferentes das encontradas nos livros didáticos e nas exemplificações feitas freqüentemente nas aulas de Física. Provavelmente, se houvéssemos realizado uma investigação partindo de questões tradicionais no ensino médio (looping, montanha russa), os estudantes saberiam encaminhar respostas de acordo com as soluções padrões ensinadas.

Ao que parece, os modelos *estáveis* fornecidos pela escola não se adequam a novas realidades fora do contexto escolar. Neste sentido, concordamos com a afirmação de Krapas et al. (2000) no que tange ao privilégio dado por estas abordagens às representações *estáveis*. Mais ainda, acreditamos na inoperância quase total de tais representações em situações novas. A inoperância destas representações pode ser lida na pluralidade de enfoques dados às questões, denotando uma *instabilidade caótica*. *Instabilidade caótica* no sentido de grande modificação (em geral um novo modelo) em consequência de pequenas variações nas condições iniciais (devido a introduções de novas condições na situação ensinada). Esta *instabilidade caótica* se verifica na forma de representação utilizada pelos estudantes e também na ausência de *dinamismo* de seus modelos mentais.

O nosso protocolo apresentava uma característica peculiar, apesar das entrevistas serem qualitativas, em nenhum momento os estudantes eram impedidos de recorrerem a quantificações. Esta ressalva é importante, pois, em todas as categorias, os modelos expressos limitaram-se basicamente à forma proposicional da linguagem natural, ou seja, regras articuladas em modelos mentais, interligando conceitos e aspectos da disciplina de Física. Nas categorias *simetrias* e *analogias*, podemos ainda acrescentar uma componente imaginística. Na primeira, a geometria do problema é importante, o que é percebido, sobretudo, nos argumentos relacionados a conservação de ângulos. Na categoria *analogias*, a recorrência às imagens também está presente. A aluna Flávia, anteriormente citada, utiliza em sua analogia a imagem de uma bola se movimentando em um círculo para justificar que o Homem-aranha não alcançaria o topo do prédio C.

A ausência da linguagem matemática pode ser compreendida pelo que viemos argumentando: as situações apresentadas eram um tanto diferenciadas das encontradas no contexto escolar, impedindo o uso indiscriminado de fórmulas. Como já evidenciamos, o ensino de Física, tradicionalmente concebido, privilegia representações mentais na forma da linguagem matemática. As técnicas de resolução de exercícios sob as quais são avaliados os desempenhos dos estudantes denotam esta tendência quase unânime entre os educadores desta área.

Pela forma de representação expressada, podemos também apontar indícios que motivam a falta de apelo ao PCE nos modelos construídos. Em primeiro lugar, os *modelos expressos* que os professores de Física fazem uso são apresentados frequentemente sob o *modo de representação verbal e/ou matemática*. Entretanto, os aspectos qualitativos do conteúdo são sempre deixados de lado quando se parte para as aplicações. Os estudantes, por sua vez, formarão representações mentais que sejam mais condizentes com as exigências da disciplina. Em situações como as apresentadas, aqueles “*macetes matemáticos*” induzidos na escola não funcionam, ou pelo menos não facilmente; surge, assim, a necessidade de contemplar outros aspectos nas justificativas, demonstrando a precariedade do embasamento conceitual dos estudantes entrevistados. Em segundo lugar, modelos mentais fundamentados no PCE deveriam apresentar uma articulação entre a forma de representação verbal e matemática, o que envolveria a idéia de conservação da quantidade total de energia no universo, associada à expressão matemática desse princípio.

Longe de acharmos prejudicial as representações na forma da linguagem matemática, acreditamos que elas devam fazer parte do processo de ensino/aprendizagem de Física. Atentamos, porém, à necessidade de uma maior articulação entre as fórmulas propriamente ditas e os conceitos e princípios. Usar fórmulas na resolução de exercícios e avaliações de física não implica necessariamente atribuir significado às mesmas ou integrá-las corretamente a um modelo.

Despidos da possibilidade de empregar um raciocínio puramente matemático, os estudantes construíram modelos mentais flexíveis ao extremo. Os modelos expressos têm infinitos *graus de liberdade* e não respeitam nenhum *compromisso*, ou seja, qualquer perturbação inserida ou a própria natureza diferenciada das questões conduzia às mais variadas proposições. Pelo que vimos até aqui, as *técnicas* e *macetes* ensinados na escola

são criados para a escola e legitimados apenas neste contexto. O prejuízo maior, com certeza, é o comprometimento das estruturas de pensamento dos estudantes.

