

Daniel Iria Machado

**CONSTRUÇÃO DE CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA
E SOBRE A NATUREZA DA CIÊNCIA COM O SUPORTE DA HIPERMÍDIA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação para a Ciência, Área de Concentração em Ensino de Ciências, da Faculdade de Ciências da UNESP / *Campus* de Bauru, como requisito à obtenção do título de Doutor em Educação para a Ciência, sob orientação do Prof. Dr. Roberto Nardi.

Bauru
2006

Daniel Iria Machado

**CONSTRUÇÃO DE CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA
E SOBRE A NATUREZA DA CIÊNCIA COM O SUPORTE DA HIPERMÍDIA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação para a Ciência, Área de Concentração em Ensino de Ciências, da Faculdade de Ciências da UNESP / *Campus* de Bauru, como requisito à obtenção do título de Doutor em Educação para a Ciência.

Banca Examinadora:

Presidente: Dr. Roberto Nardi
Instituição: Universidade Estadual Paulista – UNESP

Titular: Dr. Aguinaldo Robinson de Souza
Instituição: Universidade Estadual Paulista – UNESP

Titular: Dr. Eduardo Adolfo Terrazzan
Instituição: Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Titular: Dra. Fernanda Ostermann
Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Titular: Dra. Miriam Celí Pimentel Porto Foresti
Instituição: Universidade Estadual Paulista – UNESP

Bauru, 13 de abril de 2006.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Roberto Nardi, personalidade construtiva e construtivista, pelo apoio fornecido e pela inestimável orientação.

Aos professores Aguinaldo Robinson de Souza, Eduardo Adolfo Terrazzan, Fernanda Ostermann e Miriam Celí Pimentel Porto Foresti, pelos valiosos comentários e sugestões.

Aos professores Fernando Bastos e Renato Eugênio Diniz, pela oportunidade de debater relevantes questões do Ensino de Ciências.

Aos colegas Sérgio Camargo e Regina Munhoz, pelo companheirismo e acolhimento em sua casa durante muitas estadas em Bauru.

Ao professor Robson e à professora Arlete, pelo apoio à realização do curso-piloto de Física Moderna no Ensino Médio com a utilização da hipermídia.

Aos pesquisadores e estudantes que forneceram subsídios para a avaliação da proposta apresentada neste trabalho.

À Ana Lúcia Grijo Crivellari e Andressa Ferraz Castro, pela afabilidade, atenção e paciência nos atendimentos da Seção de Pós-graduação.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, pelo suporte fornecido mediante seu programa de capacitação docente.

Aos meus pais, dedicados educadores, pelo incentivo e apoio.

À Denise Paro, companheira brilhante e carinhosa, pelo apoio e compreensão.

A todos os que contribuíram de algum modo para a concretização desta pesquisa.

[...] Se um homem gosta de prestar atenção, porém não gosta de estudar, sua falta será ignorância. Se um homem adora a sabedoria mas não adora o estudo, sua falta será ter tido idéias caprichosas ou falsas. Se um homem ama a honestidade e não ama o estudo, sua falta será uma tendência para desperdiçar ou transtornar as coisas. Se um homem adora a simplicidade mas não adora o estudo sua falta será puro seguimento de rotina. Se um homem aprecia a coragem e não aprecia o estudo, sua falta será turbulência ou violência. Se um homem aprecia a decisão de caráter e não aprecia o estudo, sua falta será obstinação ou teimosa crença em si mesmo.

Confúcio (551-479 a.C.)

MACHADO, D. I. **Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia.** 2006. 300 f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência). Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, 2006.

RESUMO

Apresentam-se os resultados de uma pesquisa sobre a construção de conceitos de Física Moderna e sobre a natureza da Ciência com o apoio da hipermídia, que envolveu a produção e avaliação de um *software* educacional. A proposta didática fundamentou-se na Teoria da Aprendizagem de Ausubel, em orientações para a implementação de sistemas hipermídia educacionais e em abordagens derivadas da pesquisa em Ensino de Ciências, dentre as quais o enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade, ponderações quanto à importância pedagógica da História e Filosofia da Ciência e considerações sobre a inserção de Física Moderna no Ensino Médio. O programa foi avaliado por pesquisadores de Ensino de Física e licenciandos de Física e, após a incorporação de algumas sugestões realizadas, foi testado por estudantes do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola pública. Foram obtidos indícios de que o uso do computador foi fator de motivação dos estudantes; a diversidade de elementos de mídia auxiliou-os a fixar a atenção sobre o conteúdo e favoreceu a visualização e interpretação dos fenômenos, facilitando ainda o raciocínio; o hipertexto estruturado em conformidade com princípios ausubelianos contribuiu para a percepção da relação entre os conceitos e ajudou no desenvolvimento de subsunçores para apoiar a aprendizagem subsequente. Constatou-se que a proposta didática avaliada favoreceu a evolução das concepções da maior parte dos estudantes quanto ao conceito de equivalência massa-energia e suas implicações; às relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, incluindo aspectos ambientais e políticos; ao papel da Ética no desenvolvimento e aplicação dos conhecimentos científicos; ao progresso da Ciência ao longo do tempo.

Palavras-chave: Ausubel; construtivismo; ensino Ciência-Tecnologia-Sociedade; ensino de Física; hipermídia; Física Moderna.

ABSTRACT

The results of a research on the construction of concepts of Modern Physics and on the nature of Science with the support of hypermedia, that involved the production and evaluation of an educational software, are presented. The didactic proposal was based on the Learning Theory of Ausubel, on orientations for the implementation of educational hypermedia systems and on approaches derived from the research in Science Teaching, among which are the Science-Technology-Society focus, the reflections on the pedagogical importance of the History and Philosophy of Science, and the considerations about Modern Physics insertion in the High School. The program was evaluated by researchers of the area of Physics Teaching and undergraduate students in Physics Teaching and, after the incorporation of some of the suggestions done, it was tested by students of the third year of high school of a public school. Indications were obtained that the use of the computer was a factor of students' motivation; the diversity of media elements helped them to set attention to the content and contributed to phenomena visualization and interpretation, also facilitating reasoning; the hypertext structured in accordance with the ausubelian principles contributed to the perception of the relationship among the concepts and helped with the development of subsumers to support subsequent learning. It was verified that the evaluated didactic proposal facilitated the evolution of the conceptions of most of the students regarding the concept of mass-energy equivalence and its implications; the relationships among Science, Technology and Society, including environmental and political aspects; the role of Ethics in the development and application of the scientific knowledge; the progress of the Science along the time.

Keywords: Ausubel; constructivism; Science-Technology-Society teaching; Physics teaching; hypermedia; Modern Physics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Relações em um sistema hipermídia	116
Figura 2. Sistema hipermídia nó- <i>link</i>	123
Figura 3. Sistema hipermídia estruturado	124
Figura 4. Sistema hipermídia hierárquico	125
Figura 5. Tela de abertura do <i>software</i>	159
Figura 6. Tela do texto <i>Energia Relativística</i> , com <i>links</i> à direita	160
Figura 7. Tela do texto <i>Fissão Nuclear</i> , com animação à esquerda	166
Figura 8. Tela do texto <i>Biografia de Albert Einstein</i> , com um filme à esquerda	169
Figura 9. Tela com animação relativa a um experimento mental	172
Figura 10. Mapa do <i>software</i>	174

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Respostas às questões 1 a 43 da ficha de avaliação do <i>software</i>	185
Tabela 2. Presença dos estudantes no curso	196
Tabela 3. Respostas à questão 1 do instrumento de avaliação dos estudantes	220
Tabela 4. Respostas à questão 2 do instrumento de avaliação dos estudantes	223
Tabela 5. Respostas à questão 3 do instrumento de avaliação dos estudantes	226
Tabela 6. Respostas à questão 4a do instrumento de avaliação dos estudantes	230
Tabela 7. Respostas à questão 4b do instrumento de avaliação dos estudantes	232
Tabela 8. Respostas à questão 5a do instrumento de avaliação dos estudantes	233
Tabela 9. Respostas à questão 5b do instrumento de avaliação dos estudantes	235
Tabela 10. Respostas à questão 5c do instrumento de avaliação dos estudantes	237
Tabela 11. Respostas à questão 5d do instrumento de avaliação dos estudantes	238
Tabela 12. Respostas ao questionário de opinião dos estudantes	241

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	03
RESUMO	04
ABSTRACT	05
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	07
LISTA DE TABELAS	08
1 INTRODUÇÃO	12
2 A ABORDAGEM COGNITIVISTA DE AUSUBEL	21
2.1 Aprendizagem verbal, significativa e receptiva	22
2.2 Tipos de aprendizagem significativa	24
2.3 O processo de assimilação	27
2.4 Organização da estrutura cognitiva	30
2.5 Princípios organizacionais para a apresentação de material instrucional	33
2.6 Dimensões do processo educacional	38
3 ENFOQUES DA EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA	43
3.1. Enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade	43
3.1.1 Origem e relevância do movimento CTS	45
3.1.2 Alfabetização científica	50
3.1.3 Implementação do enfoque CTS	54
3.2 História e Filosofia da Ciência na educação científica	63

3.2.1 Abordagens educacionais da História da Ciência	67
3.2.2 Epistemologia e Educação para a Ciência	69
3.2.3 Ética e Educação para a Ciência	74
 4 A FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO	79
4.1 Motivos para a inserção da Física Moderna no Ensino Médio	79
4.2 Abordagens para a introdução da Física Moderna no Ensino Médio.....	85
4.2.1 Três vertentes metodológicas	86
4.2.2 Outras estratégias de ensino	92
4.3 Concepções relacionadas a temas de Física Moderna	101
 5 A HIPERMÍDIA NO CONTEXTO EDUCACIONAL	108
5.1 Informática na educação	108
5.2 Origem do conceito de hipermídia	110
5.3 Características fundamentais da hipermídia	115
5.4 Classificação dos sistemas hipermídia	120
5.5 Características da hipermídia educativa	127
5.6 Hipermídia e princípios ausubelianos de ensino e aprendizagem	142
5.7 Desenvolvimento de sistemas hipermídia	144
5.8 Avaliação de sistemas hipermídia	151
 6 O ENSINO DE FÍSICA MODERNA COM A HIPERMÍDIA	156
6.1 Desenvolvimento de um sistema hipermídia para o ensino de Física Moderna	156
6.2 Avaliação do <i>software Tópicos de Física Moderna</i>	175
6.2.1 Aspectos positivos do <i>software</i>	177

6.2.2 Aspectos negativos do <i>software</i>	179
6.2.3 Utilização do <i>software</i>	181
6.2.4 Demais itens da ficha de avaliação	185
6.3 Aprendizagem com o apoio da hipermídia	192
6.3.1 Realização do módulo didático com o <i>software</i>	194
6.3.2 Respostas ao <i>Questionário sobre Conceitos Científicos e Ciência</i>	220
6.3.3 Opinião dos estudantes sobre o uso da hipermídia no curso de Física	240
6.3.4 Entrevistas com os estudantes participantes do curso	244
 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	 263
 REFERÊNCIAS	 273
APÊNDICES	281

1 INTRODUÇÃO

A Ciência é uma vertente do conhecimento que passa por modificações e aperfeiçoamentos, visando à compreensão cada vez mais ampla da natureza e do próprio ser humano.

Na época atual, Ciência e Tecnologia apresentam-se fortemente associadas, possibilitando a obtenção de aplicações que resultam em maior controle dos fenômenos naturais e permitem gerar benefícios para as pessoas.

Os impactos sociais e ambientais produzidos pelos avanços científicos e tecnológicos são notáveis, tanto em seus aspectos positivos – representados pela maior eficiência nas áreas de transporte, comunicação e saúde, por exemplo – quanto em suas características criticáveis – incluindo a poluição e as armas de destruição em massa, dentre outras.

A Ciência é um corpo de informações dinâmicas e que evolui com o tempo, em interação com outras linhas do saber, a Sociedade e o Ambiente. Entretanto, tais traços pouco têm emergido, em geral, nas práticas de ensino de Física na escola de nível médio.

Em particular, o conjunto de idéias reunidas sob a denominação *Física Moderna*, desenvolvida desde o final do século XIX até o período contemporâneo – englobando a Teoria da Relatividade, a Mecânica Quântica, a Física Nuclear, a Física de Partículas, a Física da Matéria Condensada e a Cosmologia – quase não é abordado no Ensino Médio.

O foco nesse nível educacional tem sido tradicionalmente dirigido para a *Física Clássica* – construída a partir da revolução científica dos séculos XVI e XVII, fundamentada na Mecânica Newtoniana, na Termodinâmica e no Eletromagnetismo –, apesar das profundas transformações conceituais provocadas pelas teorias da Física Moderna e das aplicações destas resultantes.

A revolução desencadeada pela Física Moderna atingiu, por exemplo, as concepções de espaço, tempo, massa e energia, o entendimento quanto à estrutura do átomo e a compreensão sobre a própria origem e evolução do Universo. Com base em seus princípios, surgiram tecnologias cuja importância se destaca no dia-a-dia, tais quais o transistor, essencial nos computadores; o laser, utilizado nas telecomunicações e em tratamentos médicos; e as usinas nucleares, com seus benefícios e riscos associados.