O caráter gerativo dos modelos mentais é quase ausente nas categorias produzidas nesta análise se o entendermos de maneira restrita, isto é, assumirmos que as explicações dadas pelos estudantes são rudimentares em relação à absorção de novas articulações. Os resultados apresentados na tabela 3 corroboram nossos argumentos. Por exemplo, o aluno Rafael utilizou cinco estratégias diferentes, ao longo das suas explicações, e, muitas vezes, complementou suas respostas com mais de uma estratégia (q1, q2, q3, q12). O modelo mental baseado em *simetrias* exposto por Everton, um outro estudante citado, serviu somente para cinco questões (q1, q2, q3, q4, q6). Podemos observar que estas questões guardam uma certa semelhança entre si, todavia, do ponto de vista global das questões, o estudante utilizou quatro estratégias diferentes. Um modelo mental gerativo propiciaria a harmonização de todas as perturbações inseridas em uma única estrutura de pensamento, sendo capaz de tratar todas as questões propostas.

Curiosamente, as representações mentais *estáveis*, ou pelo menos os modelos pedagógicos da escola, são vistos como um ponto positivo unicamente. Em contraste com esta posição, representações mentais *flexíveis* são, na maioria das vezes, vistas como indesejáveis. Até agora temos criticado a pluraridade de enfoques dos estudantes entrevistados. Porém, o contraponto aqui estabelecido serve para indicarmos a necessidade de uma posição mediadora, nem a favor dos modelos *estáveis* ensinados formalmente, nem respaldando os modelos mentais *caóticos* dos estudantes. Em acordo com Krapas et al. (2000), assumiremos que modelos mentais são representações mentais com funcionamento similar aos *sistemas complexos*. Neste palco entra em cena o papel dos princípios.

IV.4- A INSTABILIDADE DO MODELOS MENTAIS E AS IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO

Os modelos mentais dos estudantes entrevistados mostraram uma *instabilidade caótica*, enquanto que o desejável seria que a instabilidade fosse aquela dos *sistemas complexos*: isto é, que as mudanças fossem no sentido de preservar a base da explicação. Argumentaremos que é o legítimo papel dos princípios prover os modelos de um “lastro heurístico”, evitando que a instabilidade se torne caótica.

Usaremos uma argumentação analógica para expor o vínculo entre o PCE e os modelos. Retomando o exemplo do coração saudável, podemos admitir o *compromisso* principal em manter o corpo sadio. Para atender a este *compromisso*, pode adaptar-se agilmente as variações bruscas do meio. Por exemplo, se levamos um susto, imediatamente o coração irá atender a esta solicitação, aumentando os batimentos, e à tarefa de manter o corpo sadio. Os modelos mentais também podem ser entendidos desta maneira, só que enfatizamos o compromisso principal com o PCE.

Nas situações propostas, várias *solicitações* eram feitas. Num primeiro momento, eram as questões que se colocavam como foco das explicações. Num segundo momento, as perturbações inseridas ao longo das situações iniciais pediam respostas e justificativas. Ao nosso ver, o *compromisso* a ser respeitado é com a teoria científica, no caso, a mecânica do ponto material. Neste contexto, o PCE é o lastro que permite *flexibilidade* aos modelos mentais, sem com isto libertá-los dos compromissos com a teoria. É um guia na seleção de modelos possíveis. O papel do PCE e seu uso poderiam, neste caso, se assemelhar ao *núcleo duro* e à *heurística positiva* na concepção epistemológica de Lakatos (1979).