A realidade escolar aponta para a necessidade de se promover a atualização curricular, trazendo para a sala de aula idéias atuais e capazes de contribuir para a formação abrangente do estudante, permitindo-o compreender princípios básicos da Ciência e habilitando-o a participar de debates envolvendo questões científicas e tecnológicas que repercutem na Sociedade e no Ambiente.

Sendo a Ciência um empreendimento marcado por inovações constantes e reformulações de pontos de vista, atuando sobre a Tecnologia, a Sociedade, o Ambiente e a Cultura, e recebendo também influências desses elementos, é essencial que o currículo escolar propicie saberes para os estudantes poderem acompanhar criticamente os desdobramentos dessas inter-relações mesmo após a conclusão de sua educação formal.

Além de apresentar aos alunos temas contemporâneos relevantes, espera-se que o ensino de Ciências favoreça o desenvolvimento de noções quanto à natureza da Ciência, mediante abordagens reveladoras do modo pelo qual esse conhecimento é produzido, do papel da experimentação, das características de uma teoria científica e do caráter humano desse empreendimento, com relações sociais e históricas, dentre outros pontos.

Enfoques considerando a História e a Filosofia da Ciência, que têm estado pouco presentes nas atividades de ensino, apesar de serem importantes para o entendimento da natureza da Ciência, também deveriam fazer parte de um currículo reformulado. Questões históricas e filosóficas podem auxiliar na construção de uma concepção de Ciência

não-dogmática, apresentando rupturas e não se constituindo meramente pelo acúmulo linear de dados, na qual a elaboração de um quadro teórico é essencial para a realização de experimentos, em que se reconhece a divergência de opiniões – manifesta na existência de tradições ou programas de pesquisa rivais –, e originada num contexto social e histórico específico.

Embora os *Parâmetros Curriculares Nacionais* para o Ensino Médio proponham o enriquecimento dos currículos com a incorporação de noções sobre a Física Moderna e a maneira peculiar como se constroem conhecimentos no campo da Ciência, seu efeito tem sido fracamente sentido na maior parte dos estabelecimentos de ensino.

Uma das principais funções da escola é permitir que os jovens se apossam de elementos culturais compartilhados pelos membros da Sociedade à qual pertencem, facultando sua plena integração ao meio social. Porém, paradoxalmente, a inércia verificada na renovação de currículos e práticas pedagógicas pode acabar deixando os alunos à margem da cultura científica e tecnológica do mundo moderno, devido à defasagem existente entre o que é aprendido na escola e os fatos em andamento na Sociedade.

Apesar de muitos professores reconhecerem a necessidade de mudanças para que suas aulas estejam mais sintonizadas com o momento presente e as demandas de seus alunos, inúmeros fatores são mencionados enquanto obstáculos para concretizar tais anseios, dentre os quais a falta de tempo, preparo pessoal, materiais didáticos adequados e recursos em geral.

Para a atualização curricular refletir-se efetivamente no dia-a-dia das salas de aulas é preciso não só rever o conteúdo dos programas educacionais – o que requer inevitavelmente a opção por determinados assuntos em detrimentos de outros – mas também levar em conta aspectos relacionados a metodologias de ensino, à capacitação docente, a materiais instrucionais e equipamentos para apoiar a prática didática e à melhoria das condições de trabalho dos professores.

A consciência quanto à importância de se incluir tópicos de Física Moderna no Ensino Médio tem impulsionado a pesquisa de maneiras eficazes para se realizar essa inserção e o desenvolvimento de livros didáticos cujo conteúdo traz esses conceitos de modo acessível.

Porém, a questão da introdução desse tema na educação de nível intermediário continua atual e faz-se necessário ampliar as investigações nessa linha, considerando também abordagens históricas e filosóficas, a explicitação das relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente, e o uso da informática, visando a gerar subsídios para a atuação em sala de aula, ainda pouco contemplada.

A informática, em especial, cada vez mais presente em diversos setores da Sociedade, expande as possibilidades para o acesso, o processamento e a comunicação de informações, com potencial para o desenvolvimento de atividades educacionais motivadoras e significativas.

Uma tecnologia da informação de aplicação educativa promissora é a hipermídia, resultante da integração entre hipertexto e multimídia, estruturada em associação estreita com os computadores. Por hipertexto entende-se um conjunto de textos que podem ser lidos de forma não-linear, ou seja, na ordem desejada pelo leitor, mediante o acesso a conexões ou *links*. Multimídia significa a reunião de diferentes tipos de mídia, incluindo imagens, animações, filmes e sons.

A hipermídia viabiliza a criação de seqüências de telas ou trilhas que podem ser percorridas numa ordem predefinida pelo professor ou exploradas conforme o aluno tenha sua curiosidade despertada por determinada idéia.

A estrutura de um hipertexto pode ser projetada para proporcionar conexões entre os conceitos que levem à formação de significados relevantes para o estudante, segundo princípios de ensino e aprendizagem construtivistas.

A utilização de imagens, animações, filmes e sons permite que a informação seja apresentada segundo múltiplas representações, reforçando as idéias contidas nos textos e ampliando as possibilidades para associações pertinentes dos conceitos na estrutura cognitiva do aluno. O emprego desses signos tende também a facultar uma aprendizagem estimulante, devido à riqueza e diversidade dos elementos de mídia, mobilizando, além de aspectos cognitivos, fatores de ordem afetiva.

A investigação cujos resultados são apresentados neste trabalho originou-se do interesse em conhecer a forma pela qual um *software* educacional que emprega a hipermídia e enfoca aspectos históricos, filosóficos, tecnológicos, sociais e ambientais da Ciência, objetivando o ensino de Física Moderna, poderia contribuir para estudantes do Ensino Médio construírem conceitos científicos e noções sobre a natureza da Ciência, incluindo concepções sobre as inter-relações desta com a Tecnologia, a Sociedade e o Ambiente.

Este estudo pretendeu dar prosseguimento às pesquisas relativas ao uso da hipermídia no ensino de Física iniciadas no curso de Mestrado em Educação (MACHADO, 2000). Em três anos de atividades, o autor desenvolveu e avaliou um sistema hipermídia para tratar da *Gravitação Universal* no Ensino Médio. Esse *software* incorporou também temas de caráter tecnológico, social e histórico, visando à melhoria da percepção das relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade e do entendimento da Física enquanto Ciência.

A experiência com a implementação e avaliação desse primeiro protótipo revelou ser a hipermídia uma tecnologia capaz de motivar os estudantes e estimular a aprendizagem significativa. Permaneceu, entretanto, o desejo de aperfeiçoar o processo de elaboração e aferição da qualidade de sistemas hipermídia educacionais destinados ao ensino de Ciências, de analisar com mais profundidade a interação dos estudantes com esses dispositivos e de obter informações adicionais acerca das possibilidades de aprendizagem com a utilização desses recursos.

Tais cogitações, em conjunto com a constatação da necessidade de pesquisas relacionadas à inserção de Física Moderna na educação de nível médio, impeliram a realização de um novo projeto, integrando o ensino de tópicos dessa especialidade e o emprego da hipermídia, em uma perspectiva interdisciplinar.

Neste texto, busca-se reunir evidências de que uma proposta de ensino e aprendizagem da Física Moderna mediante o uso da hipermídia e uma abordagem construtivista considerando aspectos filosóficos e históricos da Ciência, e também suas relações com a Tecnologia, a Sociedade e o Ambiente, favorece a aprendizagem significativa de conceitos e a melhoria na compreensão quanto à natureza da Ciência, abrangendo inter-relações desta com questões sociais, tecnológicas e ambientais.

Para a realização da pesquisa, foi desenvolvido um *software* educacional contendo uma introdução aos conceitos da Física Moderna, com ênfase na *Teoria da Relatividade* e destaque à idéia de *equivalência entre massa e energia*.

O *software* – um sistema hipermídia – traz noções sobre as mudanças ocorridas na transição da Física Clássica para a Moderna, expõe os princípios fundamentais e uma breve história do desenvolvimento da Teoria da Relatividade, além de relacionar a concepção de equivalência entre massa e energia com as reações nucleares, o funcionamento das usinas nucleares, os acidentes radioativos, o Projeto Manhattan – que resultou nas primeiras bombas atômicas – e as armas nucleares.

São também considerados nesse material outros temas afins, importantes para a consecução de seus objetivos, tais quais a radioatividade, a biografia de Albert Einstein (1879-1955), a relevância de questões éticas na prática científica, a metodologia dos programas de pesquisa de Imre Lakatos (1922-1974) e dois temas da Teoria da Relatividade que ainda oferecem desafios aos pesquisadores – os buracos negros e as ondas gravitacionais.

O conteúdo foi organizado considerando-se a *Teoria da Aprendizagem* de David Paul Ausubel e enfoques pedagógicos da área de Educação para a Ciência, os quais orientaram a seleção de conceitos, o estabelecimento de *links* e a definição de sequência didática para a abordagem dos tópicos.

Pesquisadores de Ensino de Física e licenciandos em Física avaliaram o material, gerando subsídios para aperfeiçoá-lo. A proposta resultante foi testada em uma turma do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola pública, durante um curso de introdução à Física Moderna, a fim de se obter dados sobre a construção de conceitos pelos estudantes com o apoio do *software* elaborado.

Para desenvolver as idéias que fundamentam este trabalho, apresentam-se, no capítulo 2, os princípios básicos da Teoria da Aprendizagem de Ausubel. Introduz-se a idéia de aprendizagem significativa, central na proposta de Ausubel, e discriminam-se suas modalidades. Discute-se o processo de assimilação, que fornece um modelo para entender como a informação é adquirida e organizada na estrutura cognitiva. Expõem-se princípios organizacionais para a apresentação de material instrucional de modo a maximizar a aprendizagem significativa. Ao final do capítulo, consideram-se outras dimensões da aprendizagem além da conceitual, incluindo aspectos procedimentais, atitudinais e motivacionais.

No capítulo 3, examinam-se questões relacionadas ao movimento Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), expondo-se sua origem e relevância, diante da necessidade de se incorporar ao ensino fatores tecnológicos, sociais, ambientais, econômicos, políticos, éticos e culturais. Analisa-se o conceito de alfabetização científica, que permite estabelecer metas educacionais para a formação do cidadão da sociedade contemporânea. Comenta-se a respeito de perspectivas e práticas para a implementação do enfoque CTS em sala de aula, que podem envolver diferentes graus de ênfase em conceitos científicos e aspectos sociais do

conhecimento. Considera-se ainda a articulação do ensino CTS com abordagens derivadas da História e da Filosofia da Ciência e sua importância para o desenvolvimento da compreensão quanto à natureza da Ciência.

No capítulo 4, ponderam-se motivos para a inserção da Física Moderna no Ensino Médio, tendo em vista a atualização curricular frente aos avanços científicos e tecnológicos do último século. Discutem-se abordagens para a introdução da Física Moderna nesse nível de ensino, considerando-se estratégias metodológicas utilizadas na prática didática para favorecer a aprendizagem significativa de conceitos e a alfabetização científica. Fornece-se também visão crítica sobre concepções de Física Moderna encontradas em livros-texto e manifestadas por professores e estudantes, procurando-se mostrar a relevância de se conhecê-las para melhor estruturar materiais didáticos e conduzir a prática educativa.

No capítulo 5, argumenta-se quanto ao papel da informática no processo de formação do indivíduo cientificamente alfabetizado e sobre o potencial da hipermídia para se organizar e explorar informações. Expõem-se as características da hipermídia, incluindo suas vantagens e desvantagens pedagógicas. Busca-se evidenciar maneiras de se empregar os recursos dessa tecnologia da informação para estruturar *softwares* educacionais segundo os princípios de ensino e aprendizagem ausubelianos. Explicitam-se também procedimentos para o desenvolvimento e avaliação de sistemas hipermídia, levando-se em conta sua qualidade técnica, pedagógica e conceitual.

No capítulo 6, descrevem-se as etapas realizadas no desenvolvimento e avaliação de uma proposta educacional para o ensino de tópicos de Física Moderna com a utilização da hipermídia. Apresentam-se as principais características do *software* denominado *Tópicos de Física Moderna*, incluindo os textos que o compõem, as justificativas para a inclusão destes e os critérios para o estabelecimento da estrutura hipertextual. Expõem-se os resultados de uma avaliação desse programa envolvendo pesquisadores da área de Ensino de Física e estudantes

de um curso de licenciatura em Física. Discutem-se ainda os principais resultados obtidos na investigação sobre a construção de conceitos científicos e sobre a natureza da Ciência, com o apoio da hipermídia, por estudantes do Ensino Médio.

No capítulo 7, reúnem-se as conclusões mais importantes a que se chegou na pesquisa, julgam-se certas limitações da metodologia adotada, comentam-se possibilidades para futuros trabalhos e tecem-se algumas recomendações, na condição de considerações finais.

2 A ABORDAGEM COGNITIVISTA DE AUSUBEL

Dentre as perspectivas existentes para o estudo das questões de ensino e aprendizagem, encontra-se a abordagem *cognitivista*, fundamentada na *Psicologia Cognitiva*, que “trata do modo como as pessoas percebem, aprendem, recordam e pensam sobre a informação” (STERNBERG, 2000, p. 22).

O cognitivismo apóia-se na idéia de que é possível compreender vários aspectos do comportamento humano partindo-se do entendimento da maneira pela qual as pessoas pensam. A ênfase desse enfoque é o processo da cognição, pelo qual o indivíduo atribui significados às situações com que se depara no mundo.

Devido a essas características do cognitivismo, as pesquisas educacionais situadas dentro desse quadro teórico consideram essencial o conhecimento das idéias que os estudantes apresentam.

Essa preocupação é central para Ausubel (1976), representante do cognitivismo para quem o fator mais importante influenciando a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe, devendo o professor averiguar isso e ensinar de acordo.

O enfoque de Ausubel pode ser relacionado à visão de ensino e aprendizagem denominada *construtivista*, que, segundo Mortimer (1995, p. 57), parece apresentar ao menos dois traços principais: “1) a aprendizagem se dá através do ativo envolvimento do aprendiz na construção do conhecimento; 2) as idéias prévias dos estudantes desempenham um papel importante no processo de aprendizagem”.

Neste capítulo, serão examinados os fundamentos da *Teoria da Aprendizagem de Ausubel*, cujos conceitos e princípios foram referência para o desenvolvimento e a avaliação da proposta educacional descrita neste trabalho, em conjunto com as idéias originadas das pesquisas da área de Educação para a Ciência.

2.1 Aprendizagem verbal, significativa e receptiva

A teoria da aprendizagem de Ausubel está focada na aprendizagem verbal, significativa e por recepção.

O caráter verbal é salientado porque, para Ausubel, a linguagem é importante facilitador da aprendizagem, pois os signos lingüísticos, com suas propriedades representacionais, ampliam a capacidade de se manipular conceitos e proposições. Mediante a linguagem, os significados podem ser clarificados, tornando-se mais precisos e transferíveis. O significado surge quando um objeto e o signo verbal que o representa são relacionados (MOREIRA; MASINI, 2002).

Os aspectos significativo e receptivo estão associados aos processos considerados mais efetivos por Ausubel (1976) para a construção do conhecimento pelos estudantes: a aprendizagem por recepção e a aprendizagem significativa.

A aprendizagem por recepção é aquela em que os estudantes adquirem suas noções por meio do contato com materiais apresentados em sua forma final, sem que precisem descobrir conhecimentos por si mesmos. Esse tipo de aprendizagem distingue-se da *aprendizagem por descoberta*, na qual o estudante descobre os conteúdos antes de incorporá-los em sua estrutura cognitiva.

Segundo Ausubel (1976), a maior parte dos conceitos aprendidos pelos alunos, tanto em sala de aula quanto fora dela, ocorrem de forma receptiva. Na visão de Ausubel, essa seria a maneira mais simples e eficaz de se adquirir o conteúdo de uma disciplina acadêmica, que passa a predominar quando o indivíduo começa a apresentar maior maturidade intelectual, tornando-se capaz de compreender conceitos e proposições expostos verbalmente, sem necessidade de experiência empírica ou concreta adicional.

Apesar dessa ênfase, não é descartada a aprendizagem por descoberta, pois esta é importante para a aplicação dos conhecimentos adquiridos na solução de problemas particulares, estando associada à capacidade de pensar sistematicamente, com autonomia e de forma crítica em diversas áreas.

Os tipos de aprendizagem descritos podem ocorrer tanto de modo mecânico, por repetição, quanto de maneira significativa (AUSUBEL, 1976).

A *aprendizagem significativa* processa-se quando o aluno relaciona o conteúdo em estudo àquilo que já conhece, de modo não-arbitrário e substantivo (não-literal). Isso envolve a conexão de uma nova idéia expressa simbolicamente a algum aspecto essencial de sua estrutura cognitiva – o conjunto organizado de suas idéias –, seja uma imagem, um símbolo que já possui significado, um contexto ou uma proposição.

A *aprendizagem mecânica* ou *por repetição* surge em situações nas quais o ato de aprender envolve apenas associações arbitrárias, como por exemplo, na memorização dos símbolos das letras do alfabeto. Ocorre também quando o aluno não dispõe de conhecimentos prévios suficientes para tornar a tarefa de aprendizagem significativa, ou nos casos em que este resolve internalizar o conhecimento de modo arbitrário e literal, ou seja, na forma de uma série de palavras armazenadas sem critério.

Segundo Ausubel (1976), para ocorrer a aprendizagem significativa é necessário que o estudante apresente disposição para estabelecer relações não-arbitrárias e substantivas do novo material com a sua estrutura cognitiva.

Também é preciso que material a ser aprendido seja potencialmente significativo para o aluno, isto é, possa ser especialmente associado à sua estrutura de conhecimento, de modo intencional e não-literal.

A *significatividade potencial* de um material depende de sua organização lógica, que o permita ser relacionado de modo intencional e substancial a idéias que seres humanos

em geral possam exhibir. Demanda ainda a existência de idéias apropriadas na estrutura cognitiva de um aluno particular, que possam entrar em correspondência não-arbitrária e não-literal com o conteúdo a ser aprendido.

A *relacionabilidade intencional* de um material implica ser este passível de associação adequada e óbvia às idéias apropriadas possuídas pelos seres humanos.

A *relacionabilidade substancial* de um material é verificada quando o significado surge independentemente dos signos particulares usados para expressar uma idéia, isto é, quando um mesmo conceito ou proposição que podem ser utilizados de forma equivalente transmitem o mesmo sentido.

O resultado da aprendizagem significativa é a produção do significado, o qual poderá ser evocado quando a expressão simbólica que o originou estiver presente. Nesse processo, o significado potencial existente inicialmente é convertido em significado novo, diferenciado e idiossincrático, ao ser introjetado por um estudante específico.

2.2 Tipos de aprendizagem significativa

Ausubel (1976) distingue três tipos essenciais de aprendizagem significativa: de representações, de conceitos e de proposições.

Na *aprendizagem de representações*, atribui-se significado a símbolos isolados, geralmente palavras, cada uma representando objeto, acontecimento, situação ou conceito individuais. Nessa modalidade, cada palavra nova passa a representar o objeto ou idéia a que se refere.

Na *aprendizagem de conceitos*, há a formação do significado de idéias genéricas individuais ou categoriais, representadas por símbolos isolados. Aprender um conceito

demanda a identificação e a compreensão do significado de seus atributos de critério, ou seja, das propriedades que possibilitam distingui-lo ou identificá-lo. Além desse significado, denotativo, surge também o conotativo, o qual inclui as reações afetivas e atitudinais, de caráter idiossincrático, que o termo produz em cada pessoa.

Na *aprendizagem de proposições*, confere-se significado a idéias expressadas por meio de conjuntos de palavras combinadas em proposições ou orações. Essa tarefa transcende a ação de aprender proposições de equivalência representativa, pois envolve a captação do significado de nova idéia composta, gerada pela combinação de várias palavras individuais, cada qual representando um referente unitário. Isso resulta em idéia diferente da simples soma dos significados das palavras componentes da proposição. Exceto em estudantes muito jovens, as proposições aprendidas são, em geral, constituídas por palavras-conceito, ao invés de objetos ou acontecimentos.

Conforme expõe Ausubel (1976), a aprendizagem de representações é condição *sine qua non* para a aprendizagem de proposições, pois é preciso conhecer o significado de cada palavra para se poder compreender uma sentença expressa verbalmente.

A etapa inicial de aprendizagem de representações ou formação do vocabulário em crianças consiste em aprender que determinada palavra representa um objeto ou acontecimento real e não-categórico. Nessa fase, o significado de uma palavra é igualado à imagem relativamente concreta e específica a que se refere. Com o tempo, as palavras passam a representar conceitos ou idéias gerais, convertendo-se em nomes-conceito, identificados com conteúdos cognitivos mais abstratos, generalizados e categóricos (AUSUBEL, 1976).

A princípio, a criança descobre de modo indutivo e intuitivo os atributos de critério de um conceito, a partir de sua experiência empírica e concreta, num processo denominado *formação de conceitos*. Posteriormente, a maioria dos conceitos novos é

aprendida por *assimilação conceitual*, isto é, por definição ou quando são encontrados em contextos adequados e relativamente explícitos (AUSUBEL, 1976).

Ausubel (1976) considera que a relação entre um conceito ou o conteúdo de uma proposição e as idéias pertinentes já existentes na estrutura cognitiva, na aprendizagem significativa, pode ser de três tipos: subordinada, superordenada ou uma combinação de ambas. A aprendizagem subordinada, por sua vez, pode ser classificada em derivativa e correlativa.

Na *aprendizagem subordinada*, conceitos ou proposições potencialmente significativos são subsumidos ou incluídos em idéias mais amplas e gerais da estrutura cognitiva do indivíduo. Para Ausubel, essa relação de subordinação é comum devido à organização hierárquica da estrutura cognitiva com respeito ao nível de abstração, generalidade e inclusividade.

As idéias mais gerais e inclusivas pré-existentes na estrutura cognitiva, que servem de ponto de ancoragem para a conexão de novas informações específicas, Ausubel (*apud* MOREIRA; MASINI, 2002) denomina *subsunções*.

A *aprendizagem subordinada derivativa* ou *subsunção derivativa* ocorre quando o novo material incorporado corresponde a exemplo específico de conceito existente na estrutura cognitiva ou quando apóia ou ilustra proposição geral aprendida anteriormente. Nesse caso, a nova idéia a ser conhecida está implícita em conceito ou proposição já estabelecido e mais inclusivo da estrutura cognitiva, do qual pode ser derivado de modo evidente e direto.

A *aprendizagem subordinada correlativa* ou *subsunção correlativa* processa-se quando o novo material a ser conhecido corresponde a uma extensão, elaboração, modificação ou limitação de conceitos ou proposições aprendidos previamente. Apesar de esse material incorporado interagir com as idéias pertinentes e mais inclusivas estabelecidas anteriormente

na estrutura cognitiva, seu sentido não está subentendido e não pode ser representado adequadamente por esses subsunçores.

Na *aprendizagem superordenada*, uma nova idéia inclusiva é aprendida e passa a abarcar conceitos ou proposições mais específicos existentes na estrutura cognitiva. Para Ausubel, isso é mais comum durante a aprendizagem de conceitos do que a de proposições, ocorrendo, por exemplo, quando um estudante passa a saber que as noções por ele conhecidas de *quark*, *elétron* e *neutrino* estão subsumidas na nova palavra *férmion*.

Essa modalidade de aprendizagem ocorre no raciocínio indutivo ou no caso em que o material exposto está organizado indutivamente ou implica a síntese das idéias componentes.

É também exemplo de aprendizagem superordenada a *reconciliação integrativa* – síntese de várias proposições aparentemente contraditórias para se chegar a um novo princípio mais inclusivo e unificador.

Na *aprendizagem combinatória*, conceitos ou proposições aprendidas não mantêm relações subordinadas ou superordenadas com idéias apropriadas particulares da estrutura cognitiva. Segundo Ausubel, diversos novos conceitos ou novas proposições são adquiridos dessa forma. Um exemplo é a aprendizagem das relações entre massa e energia, dentre outras generalizações novas, inclusivas e de grande poder explicativo estudadas na Ciência.

2.3 O processo de assimilação

Para interpretar a aquisição, retenção e organização de significados na estrutura cognitiva, Ausubel (1976) introduz a noção de *assimilação*. O princípio da assimilação

possibilita compreender mais profundamente de que modo um significado subordinado é gerado e armazenado.

Na aprendizagem subordinada, um conceito ou proposição a , potencialmente significativo, é subsumido em uma idéia mais ampla A da estrutura cognitiva, como extensão, elaboração, modificação ou limitação desse subsunçor.

Nesse processo, tanto a nova idéia a , quanto a idéia estabelecida A , que entram em associação, são *modificadas*, passando a ser designadas a' e A' , respectivamente. Os produtos a' e A' dessa interação permanecem relacionados, formando um novo complexo unificado de idéias $A'a'$. Isso pode ser representado pelo esquema $A + a \rightarrow A'a'$.

O termo assimilação é utilizado porque, após o surgimento do novo significado, este continua em relação articulada com a forma, levemente modificada, da idéia já existente na estrutura cognitiva, constituindo o membro menos estável da nova unidade ideativa formada. Além disso, o novo significado tende a reduzir-se ao significado da idéia estabelecida de modo mais consolidado.

Ausubel supõe que o significado recém-assimilado a' é *dissociável* de seu subsunçor A' , podendo ser reproduzido como elemento identificável e isolado. Essa hipótese permite explicar a possibilidade de se dispor dos novos conceitos no período de retenção. O grau de dissociabilidade atinge seu valor máximo logo após a aprendizagem.

Imediatamente após a aprendizagem, começa a etapa *obliterativa* da assimilação, na qual as idéias novas se tornam gradualmente menos dissociáveis de seus subsunçores, de modo espontâneo, e deixam de estar disponíveis, ou seja, são esquecidas.