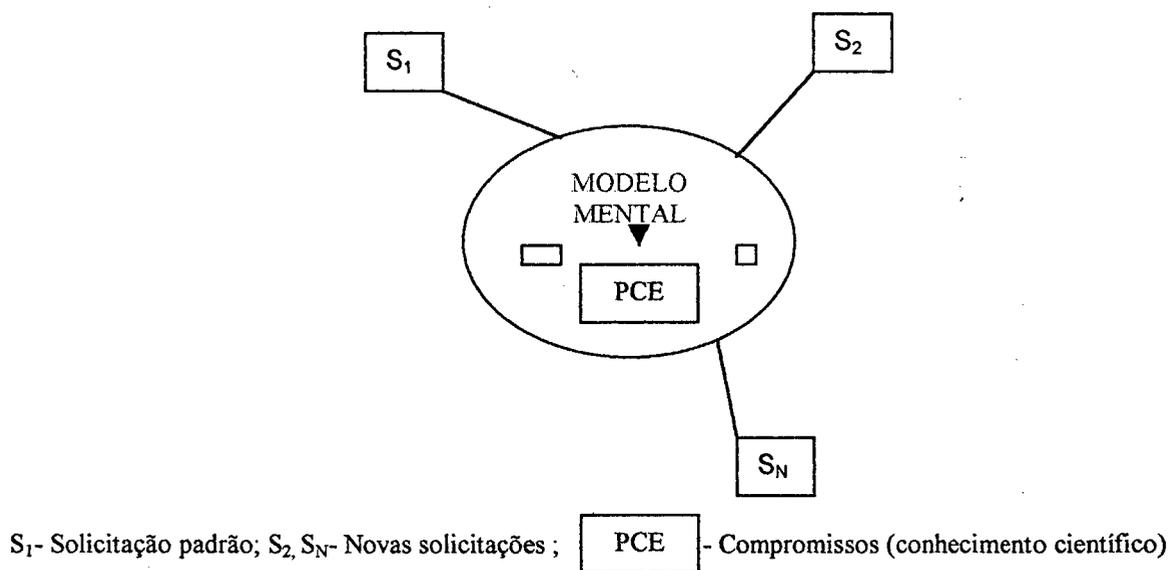


Figura V.1- Modelo mental na perspectiva da *instabilidade complexa*

Na figura acima, procuramos fornecer uma visualização das idéias propostas. Os modelos pedagógicos trabalhados no ensino de Física apresentam-se extremamente fechados, em geral, atendendo apenas solicitações de tipo padrão (S₁). Tais solicitações são aquelas comumente vistas na escola, como: looping, montanha russa e pêndulo.

Portanto, atendem de forma restrita *compromissos* com o conhecimento científico. Novas solicitações neste contexto requereriam novos modelos como fruto do rompimento com o *compromisso* científico.

Seria de se esperar que, com a revalorização do PCE, a *instabilidade caótica* instalada pudesse ser evitada. A implicação imediata seria o aumento dos *graus de liberdade* dos modelos. Possivelmente, os modelos forjados, a partir da valorização do papel do PCE, atenderiam a novas solicitações (S_N), sem, no entanto, provocarem um desencadeamento *caótico* de idéias. Nas situações propostas, um encaminhamento traçado mantendo o *compromisso* com o PCE levaria, por exemplo, à conclusão que, fossem quais fossem as perturbações introduzidas nas questões de q1 até q12, o Homem-aranha não alcançaria o topo do prédio C ; do mesmo modo, os modelos expressos para lidar com o moto-perpétuo proposto nas questões q13, q14, q15 deveriam negar a possibilidade de geração permanente de energia. Os Modelos pedagógicos, assim concebidos, são *flexíveis* na medida em que permitem aplicações à diversas situações mantendo o *compromisso* com o PCE e, nesta medida, a *instabilidade complexa* deve ser vista como qualidade desejável.

Entretanto, a *flexibilidade* dos modelos pedagógicos ensinados não implica a construção de modelos mentais com o mesmo aporte. Os resultados obtidos indicam que os modelos mentais possuem regras muito *frouxas*. A nossa conclusão é que o processo de modelização feito na escola incorpore o PCE como *guia heurístico*, garantindo *flexibilidade* aos modelos construídos pelos estudantes do ensino médio. O primeiro passo cabe aos educadores, na reformulação das situações tratadas e utilizadas em consonância com guias gerais, como os Princípios de Conservação.

Finalmente, os modelos mentais são representações que de acordo com Krapas et al.(2000), guardam uma dimensão *gerativa* e uma *instabilidade complexa*. Em nosso entendimento, tais requisitos são necessários e poderiam ser obtidos com a incorporação do PCE como *guia heurístico*. Desta forma, fazer as representações dos estudantes se aproximarem daquelas da ciência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todos os indivíduos constroem representações do mundo à sua volta. O ensino de Física, em particular, tem a missão de contribuir para a adequação destas representações com o corpo de conhecimento da ciência Física. Neste trabalho, tínhamos o objetivo de verificar se as representações dos estudantes do ensino médio incorporavam elementos do conhecimento científico, em especial os Princípios de Conservação.