Quando a força de dissociabilidade de a' atinge intensidade inferior à de certo nível crítico, denominado *limiar de disponibilidade*, não se pode separar o complexo $A'a'$. Ao se alcançar a dissociabilidade zero, $A'a'$ reduz-se a A' , a idéia-suporte mais estável da estrutura cognitiva.

Uma evidência a favor da noção de limiar de disponibilidade, apontada por Ausubel, é a possibilidade de se reaprender materiais esquecidos com mais eficácia e em menos tempo, quando comparado com a primeira aprendizagem. A existência de algum grau de dissociabilidade abaixo do limiar permite entender porque este pode ser alcançado e superado mais facilmente na segunda vez em que se aprende determinada concepção.

Segundo Ausubel, a força de dissociabilidade de a' em relação a A' depende de diversos fatores, dentre os quais a pertinência da idéia-suporte A' , a estabilidade e a clareza de A , e o grau em que esse subsunçor pode ser discriminado em relação ao material de aprendizagem a .

Na aprendizagem *superordenada*, embora as idéias aprendidas sejam mais gerais e inclusivas que os significados mais específicos e estáveis da estrutura cognitiva aos quais se relacionam, estas também são esquecidas. Inicialmente, conforme expõe Ausubel, quando o conteúdo mais geral A associa-se às idéias mais específicas a e α , formando o produto interativo $a'\alpha'A'$, o novo significado A' pode ser dissociado das idéias-suporte a' e α' . Com o tempo, essa dissociação deixa de ser feita de modo eficaz e o novo significado reduz-se às idéias menos inclusivas já existentes, sendo esquecido, ou seja, A' reduz-se a a' e α' .

Porém, quando essa mesma idéia superordenada é aprendida novamente, formará o produto interativo $A'a'\alpha'$, tendendo a tornar-se mais estável do que as idéias subordinadas que originalmente a assimilaram. Durante o período de retenção posterior, é possível dissociar a' e α' de A' . A partir desse estágio, os significados menos inclusivos passam a ser menos estáveis e tendem a reduzir-se ao significado mais geral aprendido posteriormente, ou seja, com o tempo a' e α' reduzem-se a A' , deixando de ser eficazmente dissociados e sendo esquecidos.

No processo de aquisição, retenção e obliteração durante a aprendizagem significativa, um conceito ou proposição a não precisa se restringir a formar um produto

interativo com apenas uma idéia mais inclusiva A' . Conforme considera Ausubel, podem ser formados também produtos com diversas idéias gerais B , C , D e outras.

Apesar de os conceitos ou as proposições de maior estabilidade e melhor estabelecidos serem mais funcionais em outras aprendizagens ou operações de resolução de problemas ao se desligarem dos significados menos estáveis que assimilaram, o processo de redução ocasiona a perda de informações e detalhes dos conteúdos mais específicos. Segundo Ausubel, opor-se a esse processo de assimilação obliterativa, próprio da aprendizagem significativa, é o problema principal na aquisição de um conteúdo acadêmico.

Segundo Ausubel (1976), apesar da etapa de obliteração, a aprendizagem significativa melhora a retenção do conhecimento. Para explicar de que modo as novas informações assimiladas podem ser mantidas na memória por longo período, Ausubel considera três fatores, relacionados ao processo de assimilação. Primeiramente, o novo significado passa a compartilhar da estabilidade própria das idéias mais estáveis da estrutura cognitiva à qual se liga. Além disso, a relação intencional e original mantida entre o novo conceito ou proposição e as informações já existentes preserva o significado formado recentemente da influência de outras idéias aprendidas ou que serão adquiridas no futuro. E ainda, a articulação entre a nova idéia significativa e uma noção particular mais pertinente da estrutura cognitiva favorece sua recuperação mais sistemática.

2.4 Organização da estrutura cognitiva

A hipótese da assimilação contribui, conforme explica Ausubel, para o entendimento do modo como o conhecimento é organizado na estrutura cognitiva. Considerando-se que uma nova idéia se relaciona a alguma noção existente na estrutura

cognitiva e, em geral, um dos componentes desse par é mais inclusivo e estável, enquanto o outro é dotado de maior especificidade e menor estabilidade, verifica-se a existência de uma hierarquia conceitual.

A organização dos conteúdos na mente de um indivíduo configuraria, então, uma pirâmide, seguindo o princípio da *diferenciação progressiva*, com as idéias mais amplas e inclusivas no ápice, assimilando aquelas menos amplas ou mais diferenciadas situadas no escalão seguinte que, por sua vez, fariam a subsunção das idéias mais específicas do próximo nível da escala hierárquica, e assim sucessivamente.

Considerando a natureza do processo pelo qual a estrutura de conhecimento de um indivíduo aumenta, segundo o mecanismo de assimilação, Ausubel depreende que a estrutura cognitiva existente, incluindo tanto conteúdo como organização, é o fator principal que influi na aprendizagem e retenção significativas em certa área de estudo.

Diversas variáveis da estrutura cognitiva afetam a aprendizagem e a retenção de um novo material potencialmente significativo. Dentre essas, Ausubel (1976) atribui grande importância à *disponibilidade* de idéias inclusivas pertinentes que possam servir de ponto de sustentação e possibilitar o estabelecimento de relações otimizadas entre conceitos e proposições. Sem a existência de subsunçores adequados, pode ocorrer aprendizagem mecânica ou, o que é mais comum, algum tipo de aprendizagem combinatória ou uma inclusão correlativa menos pertinentes. Os significados formados desse modo são relativamente sem estabilidade, ambíguos e de pouca longevidade.

Uma segunda variável considerada relevante é o grau em que uma idéia a ser assimilada pode ser *discriminada* dos sistemas de idéias estabelecidos na estrutura cognitiva. Quando um novo material de aprendizagem é semelhante a outro já conhecido pelo estudante, tende a ser interpretado como idêntico a este, resultando em significados que não correspondem adequadamente ao conteúdo a ser aprendido. Por outro lado, mesmo se um

aluno souber da existência de algumas diferenças entre as idéias em estudo e aquelas que possui, talvez não consiga discriminá-las, originando significados ambíguos, confusos, sobre os quais persistem dúvidas, e significados opcionais ou em competição. Nesses casos, a força de dissociabilidade dos significados recém-aprendidos é relativamente pequena, sendo em geral esquecidos mais rapidamente do que conceitos ou proposições de maior discriminabilidade, pelo fato de poderem ser representados convenientemente pelas idéias semelhantes mais estáveis já existentes.

Outras variáveis reconhecidas por terem influência apreciável na aprendizagem significativa e na permanência na memória do material em estudo são a *estabilidade* e a *clareza* dos subsunçores existentes. Caso essas propriedades não sejam verificadas, os novos materiais serão relacionados às idéias da estrutura cognitiva de modo pouco apropriado, sendo fracamente sustentados e não podendo ser discriminados destas com facilidade. A clareza e estabilidade das idéias que o aluno apresenta relacionam-se diretamente à discriminabilidade de novos conceitos em relação à sua estrutura cognitiva. Verifica-se que quanto maior o grau de conhecimento sobre um assunto, melhor a capacidade para aprender novos conteúdos dessa área de interesse, pois existem mais subsunçores pertinentes disponíveis e é possível discriminar de modo mais eficaz as idéias existentes das análogas que se busca aprender.

Desse modo, conclui-se que para poderem surgir significados precisos e sem ambigüidade, os quais tendem a reter sua força de dissociabilidade e disponibilidade, a estrutura cognitiva deve possuir conceitos e proposições claros, estáveis e organizados adequadamente.

2.5 Princípios organizacionais para a apresentação de material instrucional

Com o intuito de maximizar a aprendizagem e retenção significativas, e facilitar experiências de aprendizagem subseqüentes, Ausubel (1976) assume ser possível atuar de forma planejada sobre os atributos pertinentes da estrutura cognitiva, tanto substancialmente quanto programaticamente.

Para influir *substancialmente*, empregam-se conceitos e proposições unificadores de uma determinada disciplina que sejam mais explicativos, inclusivos e gerais, e apresentem maior possibilidade de serem relacionados com o conteúdo da matéria em estudo. Esse tipo de procedimento tem o propósito de organizar e integrar os elementos constituintes da estrutura cognitiva.

Para agir *programaticamente*, aplicam-se princípios que facultem ordenar a seqüência de tópicos de um campo de conhecimentos a serem aprendidos, estruturar o assunto de forma lógica e com organização interna, e preparar atividades práticas.

São cinco as estratégias pedagógicas enfatizadas por Ausubel (1976) para facilitar a aprendizagem significativa: o uso de organizadores prévios, a diferenciação progressiva, a reconciliação integrativa, a organização seqüencial e a consolidação.

O recurso principal para a manipulação deliberada da estrutura cognitiva tendo em vista a melhoria da aprendizagem, segundo Ausubel, são os *organizadores prévios*, materiais introdutórios dotados de alto nível de abstração, generalidade e inclusividade, que empregam idéias com o máximo de clareza e estabilidade.

Um organizador prévio tem a função de mobilizar subsunçores relevantes existentes na estrutura cognitiva do aluno e possibilitar que estes atuem na inclusão da matéria a ser aprendida, tornando-a mais familiar e potencialmente significativa. Busca fornecer ao estudante um arcabouço de idéias pertinentes e adequadas para permitir a incorporação e a

retenção otimizadas do material mais detalhado e diferenciado a ser apresentado na seqüência de aprendizagem. Tem por objetivo também aumentar a capacidade de discriminar o novo material das idéias parecidas, porém distintas, conhecidas pelo estudante. Além disso, pode contribuir para a reconciliação e integração de noções que estejam em contradição real ou aparente com idéias da estrutura cognitiva.

Conforme sintetiza Ausubel (1976, p. 179, tradução nossa), “[...] *a função principal do organizador é salvar o abismo que existe entre o que o aluno já sabe e o que necessita saber, antes de aprender com bons resultados a tarefa imediata*”.

São distinguidos dois tipos de organizador prévio: o *expositivo* e o *comparativo*. O primeiro é elaborado para proporcionar o desenvolvimento de subsunçores pertinentes e próximos, em relação subordinada com o conteúdo a ser aprendido, privilegiando a ancoragem de idéias a partir do que é mais familiar para o aluno. O segundo é construído para favorecer a identificação das semelhanças entre as novas idéias e as da estrutura cognitiva, e a ampliação do grau com que os novos conteúdos são discriminados das noções diferentes em essência, porém bastante parecidas, já existentes.

Para a utilização das estratégias pedagógicas propostas por Ausubel, é fundamental verificar inicialmente de que modo a disciplina a ser ensinada está organizada e encontrar seus princípios explicativos com propriedades mais gerais e de maior poder integrativo. Ao se estruturar o assunto tendo em vista a aprendizagem significativa, é importante também levar em consideração o nível de desenvolvimento cognitivo do aluno e seu grau de domínio da matéria.

A identificação de conceitos básicos procura atender ao problema da organização substancial do assunto. Após essa etapa, resta a questão da organização programática, relativa ao arranjo e à apresentação em seqüência das unidades componentes da disciplina em estudo.

Ao se utilizar o princípio da *diferenciação progressiva*, são expostos primeiramente conceitos e proposições mais gerais e inclusivos, seguidos das idéias mais específicas do assunto, progressivamente pormenorizado.

Justifica-se o emprego desse recurso devido: a) à maior facilidade manifestada pelo ser humano em aprender aspectos diferenciados de um todo mais amplo já sabido do que apreendê-lo a partir do conhecimento de suas partes componentes mais específicas; b) à organização hierárquica do conteúdo existente na mente dos indivíduos, com idéias mais inclusivas no extremo superior, as quais subsumem informações progressivamente menos inclusivas e mais diferenciadas.

A introdução das idéias mais inclusivas e pertinentes em primeiro lugar possibilita o desenvolvimento de subsunçores adequados que poderão servir de ancoradouro para idéias mais específicas apresentadas posteriormente, contribuindo, desse modo, para a sua aprendizagem e retenção mais eficazes. Segundo Ausubel, é conveniente organizar não só o material relativo a um tema segundo esse princípio, mas todo o conjunto de temas e subtemas que compõem um curso.

Pelo princípio da *reconciliação integrativa*, busca-se explorar relações entre as idéias de um assunto, indicar semelhanças e diferenças importantes, e reconciliar inconsistências reais ou aparentes. Desse modo, evita-se compartimentar e isolar idéias ou temas particulares em capítulos ou subcapítulos específicos, sem que sejam comparadas idéias relacionadas.

A programação de atividades de ensino e aprendizagem considerando-se a reconciliação integrativa permite aumentar a capacidade de se discriminar as novas idéias a serem aprendidas daquelas conhecidas e bem estabelecidas. Dessa maneira, contribui para evitar o surgimento de ambigüidades, falsas concepções e confusões, as quais dificultam a

clara distinção entre idéias familiares e desconhecidas, e acentuam a tendência de que estas se reduzam àquelas.