Constatamos que os estudantes do ensino médio não recorrem ao PCE na elaboração de suas explicações, mesmo em situações nas quais uma solução encaminhada pelo princípio é a mais simples. Desta maneira, ao explicarem situações fora do contexto escolar, privilegiam idéias intuitivas e conceitos de forma pouco precisa. Isto se evidencia na pluralidade de enfoques dados às situações quando é necessário aplicar o conhecimento científico aprendido na escola.

Os modelos mentais produzidos são muito *frouxos*. Qualquer perturbação é capaz de modificar a base das explicações. Tal condição reforça a argumentação que o ensino de Física serve apenas para a resolução de exercícios artificialmente formulados na escola. Fora deste contexto, qualquer situação nova provoca uma reorganização total das idéias. Desta maneira, os modelos produzidos pelos estudantes apresentam uma *instabilidade caótica*. Qualquer mudança nas situações previamente estudadas na escola carece de um novo modelo para explicá-la.

A *instabilidade caótica* é fruto da incapacidade dos *modelos pedagógicos* tratados na escola em assimilarem perturbações. Tais modelos, por serem *estáveis*, são pouco operacionalizáveis em contextos diferenciados do escolar. Sabemos que os modelos mentais dos estudantes são *instáveis*, entretanto, seria interessante a transição para uma *instabilidade complexa*. Tal *instabilidade*, proposta por Krapas e colaboradores (2000), é marcada pela agilidade dos modelos mentais em se adaptarem a novas situações. Todavia, para ocorrer à adaptação de forma a respeitar os *compromissos* com o conhecimento científico, são necessários *guias*. O PCE é um dos *guias* possíveis.

Dentro desta concepção, os novos atributos do meio exterior não exigiriam uma total reorganização de idéias, pois haveria *guias* para determinar os elementos essenciais a estas construções, garantindo a *flexibilidade* necessária. Abriria-se, assim, a possibilidade de tratamento de situações desafiadoras, mas à luz das amarrações *heurísticas*.

Finalmente, vale ressaltar a importância das considerações feitas com relação à perspectivas didático-pedagógicas futuras. Se, de um lado, as críticas *construtivistas* amenizaram, na esfera escolar, a visão *positivista* tradicional, de que é aceito o que se pode provar; de outro, o encanto produzido por tais idéias, conspirou contra os objetivos mais fundamentais da educação científica, instituindo-se a ditadura do indivíduo. Ao nosso ver, a posição aqui adotada, é no sentido de uma reequilibração entre estas duas posturas, na medida em que permite a *liberdade* de pensamento do indivíduo sem, com isto, negar a *legitimação* do conhecimento científico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUTH, M. e ANGOTTI, J. A. P. **O processo de ensino/ aprendizagem com aporte do desenvolvimento histórico de universais: a temática das combustões.** In: Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa abordagem integradora. PIETROCOLA, M. (org). Florianópolis : Editora da UFSC, 2001.

ASTOLFI, J. P. **Los obstáculos para el aprendizaje de conceptos en ciencias : la forma de franquearlos didácticamente.** In : PALACIO, C.; ANSOLEA, D.; AJO, A. (Eds.) Diez años de investigación e innovación en enseñanza de las ciencias. Madrid : CIDE, 1993.

ASTOLFI, J. P. e DEVELAY, M. **A didática das ciências.** São Paulo: Papirus, 1995.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico : contribuição para uma psicanálise do conhecimento.** Rio de Janeiro : Contraponto, 1996.

BACON, F. **Novum organum ou verdadeiras indicações acerca da interpretação da natureza; nova atlântida.** São Paulo: Abril Cultural, 1979.

BLACK, P. & SOLOMON, J. **Life-world and science world- pupils' ideas about energy.** Entropy in the school, vol. 1, Roland Eotvos Physical Society, Budapeste, Hungria, 1983.

BONJORNO, R. F. S. A.; BONJORNO, J. R., BONJORNO, V. & CLINTON, M. R. **Física.** São Paulo: FTD, 1992.

BORGES, A. T. **Modelos mentais de eletromagnetismo.** CCEF, vol. 15, n. 1, pp. 7-31, 1998.

_____. **Como evoluem os modelos mentais.** Ensaio, vol.1, n.1, pp. 85-125, 1999.

BOULTER, C. e BUCKLEY, B. C. **Constructing a typology of models for science education.** In: Developing models in science education. GILBERT, J.K E BOULTER, C.J. (eds). Dordrecht: Kluwer, 2000.

BREWER, W. F. **Schemas versus mental models in human memory.** In: Modelling cognition. MORRIS, P. (ed). Chichester: John Wiley, pp. 187-197, 1987.

BREWER, W. F. **Scientific theories and naive theories as form the mental representation: psychologism revived.** *Science & Education*, vol. 8, pp. 489-505, 1999.

BREWER, W. F.; CHINN, C. A. & SAMARAPUGAVAN, A. **Explanation in scientists and children.** *Minds e Machines*, vol. 8, pp. 119- 136.

BROOK, A. **Children's understanding of ideas about energy: a review of the literature.** In: Energy Matters. DRIVER, R. & MILLAR, R. (eds). Leeds, U.K. : University of Leeds, 1985.

BROOK, A. & DRIVER, R. **Aspects of secondary student's understanding of energy.** University of Leeds, Children's Learning in Science Project.

BUCKLEY, B. C. e BOULTER, C. **Investigating the role of representations and expressed models in building mental models.** In: Developing models in science education. GILBERT, J.K e BOULTER, C.J. (eds). Dordrecht: Kluwer, 2000.

BUNGE, M. **Teoria e realidade.** São Paulo: Perspectiva, 1974.

BUNGE, M. **Filosofia da física.** São paulo: Edições 70, 1973.

_____. **Racionalidad y realismo.** Madrid: Alianza editorial, 1985.

CHEVALLARD, I. **La trasposition didactique; du savoir savant au savoir enseigné.** Grenoble: La Pensée Sauvage, 1985.

COLINVAUX, D. (Org). **Modelos e educação em ciências.** Rio de Janeiro: Ravil, 12-34, 1998

CUPANI, A., e M. PIETROCOLA, M. 2002. **A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o Ensino de Ciências.** CCEF, VOL 19, no. 1, pp:97-122., 2002.

CUSTÓDIO, J. F. e PIETROCOLA, M. **Princípios físicos e construção de modelos.** VII EPEF (Encontro de Pesquisa em Ensino de Física), Florianópolis/SC, Abril, 2000.

DAVIS, N. T.; McCARTY, B. J., SIDAMI-TABBAA, A. **Transição do objetivismo para o construtivismo na educação científica.** CCEF, vol. 11, n. 3, pp. 172-183, 1994.

De KLEER, J. & BROW, J. S. **Assumptions and Ambiguities in mechanistic mental model.** In: Mental models. GENTNER, D. & STEVENS, A. L. (eds). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. pp. 155-190, 1983.

DELIZOICOV, D. e ANGOTTI, J. A. **Física.** São Paulo: Cortez, 1992.

DESCARTES, R. **Descartes- os pensadores.** São Paulo: Nova Cultural, 2000.

DRIVER, R. **Psicologia cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos.** Enseñaza de las ciências,6(3), 291-296,1988.

DRIVER, R. **Constructing scientific knowledge in the classroom.** Educational research, vol. 23, n.7, pp. 5-12, 1994.

DRIVER, R. & WARRINGTON, L. **Student's use of the principle of energy conservation in problems situations.** Physics Education. Vol.20, pp. 171-176.

DUIT, R. **Understanding energy as a conserved quantity.** E. J. S. E., Vol. 3, 291-301, 1981.

DUSCHUL, R. A. **Editorial Policy Statements.** Science Education, vol 78, no.3, p. 206, 1994.

EINSTEIN, A. **Out of my later years.** New York: Philos. Library, 1950.

_____. **Como vejo o mundo.** São Paulo: Circulo do Livro Ltda, 1998.

FRANCO, C e COLINVAUX. **Grasping mental models.** In: Developing models in science education. GILBERT,J.K e BOULTER,C.J. (eds). Dordrecht: Kluwer, 2000.

FREIRE-MAIA, N. **A ciência por dentro.** Petrópolis: Vozes, 1991.

GASPAR, A. e PRADO, F. D. **O vestibular, o livro didático e a prática pedagógica do professor em sala de aula.** VII EPEF (Encontro de Pesquisa em Ensino de Física), Florianópolis/SC, Abril, 2000.