Esse princípio possibilita também eliminar contradições aparentes entre os novos conceitos e proposições e as idéias existentes na estrutura cognitiva, de modo a impedir o estudante de descartar as novas idéias ou, então, de memorizá-las arbitrariamente como se fossem entidades isoladas, distintas do que se aprendeu anteriormente, gerando conhecimento pouco durável.

Para se alcançar a reconciliação integrativa com maior eficácia, Novak (1986) considera que é preciso organizar a instrução de modo a se “subir e descer” ao longo da hierarquia conceitual segundo a qual está estruturada uma disciplina, conforme a nova informação vai sendo apresentada. De acordo com Novak, pode-se iniciar o ensino de um tópico a partir dos conceitos mais gerais, logo a seguir ilustrar de que modo conceitos subordinados estão a estes relacionados e, então, por meio de exemplos, voltar a novos significados de conceitos de ordem superior na hierarquia.

Os organizadores prévios podem ser elaborados de acordo com o princípio da reconciliação integrativa, ao explicitarem pontos comuns e aspectos dessemelhantes na comparação entre informações novas e já aprendidas, mobilizando subsunçores adequados para favorecer a aprendizagem subsequente. Segundo Ausubel, esse procedimento facilita reduzir o esforço na aprendizagem, evitar o isolamento de conceitos essencialmente iguais em áreas diferentes e sem comunicação, e desestimular a proliferação desorientadora de uma diversidade de termos para representar idéias aparentemente diferentes, porém na verdade equivalentes. Além disso, melhora a habilidade de o aluno discriminar diferenças genuínas entre novos materiais parecidos, porém na realidade de significados opostos aos que se encontram em sua estrutura cognitiva, favorecendo sua retenção posterior.

A aprendizagem de novos conceitos e proposições inclusivos claramente diferenciáveis dos existentes, conforme assume Ausubel, implica desempenho superior na aprendizagem posterior de material mais detalhado. Isso ocorre porque esse material pormenorizado é aprendido com maior clareza, estabilidade e discriminabilidade, pelo fato de as idéias que o subsumem serem mais discrimináveis e, portanto, mais estáveis, estando, conseqüentemente, mais aptas a proporcionar subsunção contínua e segura.

Outra maneira de aumentar a disponibilidade de subsunçores pertinentes na estrutura cognitiva do estudante é seguir o princípio da *organização seqüencial*, pelo qual se aproveita a dependência natural existente entre as unidades didáticas componentes de uma disciplina, em que a compreensão de um tema é logicamente necessária para o entendimento do seguinte. A organização em seqüência do material de aprendizagem contribui para o estudante construir uma rede de idéias relevantes para a ancoragem de novas informações no próximo item da seqüência didática.

Ao se aplicar o princípio da *consolidação*, procura-se assegurar que os assuntos já estudados de uma seqüência sejam dominados pelo estudante antes da introdução de um novo material de aprendizagem.

Como expõe Ausubel, para se obter a consolidação são necessárias repetições e revisões da matéria em estudo, em quantidade suficiente e com espaçamento adequado, com oportunidade para a realização de práticas diferenciais dos componentes mais difíceis da tarefa de aprendizagem. É preciso também promover atividades para confirmar, esclarecer e corrigir as aprendizagens prévias.

A consolidação contribui para que os conteúdos prévios se configurem com clareza, estabilidade e boa organização na estrutura cognitiva do aluno, com efeitos positivos sobre a profundidade da ancoragem proporcionada a novos conteúdos e a discriminabilidade destes, melhorando a aprendizagem e a retenção dos significados formados.

O arranjo hierárquico da estrutura cognitiva parece favorecer a aprendizagem de conceitos e proposições que nela podem ser subsumidos. Por isso, Ausubel sugere optar-se, sempre que possível, pela aprendizagem subordinada, pois essa modalidade permitiria aprender conceitos e proposições mais rapidamente, propiciando sua retenção por mais tempo. Os princípios organizacionais para a apresentação de material didático propostos por Ausubel destinam-se a favorecer esse tipo de aprendizagem, a fim de otimizar a aquisição e retenção significativas de informações.

2.6 Dimensões do processo educacional

A ênfase da abordagem ausubeliana na aprendizagem de conceitos e proposições não significa que outros aspectos da educação possam ser deixados de lado. Conforme se infere da teoria de Ausubel, o fator motivacional é um importante elemento da aprendizagem significativa, pois não basta um material ser potencialmente significativo, é preciso que o estudante tenha iniciativa para estabelecer relações não-arbitrárias e substantivas em sua estrutura cognitiva.

Desse modo, temas e atividades inovadoras, que possam estimular os estudantes e incentivar a aprendizagem, devem ser buscadas. Isso pode envolver, por exemplo, a abordagem de assuntos atuais, pelos quais os estudantes têm um interesse natural, por estarem em contato em seu dia-a-dia, seja em função da interação com novas tecnologias que repercutem no dia-a-dia ou devido ao acesso a informações pela mídia. Outro fator com potencial para motivar os estudantes é a informática, que permite empregar recursos multimídia para despertar o interesse e auxiliar na compreensão dos assuntos.

Como observa Novak (1986), a aprendizagem cognitiva é acompanhada de experiência emocional e, por isso, o desenvolvimento afetivo necessariamente ocorre de modo concomitante à aprendizagem cognitiva. Para Novak, a experiência emocional tende a ser boa quando o ensino é planejado para otimizar a aprendizagem cognitiva e, portanto, o desenvolvimento afetivo positivo é maximizado quando estão presentes condições favoráveis ao crescimento intelectual.

Além disso, Novak reconhece a existência de outros fatores que influem na resposta emocional. Os momentos de interação entre as pessoas constituem fontes ricas de experiência emocional e, quando equilibradas, podem fortalecer a autoconfiança e proporcionar suporte para se enfrentar outros desafios. Por esse motivo, a criação de oportunidades para a comunicação e a expressão de idéias, incluindo o trabalho cooperativo envolvendo duas pessoas ou um pequeno grupo, pode favorecer a aprendizagem. A promoção de debates e a discussão aberta dos temas em estudo fomentam a participação dos estudantes e tendem a contribuir para melhorar relações em sala de aula, permitindo valorizar suas idéias e os conhecimentos que já trazem de suas experiências cotidianas.

Os conteúdos de aprendizagem abrangem mais do que capacidades cognitivas, envolvendo conceitos, procedimentos e atitudes relacionados, respectivamente, ao que é preciso *saber*, *saber fazer* e *ser* (COLL, 1986 *apud* ZABALA, 1998). Conforme expõe Zabala (1998), cada um desses conteúdos é caracterizado por um conjunto de aspectos a serem aprendidos:

a) A aprendizagem de conteúdos *conceituais* abrange o conhecimento e a compreensão de fatos, conceitos e princípios, com a capacidade de utilizá-los para interpretar situações e construir novas idéias. São conteúdos dessa natureza: nomes, acontecimentos, fenômenos concretos e singulares, termos abstratos, símbolos, relações, leis e outros.

b) A aprendizagem de conteúdos *procedimentais* abarca a realização de ações seguindo-se procedimentos e aplicando-se técnicas e métodos, demandando exercício, reflexão sobre os próprios atos e habilidade para empregar tal conhecimento em contextos diferenciados. São conteúdos dessa natureza: ler, observar, calcular, classificar, inferir, debater e outros.

c) A aprendizagem de conteúdos *atitudinais* engloba o cultivo de valores, atitudes e normas, necessários para a vida equilibrada em Sociedade. São conteúdos dessa natureza valores como a solidariedade, o respeito aos outros e a responsabilidade, e atitudes tais quais cooperar com o grupo, ajudar os colegas e respeitar o Ambiente.

No presente trabalho, a ênfase recai sobre os aspectos conceituais da aprendizagem. Porém, alguns conteúdos procedimentais e atitudinais foram também considerados na estruturação do *software* empregado na pesquisa da construção de conceitos com o apoio da hipermídia e na definição da seqüência didática adotada para o ensino de Física Moderna com esse recurso.

Na implementação desse instrumento pedagógico, foram incluídos textos visando a estimular a leitura e questões para propiciar a realização de debates sobre os principais temas expostos, de modo a contribuir não apenas para a consolidação de conceitos, mas ainda para o desenvolvimento da capacidade de interpretar, inferir e argumentar, procedimentos relevantes do ponto de vista educacional.

Nas atividades com o *software*, os estudantes foram orientados a trabalhar em duplas, para que pudessem intercambiar idéias e cooperar entre si na resolução de problemas e na formulação de respostas às questões encontradas. Também foram promovidos debates envolvendo a turma toda. Além de objetivar a facilitação da aprendizagem mediante a troca de informações entre os estudantes e destes com o professor, buscou-se com isso favorecer o

respeito pela opinião dos colegas e o cultivo do espírito de apoio mútuo e cooperação, atitudes importantes sob a óptica pedagógica.

A opção por um ensino no qual se incluem relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente visou a contemplar não só conteúdos cujo conhecimento é valioso para o cidadão esclarecido, mas também fatores motivacionais, pois temas atuais, mais próximos da realidade dos estudantes, tendem a despertar o interesse e o desejo de saber mais. Tópicos tais como as aplicações e os efeitos das radiações ionizantes, os benefícios e riscos das usinas nucleares, os acidentes nucleares e o impacto das armas nucleares são exemplos de assuntos incluídos no *software* com o intuito de motivar a aprendizagem dos conceitos físicos associados e a compreensão quanto à natureza da Ciência, com suas relações tecnológicas, sociais e ambientais.

A introdução de questões de natureza ética no *software*, tais como as emergentes do estudo das armas nucleares e dos riscos devido ao vazamento de material radioativo, teve também a finalidade de contribuir para aprendizagens de caráter atitudinal. Reflexões desse tipo podem levar à ampliação da conscientização quanto à responsabilidade de cientistas e demais membros da Sociedade diante de assuntos científicos e tecnológicos com implicações sociais e ambientais. Desse modo, os estudantes podem vir a manifestar atitudes em que ponderações de ordem ética estejam presentes, ao serem envolvidos em dilemas relativos a Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente, revelando uma visão mais humanística e maior senso de responsabilidade pessoal.

Uma das razões que levou à escolha da hipermídia como meio para organizar os conteúdos de aprendizagem foi o provável efeito positivo do uso do computador e do emprego de diferentes tipos de mídia sobre a motivação dos alunos. Esse ponto em particular será retomado no capítulo 5, no qual se tratará mais pormenorizadamente da natureza da

hipermídia. Nesse capítulo ainda, serão destacadas possibilidades da hipermídia para se projetar sistemas educativos com base em princípios ausubelianos de ensino e aprendizagem.

Nos capítulos 3 e 4, desenvolvidos a seguir, serão apresentados enfoques pedagógicos derivados das pesquisas em Educação para a Ciência que, em conjunto com a teoria de Ausubel, fundamentam a proposta discutida neste trabalho, de ensino e aprendizagem de Física Moderna com a utilização da hipermídia. O modo como os elementos teóricos levantados foram articulados para constituir e contrastar esse recurso didático e a construção de conceitos com sua utilização será examinado em detalhes no capítulo 6.

3 ENFOQUES DA EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA

Ao longo das décadas, a concepção de ensino das Ciências passou por uma série de modificações, refletindo o contexto social, político, econômico e cultural de cada época. Podem ser identificadas tendências e movimentos com diferentes perspectivas, objetivos e propostas para a prática didática, orientando a estruturação de currículos, a elaboração de materiais didáticos, a definição de métodos de ensino e a formação de professores (KRASILCHICK, 1996).

Neste capítulo, serão analisadas abordagens pedagógicas embasadas nas pesquisas em Educação para a Ciência com enfoque construtivista, que visam à formação abrangente dos estudantes, atribuindo valor tanto aos conteúdos científicos quanto aos aspectos históricos, filosóficos, sociais, culturais e ambientais da Ciência e da Tecnologia.

O movimento Ciência-Tecnologia-Sociedade e sua dimensão ambiental, a idéia de alfabetização científica e tecnológica e a introdução da História da Ciência e da Filosofia da Ciência no ensino serão considerados, buscando-se explicitar características, fundamentos e proposições relacionados. Os resultados, as sugestões e as recomendações encontrados nessas áreas de estudo são relevantes para a seleção de temas a serem abordados no processo instrucional e para a organização das atividades de ensino.

3.1 Enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade

A educação científica por meio do *enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS)* pode ser caracterizada como o ensino de fenômenos naturais no qual se estabelece a relação

entre a Ciência, o ambiente artificialmente construído e o meio social do estudante, a fim de auxiliá-lo a compreender suas experiências do dia-a-dia (AIKENHEAD, 1994c).