GENTNER, D. & STEVENS, A. L. (eds). **Mental models**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1983.

GILBERT, J.K e BOULTER, C.J. **Aprendendo ciências através de modelos e modelagem**. In: Modelos e educação em ciências. COLINVAUX, D. (org). Rio de Janeiro: Ravil, 12-34, 1998a.

GILBERT, J. K.; BOULTER, C.J. & RUTHERFORD, M. **Models in explanations, part 1: horses of courses?** IJSE, vol. 20, no. 1, pp. 83-97, 1998b.

GILBERT, J. K.; PIETROCOLA, M; ZYLBERSZTAJN, A. & Franco, C. **Science education: notion of reality, theory and model**. In: Developing models in science education. GILBERT, J.K e BOULTER, C.J. (eds). Dordrecht: Kluwer, 2000.

GIL-PÉREZ, D. **Differences entre “modeles spontanés”, modeles enseignes et modeles scientifiques: quelques implications didactiques**. A. GIORDAN, J. L. MARTINAND, Actes JES, 9, 1987.

GRANGER, G. -G. **Principes scientifiques, principes philosophiques**. Principia, Florianópolis, v.3, n. 1, pp. 87-99, 1999.

GRIMELLINI-TOMASINI, N.; PECORI-BALANDI, B.; PACCA, J. L. A. & VILLANI, A. **Understanding conservation laws in mechanics: student's conceptual change in learnig about collisions**. Science Education, vol 77, n. 2, pp. 169-189, 1993.

GUTIERREZ, R. e OGBORN, J. **A causal framework for analysing altenative conceptions**. IJSE, vol. 14, no. 2, pp. 201-220, 1992.

HANSON, N. R. **Observação e interpretação**. In: Filosofia da ciência. MORGENBESSER, S. (org). São Paulo: Cultrix, 1979.

HARRÉ, R. **As filosofias da ciência**. Lisboa: Edições 70, 1984.

HEMPEL, C. G. **Explicação científica**. In: Filosofia da ciência. MORGENBESSER, S. (org). São Paulo: Cultrix, 1979.

KANT, I. **Kant- os pensadores**. São Paulo: nova cultural, 2000.

KNELLER, G. **A ciência como atividade humana**. Rio de Janeiro: Zahar; São Paulo, EDUSP, 1980.

KOYRÉ, A. **Estudos de história do pensamento filosófico**. Rio de Janeiro: Forense, 1991.

KRAPAS, S.; QUEIROZ, G.; COLINVAUX, D.; FRANCO, C.; ALVES, F. **Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências**. *Investigações em Ensino de ciências*, 2(3), paginação eletrônica.

KRAPAS, S.; ALVES, F. e CARVALHO, L. R. **Modelos mentais e a lei de gauss**. *Investigações em Ensino de Ciências*, vol 5, no 1, 2000.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1987.

LAKATOS, I. **O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica**. In: A crítica e o desenvolvimento do conhecimento. LAKATOS, I e MUSGRAVE, A. (ORG). São Paulo: Cultrix, 1979.

LARKIN, J. K. **The role of problem representation in physics**. In: Mental models. GENTNER, D. & STEVENS, A. L. (eds). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. pp. 75-98, 1983.

LOPES, A. R. C. **Bachelard: o filósofo da desilusão**. CCEF, vol 13, n.3, pp. 248-273, 1996.

LÜDKE, M. e ANDRÉ, M. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MARTINAND, J.L. **Enseñanza y aprendizaje de la modelización**. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 45-50, 1986.

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

MORAIS, S. R. **Os princípios da interioridade e da exterioridade no estudo da percepção**. In: Princípios: seu papel na filosofia e nas ciências. DUTRA, L. H. de A. &

MORTARI, C. A. (orgs). Florianópolis: coleção rumos da epistemologia, v. 3, pp. 143-156, 2000.

MOREIRA, M. A. **Modelos mentais**. Investigação em Ensino de Ciências, 3, 1-39, 1997.

NAGEL, E. **The structure of science**. Indianápolis, Hackett, 1987.

NERSESSIAN, N. **Should physicist preach what they practice? Constructive modeling in doing and learning physics**. Science and Education, vol 4, nº3, 1995.

NORMAN, D. A. **Some observations on mental models**. In: Mental models. GENTNER, D. & STEVENS, A. L. (eds). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. pp. 6-14, 1983.