Segundo Pedretti e Hodson (1995), o ensino CTS não constitui abordagem única, coerente e bem articulada, pelo fato de existirem inúmeras linhas com histórias distintas, chegando a ocasionar tensões significativas no interior do movimento. Conforme analisa Holman (1988), embora as conclusões sejam semelhantes em muitos casos, a ênfase do enfoque CTS pode ser colocada em aspectos e justificativas diferentes, dentre os quais:

a) Permitir que os estudantes façam julgamentos ponderados sobre questões relacionadas à Sociedade, de modo a assegurar a justiça social.

b) Tornar a Ciência mais acessível a estudantes de habilidades e aptidões diversas, proporcionando maior significação para aqueles que se interessam pouco pelos conteúdos científicos, ao relacioná-los com a Tecnologia e a Sociedade.

c) Preparar os estudantes para desempenhar seu papel numa sociedade democrática, exercendo a cidadania.

d) Assegurar o fornecimento de mão-de-obra treinada e atender às metas de desenvolvimento nacional.

A concepção de ensino CTS pode variar desde a proposta de evidenciar inter-relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade apenas como elemento motivacional dos estudantes, até formulações em que a compreensão dessas interações é essencial, chegando, em alguns casos, ao ponto no qual o conhecimento científico desempenha papel secundário (AULER; BAZZO, 2001).

Assume-se neste trabalho a importância de se incluir na educação conceitos científicos e tecnológicos, processos de investigação e relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente, abarcando o conhecimento, as aplicações, as habilidades e os valores

relativos a Ciência e Tecnologia, visando tanto ao desenvolvimento do pensamento crítico quanto à participação em uma sociedade democrática (BYBEE, 1987a).

3.1.1 Origem e relevância do movimento CTS

O movimento educacional CTS resultou da necessidade de reformas para fazer frente às transformações verificadas no mundo científico, tecnológico e social contemporâneo e da busca por uma alternativa à concepção de *ensino de Ciência pura*, predominante entre 1960 e 1970 (SANTOS, 1999).

Conforme expõem Canavarro (1999) e Aikenhead (1994b), a partir da *Segunda Guerra Mundial*, Ciência e Tecnologia consolidaram sua interdependência, resultando num empreendimento sócio-econômico abrangente denominado *pesquisa e desenvolvimento (P&D)*. Passou a existir um grande investimento financeiro nesses campos, voltado sobretudo à pesquisa aplicada, devido ao seu papel essencial na definição da competitividade e do poderio bélico das nações. O lançamento da bomba atômica, em 1945, explicitou o poder proporcionado pela Ciência e a Tecnologia e suas implicações para a Sociedade. Essas áreas tornaram-se importantes determinantes da estrutura, da Economia, do desenvolvimento, da Cultura e da sobrevivência da Sociedade.

Tais aspectos, juntamente com a falta de pessoal técnico especializado e a competição tecnológica originada pela *Guerra Fria* entre os Estados Unidos e a União Soviética, marcada pelo lançamento do satélite soviético *Sputnik*, em 1957, influenciaram decisivamente a política de educação em Ciências nos países ocidentais neste período. Segundo Fourez (1997), a educação científica foi então orientada mais para se atingir metas político-econômicas do que objetivos culturais ou sociais.

Como esclarece Krasilchick (2000), foram feitos, nos Estados Unidos, investimentos financeiros e de recursos humanos maciços para se produzir projetos de ensino de Ciências que formassem uma elite capaz de fazer a pesquisa estadunidense triunfar. Buscava-se preparar da melhor forma possível uma minoria de jovens para as carreiras científicas e tecnológicas. O modelo gerado propagou-se amplamente para outros países sob influência cultural dos Estados Unidos, repercutindo de formas diversas consoante as realidades locais. No Brasil, essa visão de educação também foi adotada:

[...] o ensino de Ciências, apoiado nos grandes projetos traduzidos e/ou elaborados no país, nos anos 60 e 70, em que pesam avanços em conteúdos e metodologias, propunha-se mais a identificar e a seduzir os alunos para as carreiras científicas e tecnológicas do que para induzir discussões de fundo sobre CTS (ANGOTTI; AUTH, 2001, p. 21).

Os cursos desenvolvidos na época centravam-se nas disciplinas particulares e na especialização, consistindo na transmissão de resultados, conceitos e métodos, perspectiva também conhecida como *ensino de Ciência pura* (FOUREZ, 1997; SANTOS, 1999).

Esse enfoque *internalista* considera a Ciência uma atividade *neutra*, desenvolvida em laboratórios sem preocupações quanto a aplicações práticas, com emprego de metodologia razoavelmente universal e padronizada, de natureza indutiva. As metas primordiais do ensino baseado nessa idéia são a aprendizagem do conhecimento científico estruturado em disciplinas, como um fim em si mesmo, e a compreensão dos processos e métodos científicos. Segundo Mattews (1988), é comum nessa abordagem adotar-se o pressuposto de que o aluno é uma *tabula rasa* ao iniciar a aprendizagem da Ciência, desconsiderando-se suas idéias e experiências prévias.

Como expõe Santos (1999), decorre dessa concepção o direcionamento da ação em sala de aula para a aprendizagem sistemática das disciplinas e as práticas rotineiras de laboratório, dando prioridade à formação de novos cientistas. Em muitos cursos com esse enfoque, enfatizava-se a *aprendizagem por descoberta*, assumindo-se que os estudantes poderiam aprender por si mesmos qualquer conteúdo científico, a partir da observação.

No ensino de Ciência pura, portanto, tende-se a ignorar a construção de idéias pelos estudantes a partir do sistema de significações que estes já possuem e verifica-se o alheamento quanto às substanciais mudanças sociais influenciadas pela Ciência e a Técnica, com currículos voltados para a preparação acadêmica e o distanciamento do estudo dos problemas do cotidiano.

Apesar do propósito de reformar a educação científica, esse modelo não conduziu aos resultados desejados. Verificou-se o afastamento e mesmo a negação das carreiras científicas pela maior parte dos estudantes, tanto nos países mais industrializados quanto naqueles em desenvolvimento (ANGOTTI; AUTH, 2001).

Esse fato, em conjunto com o agravamento de problemas relativos à Sociedade e ao Ambiente entre as décadas de 60 e 80, tais como a poluição, a crise energética e as desigualdades sociais, contribuiu para a busca de novas propostas educacionais que considerassem a conexão dos conhecimentos com a realidade na qual se insere o estudante (KRASILCHICK, 2000).

A constatação de que Ciência e Tecnologia não traziam apenas progresso social, pois não beneficiavam igualmente a todos e estavam associadas à degradação ambiental e à guerra, levou à análise mais crítica dessas forças sociais e ao questionamento da visão de uma Ciência neutra, desvinculada de interesses políticos, econômicos e sociais (ANGOTTI; AUTH, 2001; AULER; BAZZO, 2001).

A dimensão cultural do Ensino de Ciências começou, a partir de então, a ser mais valorizada, visando à formação geral do cidadão e ao desenvolvimento de seu espírito crítico. Percebeu-se a necessidade de discutir na educação científica as relações entre Ciência e Poder, seu comprometimento com as mudanças sociais e a responsabilidade dos cientistas na sociedade contemporânea, abordando-se, por exemplo, a questão do uso da energia nuclear para fins pacíficos e militares, os acidentes radioativos, a poluição ambiental e as aplicações científicas com fins exclusivos de lucro e que não contribuem para o atendimento das necessidades da maioria da população (ZANETIC, *ca.* 1990).

Nesse contexto de aprofundamento das reflexões sobre as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, emergiu o movimento CTS, com a proposta de relacionar o conhecimento ao mundo dos estudantes e capacitá-los a participar ativamente das decisões envolvendo questões científicas e tecnológicas que repercutem em suas vidas.

Auler e Bazzo (2001) observam que o movimento CTS surgiu, historicamente, em países industrializados, nos quais a Ciência e a Tecnologia estavam bem consolidadas e articuladas com o setor produtivo da Sociedade. Nessas sociedades, as demandas materiais dos indivíduos já estavam razoavelmente satisfeitas e estes passaram a questionar o modelo vigente. No Brasil, entretanto, parcela significativa da população não tem condições mínimas de sobrevivência; o desenvolvimento científico e tecnológico é insuficiente, com o país estando na condição predominante de importador de tecnologias; e existe uma debilidade da cultura de participação da sociedade brasileira em questões nacionais, minada por décadas de governos autoritários.

Em função das diferenças entre as realidades do Brasil e dos países centrais do capitalismo, Auler e Bazzo questionam se é possível a implementação, na educação brasileira, do enfoque CTS, no qual se objetiva que os cidadãos avaliem questões relacionadas à Ciência e Tecnologia e influam nas decisões com impactos sociais. Concluem que, além de fornecer

conhecimentos, é preciso também iniciar a construção de uma cultura de participação, passando pela formação de professores, cujos condicionamentos poderiam levar ao endosso de uma perspectiva *tecnocrática*, na qual as decisões são deixadas aos especialistas, inviabilizando a educação CTS.

A concepção de ensino CTS é relevante no contexto brasileiro, pois, como considera Manacorda (1986 *apud* VALE, 1995, p. 9), a educação científica e tecnológica possui um papel fundamental para a transformação social num país de Economia dependente, do chamado “3º Mundo”, possibilitando instruir as pessoas com conhecimentos teóricos e práticos que as permitam “participar concretamente da criação de uma vida mais rica, de uma maior capacidade de produção, com maior participação democrática”.

Na visão de Manacorda, receber o conhecimento científico e tecnológico somente na forma de produtos caros, com o aumento do endividamento público, não contribui para o desenvolvimento dos países do “3º Mundo”. Essas nações precisam se tornar produtoras de conhecimento, condição a ser atingida mediante uma prática pedagógica que contemple o conhecimento e uso de novos instrumentos de produção e comunicação entre os homens. É fundamental compreender e utilizar o saber científico-tecnológico de modo a constituir uma nova cultura de base, em que Ciência e Técnica estejam aliadas e vinculadas às necessidades sociais contemporâneas.

O enfoque CTS pode contribuir tanto em questões relacionadas ao progresso econômico de uma nação quanto para o bem-estar dos indivíduos. Apresenta características com potencial para, dentre outros aspectos (LAUGKSCH, 2000):

a) Estimular novas carreiras científicas e tecnológicas.

b) Auxiliar na formação de cidadãos mais conscientes, capazes de apoiar o desenvolvimento da Ciência e Tecnologia e influenciar decisões relativas à sua utilização, com expectativas realistas.

c) Capacitar as pessoas a utilizar os recursos tecnológicos disponíveis em seu ambiente de trabalho.

d) Dotar os indivíduos de conhecimentos para orientar suas decisões pessoais numa sociedade de base científica e tecnológica, tais como as que afetam a saúde, por exemplo.

e) Ampliar os horizontes mentais das pessoas, propiciando a formação de uma imagem adequada sobre Ciência e Tecnologia, a apreciação dessas conquistas intelectuais da humanidade e a aquisição de uma cultura abrangente para pensar sobre si mesmo e o mundo.

3.1.2 Alfabetização científica

Um aspecto considerado fundamental em muitas abordagens CTS é a sua finalidade de propiciar a *alfabetização científica* dos estudantes (FOUREZ, 1997; MEMBIELA IGLESIA, 1997; LATORRE LATORRE; SANFÉLIX YUSTE, 2000).

Segundo Fourez (1997; 2003), a perspectiva de alfabetização científica apresenta propósitos relacionados a três eixos de valor: o político-econômico, o social e o humanista.

Os objetivos ligados aos aspectos *políticos e econômicos* correspondem à preparação da população para atuar no mundo industrializado e à formação de cientistas e tecnólogos, a fim de reforçar o potencial tecnológico e econômico para a geração de riquezas e a promoção do bem-estar de uma nação.

As finalidades de ordem *social* associam-se ao fornecimento de informações adequadas à população para a construção de uma cultura científica e tecnológica que permita diminuir as desigualdades sociais e fortalecer a democracia, afastando-a da *tecnocracia* ao facultar a compreensão e o controle democrático das decisões tomadas pelos técnicos.

As metas de cariz *humanista* vinculam-se ao desenvolvimento de indivíduos familiarizados com as idéias essenciais da Ciência, capazes de situar-se no universo técnico-científico, utilizar a Ciência para compreender o mundo e manter sua autonomia crítica na Sociedade. O domínio humanista apresenta diversas dimensões a serem cultivadas, dentre as quais:

a) A *dimensão histórica*, relativa ao entendimento da evolução da Ciência e da Tecnologia ao longo da história humana.

b) A *dimensão epistemológica*, concernente à apreensão de como a Ciência e a Tecnologia são construídas na Sociedade e de como trabalham os cientistas.

c) A *dimensão de comunicação*, relacionada ao fato de a Ciência e a Tecnologia serem maneiras de estruturar uma visão de mundo compartilhada e comunicável.

d) A *dimensão estética*, referente à satisfação resultante da apreciação de uma teoria ou máquina bem elaborada.

e) A *dimensão ética*, atinente ao debate suscitado pelas diferentes representações das possibilidades de atuação humana propiciadas pela Ciência e Tecnologia.

A alfabetização científica constitui uma competência necessária ao cidadão para pensar racionalmente sobre Ciência e sua relação com problemas pessoais, sociais, políticos e econômicos, tornando-o apto a lidar com questões que provavelmente encontrará ao longo da vida (HURD, 1998).

Champagne e Klopfer (1982) identificam cinco componentes da alfabetização científica desejáveis para os indivíduos gerenciarem satisfatoriamente suas vidas em uma Sociedade fundamentada em Ciência e Tecnologia:

a) Conhecimento de fatos, conceitos, princípios e teorias significativos da Ciência.

b) Habilidade para aplicar conhecimento científico relevante em situações do dia-a-dia.

c) Aptidão para utilizar os processos de investigação científica.

d) Compreensão de idéias gerais sobre as características da Ciência e as importantes interações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade.

e) Manifestação de atitudes e interesses participativos relacionados à Ciência.

Segundo a American Association for the Advancement of Science (1990), a alfabetização científica envolve várias facetas:

a) Estar familiarizado com o mundo natural e respeitar sua diversidade e seu equilíbrio.

b) Ser consciente da interdependência existente entre a Matemática, a Tecnologia e as Ciências, compreendendo alguns dos conceitos e princípios científicos e tecnológicos fundamentais.

c) Ter a capacidade de pensar de modo científico.

d) Saber que Ciência, Matemática e Tecnologia são empreendimentos humanos, com pontos fortes e também limitações.

e) Conseguir utilizar o conhecimento científico e as diferentes modalidades de pensamento para atender a propósitos pessoais e sociais.

O indivíduo alfabetizado cientificamente deveria (AMERICAN SOCIETY FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE, 1990):

a) Vislumbrar que o progresso da Ciência pode proporcionar à humanidade conhecimento sobre o meio biofísico e o comportamento social necessário para estabelecer soluções para problemas locais e globais, fundamentais para tornar o mundo mais seguro.

b) Estar ciente da dependência dos seres vivos entre si e do ambiente físico ao analisar questões envolvendo a utilização da Tecnologia, visando a impedir a destruição do sistema de suporte à vida no planeta.

c) Desenvolver a habilidade de pensar de modo crítico e independente e adquirir hábitos mentais para, no dia-a-dia, lidar de modo consciente com problemas que freqüentemente envolvem evidência, considerações quantitativas, argumentos lógicos e incerteza, sabendo evitar dogmatismos e soluções simplistas para questões complexas.

d) Compreender tópicos tais como a natureza dos sistemas tecnológicos, a importância do *feedback* e controle, a relação custo-benefício-risco e a inevitabilidade de efeitos colaterais, adquirindo uma base sólida para avaliar o uso de novas tecnologias e suas implicações.

e) Reconhecer a capacidade da Tecnologia de prover ferramentas para lidar com problemas globais e locais – muitas vezes de origem tecnológica – e instrumentos para a geração de conhecimento científico de importância crucial, relevantes para a sobrevivência do ser humano e úteis no processo de construção de uma Sociedade pacífica e em harmonia com a Natureza.

A necessidade de se orientar a educação científica para a paz e a resolução de conflitos é ressaltada pela Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (1999, p. 24):

Os princípios básicos da paz e da coexistência devem fazer parte de todos os níveis de ensino. Os estudantes de ciências devem também estar cientes da sua responsabilidade específica de não aplicar conhecimentos e competências científicas em atividades que coloquem em perigo a paz e a segurança.

Esse aspecto constitui um componente importante da alfabetização científica, juntamente com a idéia de que a práxis ligada à Ciência deve sempre ter em vista o benefício da coletividade, o respeito à dignidade dos seres humanos e aos seus direitos fundamentais, e

as responsabilidades conjuntas para com as futuras gerações (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E CULTURA, 1999).

O conceito de alfabetização científica possui múltiplas dimensões – social, econômica, política, histórica, epistemológica, ética, cultural – e, embora possa apresentar diversas acepções (LAUGKSCH, 2000), é útil, quando bem definido, para a configuração de metas a serem alcançadas no ensino das Ciências numa perspectiva em que o social e o cotidiano não são deixados de lado.

3.1.3 Implementação do enfoque CTS

O ensino fundamentado nas inter-relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade pode diferir em objetivos, conteúdos, metodologias e pressupostos sobre como a aprendizagem se processa, refletindo diferentes concepções sobre sua natureza. A tradução do enfoque CTS em práticas na sala de aula pode ser feita de diversas maneiras, conforme o quadro teórico que lhe sirva de matriz.

Rosenthal (1989) distingue duas perspectivas adotadas na implementação de cursos na linha CTS, uma baseada em *questões sociais*, lidando com tópicos ou problemas específicos em Ciência, Tecnologia e Sociedade, tais como conservação da energia, crescimento populacional e energia nuclear; outra fundamentada em *aspectos sociais da Ciência*, utilizando abordagens de outras disciplinas – dentre as quais a Sociologia, a Filosofia e a História da Ciência – para estudar as interações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade.

Os aspectos sociais da Ciência podem ser classificados em seis categorias (ROSENTHAL, 1989, p. 583, tradução nossa):

a) *Filosóficos*: “a Filosofia da Ciência (especialmente a Epistemologia e a Ética); formas pelas quais a Sociedade influencia a filosofia da Ciência; o impacto das descobertas científicas sobre a Sociedade; a responsabilidade social dos cientistas”.

b) *Sociológicos*: “a Sociologia da comunidade científica; a influência da Ciência e da Tecnologia sobre a Sociedade; a influência da Sociedade sobre o progresso científico e tecnológico; as possibilidades e limitações de se utilizar Ciência e Tecnologia para solucionar problemas sociais”.

c) *Históricos*: “a História da Ciência e Tecnologia; como Ciência e Tecnologia afetaram o curso da história; o efeito de eventos históricos na ascensão da Ciência e da Tecnologia”.

d) *Políticos*: “a interação entre Ciência, Tecnologia, o público, o governo e o sistema legal; tomada de decisão sobre Ciência e Tecnologia; usos / abusos da Ciência e da Tecnologia; Ciência, Tecnologia e defesa nacional; política global”.

e) *Econômicos*: “as interações entre condições econômicas e Ciência e Tecnologia; as contribuições da Ciência e da Tecnologia para o desenvolvimento econômico; fatores econômicos afetando Ciência e Tecnologia; Ciência, Tecnologia e indústria; consumismo; emprego em Ciência e Tecnologia”.

f) *Humanistas*: “os aspectos estéticos, criativos e culturais da Ciência e da Tecnologia; os efeitos da Ciência e da Tecnologia sobre a Literatura e as Artes; a influência das Humanidades sobre Ciência e Tecnologia”.

Apesar de serem diferenciadas duas abordagens, cada qual com vantagens e desvantagens, ambas podem ser conjugadas, pois não existe a obrigatoriedade de serem mutuamente excludentes.

Conforme analisa Rosenthal (1989), as questões sociais podem ser vistas enquanto extensões do currículo tradicional, permitindo a infusão do ensino sob a ótica CTS

sem exigir maiores alterações. Entretanto, um ponto desfavorável dessa concepção é a tendência de mudança dos temas relevantes com o tempo, levando à obsolescência do aprendizado.

A abordagem de aspectos sociais, por outro lado, exige transformações mais profundas do currículo, parecendo, para alguns, estender-se além do domínio da educação científica e até mesmo conflitar com este. Porém, poderia proporcionar uma formação mais abrangente e duradoura, preparando melhor os estudantes para lidar com futuros problemas relativos às inter-relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade.

A conciliação das duas perspectivas parece ser recomendável e poderia ser realizada, por exemplo, utilizando questões sociais enquanto veículos para ensinar aspectos sociais da Ciência (ROSENTHAL, 1989).

Não existe consenso sobre quais temas sociais devem ser incluídos no ensino com a abordagem CTS. Com base em uma revisão de levantamentos realizados sobre a opinião de estudantes, professores de Ciências, cientistas e engenheiros quanto a temas de natureza social cuja discussão seria importante na educação científica, Bybee (1987a; 1987b) estabeleceu a seguinte relação:

- a) Qualidade do ar e atmosfera (chuva ácida; gás carbônico; redução da camada de ozônio; aquecimento global).
- b) Fome mundial e recursos alimentares (produção de alimentos; agricultura; conservação das terras cultiváveis).
- c) Tecnologia da guerra (armas químicas; desenvolvimentos nucleares; ameaça das armas nucleares).
- d) Crescimento populacional (população mundial; imigração; capacidade de sustentação; capacidade de previsão).

e) Recursos hídricos (descarte de resíduos; estuários; abastecimento; distribuição; contaminação de lençóis freáticos; contaminação por fertilizantes).

f) Escassez de energia (combustíveis sintéticos; energia solar; combustíveis fósseis; conservação da energia; produção de petróleo).

g) Substâncias perigosas (depósitos de lixo; produtos químicos tóxicos; tintas a base de chumbo).

h) Saúde e doença humanas (doenças infecciosas e não-infecciosas; estresse; barulho; dieta e nutrição; exercícios físicos; saúde mental).

i) Uso da terra (erosão do solo; recuperação de terras; desenvolvimento urbano; perda do *habitat* da vida selvagem; desmatamento; desertificação; salinização).

j) Reatores nucleares (gerenciamento de resíduos nucleares; reatores regeneradores; custos de construção; segurança; terrorismo).

k) Extinção de plantas e animais (redução da diversidade genética; proteção da vida selvagem).

l) Recursos minerais (minerais não-combustíveis; minerais metálicos e não-metálicos; mineração; tecnologia; depósitos de baixa qualidade; reciclagem; reutilização).

O conteúdo da perspectiva CTS pode estar integrado ao de Ciência tradicional de diferentes maneiras. Segundo o grau de importância atribuído aos temas do enfoque CTS, Aikenhead (1994c) estabeleceu uma classificação dos currículos em oito categorias:

a) *Motivação mediante conteúdo CTS*: conteúdo de Ciência tradicional com a menção a algum tema do enfoque CTS para tornar determinada aula mais interessante. Os alunos não são avaliados quanto ao conteúdo CTS.

b) *Infusão casual de conteúdo CTS*: conteúdo de Ciência tradicional incluindo o estudo curto, com duração de meia hora a duas horas, de um tema do enfoque CTS relacionado ao tópico científico. Não há coesão entre os assuntos da abordagem CTS. Os

estudantes são avaliados predominantemente quanto aos conceitos científicos e apenas superficialmente em relação ao conteúdo CTS (por exemplo, 5% CTS e 95% conceitos científicos).

c) *Infusão proposital de conteúdo CTS*: conteúdo de Ciência tradicional incluindo uma série de estudos curtos, cada qual com duração de meia hora a duas horas, com temas do enfoque CTS integrados aos tópicos científicos. Os assuntos apresentam coesão, buscando-se a exploração sistemática do conteúdo CTS. A avaliação dos estudantes considera em algum grau a compreensão do conteúdo CTS (por exemplo, 10% CTS e 90% conceitos científicos).

d) *Disciplina singular por meio de conteúdo CTS*: o conteúdo CTS constitui o organizador dos conceitos científicos e de sua sequência de apresentação. O conteúdo científico é selecionado de uma única disciplina científica. Uma listagem de tópicos de Ciência pura de um curso dessa modalidade seria semelhante àquela de um programa de estudo da categoria anterior, embora com sequência bastante diferente. Os estudantes são avaliados quanto ao entendimento do conteúdo CTS, porém não tanto quanto o são em relação aos conceitos de Ciência pura (por exemplo, 20% CTS e 80% conceitos científicos).

e) *Ciência por meio de conteúdo CTS*: o conteúdo CTS é o organizador dos conceitos científicos e de sua sequência de estudo. O conteúdo científico é multidisciplinar, determinado pelos temas da abordagem CTS. Em uma listagem dos tópicos de Ciência pura de um curso desse tipo, seriam encontrados conceitos importantes de uma variedade de disciplinas científicas tradicionais. Os estudantes são avaliados quanto ao entendimento do conteúdo CTS, porém não tanto quanto o são em relação aos conceitos de Ciência pura (por exemplo, 30% CTS e 70% conceitos científicos).

f) *Ciência em conjunto com conteúdo CTS*: o conteúdo CTS é o foco do ensino, incluindo conceitos científicos relevantes para enriquecer a aprendizagem. A avaliação engloba igualmente o conteúdo CTS e o de Ciência pura.

g) *Infusão de Ciência no conteúdo CTS*: o conteúdo CTS é o foco do ensino. O conteúdo científico é mencionado, porém não é sistematicamente ensinado, podendo haver ênfase em princípios abrangentes da Ciência. Os estudantes são avaliados principalmente quanto ao conteúdo CTS e apenas parcialmente em relação aos conceitos de Ciência pura (por exemplo, 80% CTS e 20% conceitos científicos). Materiais com esse tipo de estrutura podem ser inseridos em um curso tradicional para gerar um curso da categoria (c).

h) *Conteúdo CTS*: uma questão tecnológica ou social principal é estudada. O conteúdo científico é mencionado, mas somente para indicar uma conexão existente com a Ciência. Não há avaliação dos estudantes quanto aos conteúdos de Ciência pura. Materiais com esse tipo de configuração podem ser introduzidos em um curso tradicional para originar um curso da categoria (c).