OLIVA, A. **A hegemonia da concepção empirista de ciência a partir do novum organon de F. Bacon**. In: Epistemologia: a cientificidade em questão. OLIVA, A. (org). Campinas: Papyrus, 1990.

PATY, M. **Einstein philosophe: la physique comme pratique philosophique**. Paris: Presses Universitaires de France, 1993.

_____. **A matéria roubada: a apropriação crítica do objeto da física contemporânea**. São Paulo: EDUSP, 1995.

PARLETT, M e HAMILTON, D. **Avaliação iluminativa: uma nova abordagem no estudo de programas inovadores**. In: Avaliação de programas educacionais. GOLDEBERG, M. A. A. e Sousa, C. P. São Paulo: EPU, 38-45, 1982.

PIETROCOLA, M. **Construção e Realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino científico através dos modelos**. Investigação em Ensino de Ciências, vol(4), n.3, 1999.

PIETROCOLA, M. **Construção e realidade: o papel do conhecimento físico no entendimento do mundo**. In: Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa abordagem integradora. PEITROCOLA, M. (org). Florianópolis : Editora da UFSC, 2001.

PIETROCOLA, M. e ZYLBERSZTAJN, A. **The use of the Principle of relativity in the interpretation of phenomena by undergraduate physics students.** IJSE, vol. 21, n° 3, 261-276,1999.

PINHEIRO, T. F. **Aproximação entre a ciência do aluno na sala de aula da 1ª série do 2º grau e a ciência dos cientistas: uma discussão.** Dissertação de mestrado. UFSC. Florianópolis,SC,1996.

POINCARÉ, H. **A ciência e a hipótese.** Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1984.

_____. **O valor da ciência.** Rio de Janeiro: Contraponto, 1995.

POSNER, G.; STRIKE, K.; HEWSON, P& GERTZOG, W. **Acomodation of a scientific conception; toward a theory of conceptual change.** Science education, vol 66, n.2, pp 211-227, 1982.

SALTIEL,E. e MALGRANGE, J.C. **Spontaneous ways of reasoning in elementary kinematics.** Eur. Phys. 1, 73-8,1980.

SILVEIRA, F. L. **A filosofia da ciência de Karl popper: o racionalismo crítico.** CCEF, vol 13, n.3, pp. 197-218, 1996.

SOUSA FILHO, O. M. **Evolução Da idéia de conservação da energia: Um exemplo da história d no ensino de Física a ciência.** Dissertação de mestrado. Instituto de física/Faculdade de educação- USP- São Paulo,1987.

STAKE, R. E. **Pesquisa qualitativa/naturalista: problemas epistemológicos.** Educação e seleção. 7:19-27, jan-jun. 1983.

THIJS, G. D. e BERG, E. van den. **Cultural factors en the origin and remediation of alternative conceptions in physics.** Science Education, vol. 4, pp. 317-347, 1995.

VIENNOT, L. **Spontaneous reasoning in elementary dynamics.** Eur. J. Sci Educ. 1(2), 205-222,1979.

ZIMMERMANN, E. **The interplay of pedagogical and science related issues in physics teachers classroom activities.** Tese de doutorado. Universidade de Reading. 1997.

ZYLBERSZTAJN, A. **Concepções espontâneas em física: exemplos em dinâmica e implicações para o ensino.** Revista de Ensino de Física, 5(2), 1982.

WATTS, D. M. **Some alternative views of energy.** Physics education, vol. 18, 213-217.

WILLIAMS, M. D.; HOLLAN, J. D. & STEVENS, A. L. **Human reasoning about a simple physical system.** In: Mental models. GENTENER, D. & STEVENS, A. L. (eds). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. pp. 131-153 , 1983.

ANEXOS



CERTA VEZ, quando tinha seis anos, vi num livro sobre a Floresta Virgem, "Histórias Vividas", uma imponente gravura. Representava ela uma jibóia que engolia uma fera. Eis a cópia do desenho.

Dizia o livro: "As jibóias engolem, sem mastigar, a presa inteira. Em seguida, não podem mover-se e dormem os seis meses da digestão."

Refleti muito então sobre as aventuras da selva, e fiz, com lápis de cor, o meu primeiro desenho. Meu desenho número 1 era assim:



Mostrei minha obra-prima às pessoas grandes e perguntei se o meu desenho lhes fazia medo.