Para que as finalidades educacionais do ensino CTS sejam alcançadas, torna-se importante a elaboração apropriada de materiais didáticos, pois estes veiculam informações, concepções, estratégias e valores que influenciam estudantes e professores. Na elaboração e análise de textos, em formato impresso ou eletrônico, segundo o enfoque CTS, uma série de características devem ser observadas, tendo em vista a qualidade do recurso instrucional. Solbes e Vilches (1989) consideram importante verificar se um texto:

- a) Busca evidenciar as concepções dos estudantes sobre a Ciência e os cientistas.
- b) Critica visões estereotipadas sobre as características dos cientistas.
- c) Trata de modo detalhado as relações entre Ciência e Tecnologia.
- d) Retrata a Ciência como uma força tanto produtiva quanto destrutiva.
- e) Explicita o papel da Ciência na modificação do meio.

f) Mostra o papel desempenhado pela Ciência na evolução das idéias da humanidade, assim como as influências ideológicas e sócio-políticas no desenvolvimento científico.

g) Representa a Ciência como resultado de um trabalho coletivo, no qual muitas vezes ocorrem controvérsias.

h) Contribui para a formação de cidadãos, permitindo exercitar a tomada de decisões.

i) Favorece a valoração crítica do papel da Ciência.

j) Propõe a realização de atividades envolvendo contatos exteriores à escola, tais como visitas técnicas, por exemplo.

Os resultados proporcionados pelos currículos elaborados segundo o enfoque CTS dependem de diversas variáveis que atuam na complexa prática educacional, envolvendo mais do que conteúdos, materiais didáticos e metodologias de ensino. Rubba (1991) destaca, por exemplo, a influência das crenças e dos valores mantidos pelos professores, que podem favorecer ou não a realização de determinados objetivos e precisam, em certos casos, de reestruturação.

Apesar desses fatores, foi possível reunir indícios expressivos de que o ensino CTS é vantajoso para os estudantes. A avaliação dos resultados obtidos com a aplicação desse enfoque em situações concretas de ensino e aprendizagem permitiu acumular evidências de que (AIKENHEAD, 1994a):

a) Em comparação com aulas tradicionais de Ciência, a abordagem CTS pode contribuir para os estudantes melhorarem significativamente a compreensão sobre questões e aspectos sociais da Ciência, e sobre as inter-relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, dependendo do conteúdo enfatizado e avaliado pelo professor.

b) Em comparação com aulas tradicionais de Ciência, a abordagem CTS pode contribuir para os estudantes melhorarem significativamente as atitudes em relação à Ciência, às aulas de Ciência e à aprendizagem, como resultado tanto do conteúdo quanto dos métodos de ensino CTS que favorecem a interatividade do aluno.

c) Em comparação com aulas tradicionais de Ciência, a abordagem CTS pode contribuir para os estudantes terem ganhos modestos, porém significativos, quanto a habilidades de pensamento tais como a aplicação do conteúdo científico a situações do cotidiano, a atividade cognitiva crítica e criativa, e a tomada de decisões, contanto que tais aptidões sejam explicitamente praticadas e avaliadas.

d) A abordagem CTS não compromete de modo significativo os resultados dos estudantes em relação aos conteúdos tradicionais de Ciência na série subsequente de ensino, mesmo que esta seja a universidade, particularmente em se tratando de alunos mais talentosos do ponto de vista acadêmico.

e) A abordagem CTS pode beneficiar os estudantes desde que existam materiais didáticos adequados disponíveis em sala de aula; o professor oriente sua ação de modo compatível com a proposta CTS; e se confira nos cursos maior prioridade aos conteúdos CTS, além de infusões casuais ou apenas com propósitos motivacionais.

As pesquisas em Educação para a Ciência indicam, portanto, que a utilização de materiais didáticos e a condução de atividades de ensino segundo a abordagem CTS podem auxiliar efetivamente no processo de alfabetização científica dos estudantes.

Na proposta de ensino e aprendizagem com a hipermídia examinada neste trabalho, o enfoque CTS foi empregado buscando-se conciliar a perspectiva de *questões sociais* e a de *aspectos sociais* da Ciência, conforme a definição de Rosenthal (1989).

Foram incluídas no *software* de Física Moderna questões sociais relativas às armas nucleares e aos reatores nucleares, temas específicos e atuais. Em conjunto com esses assuntos, foram também tratados aspectos sociais da Ciência, com dimensões filosóficas, sociológicas, históricas e políticas. No plano filosófico, introduziram-se discussões éticas concernentes à produção e utilização das armas nucleares, aos riscos da energia nuclear e à responsabilidade social dos cientistas; análises da evolução do conhecimento científico

considerando-se a existência de rupturas e a competição de programas de pesquisa, como no caso da transição da Física Clássica para a Moderna; e explanações sobre o papel de novas previsões teóricas para o progresso da Ciência, tais como as realizadas pela Teoria da Relatividade. No plano sociológico, ofereceram-se exemplos da repercussão das inovações científicas e tecnológicas sobre a vida das pessoas e o Ambiente, acarretando tanto benefícios quanto problemas a serem gerenciados, tais quais os decorrentes do uso da energia nuclear. No plano histórico, explorou-se o surgimento da Teoria da Relatividade e da Mecânica Quântica, incluindo-se os principais conceitos e personalidades envolvidas, e sua contraposição às idéias clássicas. No plano político, ilustraram-se relações dos cientistas com os governos de nações, tal como verificado no Projeto Manhattan e nos debates envolvendo o desarmamento nuclear; procurou-se evidenciar o caráter de não-neutralidade da Ciência e dos pesquisadores; veiculou-se a noção de que a população pode influenciar em decisões governamentais envolvendo Ciência e Tecnologia.

A abordagem adotada no material elaborado aproxima-se da chamada *infusão proposital de conteúdo CTS*, segundo a classificação de Aikenhead (1994c) discutida anteriormente. No *software* proposto, a ênfase encontra-se na exposição dos conceitos centrais da Teoria da Relatividade e no estudo das implicações tecnológicas, sociais e ambientais relacionadas a aplicações da idéia de equivalência massa-energia. Entretanto, ao se realizar a avaliação dos estudantes, diferentemente do estabelecido por Aikenhead, a exigência quanto à compreensão do conteúdo CTS foi parecida com aquela feita quanto aos conceitos científicos.

Devido ao papel importante que as dimensões histórica e filosófica podem desempenhar tendo em vista o entendimento da natureza da Ciência pelos alunos, sua inserção na educação científica será considerada um pouco mais na próxima seção.

3.2 História e Filosofia da Ciência na educação científica

A introdução da *História* e da *Filosofia da Ciência* no ensino pode contribuir para se atingir uma série de objetivos relacionados à alfabetização científica. Conforme expõe Mattews (1995, p. 165), essas disciplinas e a Sociologia da Ciência

podem humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral de matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do “mar de falta de significação” que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas.

Segundo Mattews (1995, p. 166), a incorporação de temas da História e da Filosofia da Ciência pode ser situada em uma abordagem *contextualista*, na qual as Ciências são “ensinadas em seus diversos contextos: ético, social, histórico, filosófico e tecnológico”, tal como a proposta pelo movimento CTS.

A inclusão de temas da História e da Filosofia da Ciência no ensino da Física, em particular, é indicada por diversas razões (NIELSEN; THOMSEN, 1990; SOLBES; TRAVER, 1996):

a) A abordagem histórico-filosófica contribui para construção de uma visão ampliada da Física enquanto atividade humana, considerando processos e produtos. É possível evidenciar, mediante exemplos históricos, que o avanço das idéias científicas em geral não é tão linear ou racional como mostram os livros-texto tradicionais. Esse tipo de análise permite

compreender o pensamento científico e diferenciá-lo do não-científico, com o estudo relativo ao estabelecimento de um paradigma quantitativo em oposição ao raciocínio qualitativo, no qual existem critérios para a corroboração experimental e quantitativa de previsões teóricas.

b) Estudos históricos facultam o entendimento de como a Física influencia a Cultura de modo amplo – modificando, por exemplo, tecnologias, sociedades e visões de mundo – e também a percepção da ação da Cultura sobre a Física.

c) A implementação de enfoques histórico-filosóficos na prática didática tende a modificar o clima em sala de aula, levando à mudança positiva das atitudes dos estudantes, com a melhoria na imagem que possuem da Ciência e de seu ensino, o aumento do interesse pelo estudo de temas científicos e maior abertura nas interações.

d) Existem analogias entre concepções espontâneas dos estudantes e pontos de vista de cientistas da antiguidade, que podem auxiliar a compreender melhor a construção de conceitos fundamentais.

Para Castro e Carvalho (1992), a introdução da dimensão histórica no ensino possibilita que o saber científico, uma construção gradual e sofisticada da mente humana, seja encarado não enquanto produto acabado, passível de mera transmissão ou revelação, e sim na condição de conhecimento em permanente elaboração.

Dessa forma, o conteúdo científico pode tornar-se mais interessante e mais compreensível, por ser aproximado do universo cognitivo do aprendiz e do próprio homem, que constrói concepções ao longo de sua história, a partir da interação com a realidade.

A American Association for the Advancement of Science (1990) considera importante incluir conhecimentos da História da Ciência no ensino da Física devido a dois motivos principais.

O primeiro tem a ver com sua relevância para auxiliar o entendimento das generalizações sobre como o empreendimento científico funciona, ao fornecer casos concretos

ocorridos ao longo do processo histórico de desenvolvimento das idéias. Sem estudar a História da Ciência, seria difícil compreender, por exemplo, o que significa a asserção de que novas idéias geralmente são rejeitadas pela comunidade científica, às vezes resultam de achados inesperados e, em geral, desenvolvem-se lentamente, recebendo contribuições de inúmeros pesquisadores.

O segundo motivo para se estudar a História da Ciência relaciona-se à sua função de propiciar informações sobre episódios que marcaram o desenvolvimento do pensamento da civilização ocidental e fazem parte da herança cultural da humanidade, como por exemplo a revolução nos conceitos de espaço, tempo, massa e energia promovida pela *Teoria da Relatividade* de Einstein e os estudos pioneiros sobre a radioatividade e a fissão nuclear, com suas implicações para a produção de energia tendo em vista fins pacíficos ou militares.

Sherratt (1982) indica também a função de cursos com conteúdo histórico em propiciar uma percepção global e abrangente da Ciência, eliminando uma barreira artificial existente entre as Humanidades e as Ciências. A História da Ciência poderia, assim, contrapor-se à visão estreita muitas vezes associada à especialização excessiva e beneficiar tanto futuros cientistas quanto indivíduos que não seguirão carreiras científicas.

Abordagens históricas e filosóficas permitem evidenciar aspectos essenciais da *natureza da Ciência*, cujo entendimento é objetivo importante da educação científica. Diversas pesquisas mostram que, em geral, os estudantes não possuem concepções adequadas sobre as características e os valores da Ciência e quanto ao modo de produção, testagem e validação do conhecimento científico (LEDERMAN, 1992).

Em um estudo abrangente realizado por Mackay (1971), concluiu-se que os alunos da escola de nível médio não apresentavam conhecimento suficiente relacionado a três grandes áreas:

a) *O empreendimento científico.* Os estudantes evidenciavam, em geral, pouco entendimento sobre a influência da população e do governo sobre a atividade científica; o papel da criatividade na Ciência; a natureza dinâmica do empreendimento científico, em constante atividade e expansão; as funções dos periódicos científicos; as contribuições de descobertas do passado na pesquisa científica; a importância de se comunicar os achados e as investigações científicas; as finalidades das sociedades científicas.

b) *Os cientistas.* Os estudantes comumente pensavam, de modo equivocado, que os cientistas não precisam ser criativos; empregam atitudes científicas em praticamente qualquer atividade; passam todo o tempo possível no laboratório; têm necessariamente entre suas características pessoais a honestidade e a autocrítica; nasceram com uma aptidão científica especial.

c) *Os métodos e as metas da Ciência.* Os estudantes usualmente revelavam pouca compreensão sobre as funções dos modelos científicos; os papéis das teorias e suas relações com a pesquisa; as distinções entre hipóteses, leis e teorias; a relação entre a verdade absoluta e a experimentação, os modelos e as teorias; o fato de a Ciência não se dedicar apenas à tarefa de colecionar e classificar fatos; o que constitui uma explicação científica; a diferença entre Ciência e Tecnologia; as relações estreitas entre os diferentes ramos da Ciência e sua interdependência.

A inserção de tópicos de caráter histórico e filosófico nos currículos é uma ação que pode contribuir para a melhoria da compreensão da natureza da Ciência pelos estudantes. Outro ponto relaciona-se aos livros-texto, cujo teor influencia significativamente a prática pedagógica. Os materiais didáticos não deveriam enfatizar somente a apresentação dos conceitos e princípios da Ciência, mas também conferir mais atenção à forma como o conhecimento científico é formulado e validado, e dedicar mais espaço à história do

desenvolvimento das idéias científicas, à luta intelectual que caracteriza a evolução da Ciência e à utilidade do conhecimento científico no dia-a-dia dos estudantes (GALLAGHER, 1991).

Na implementação de uma educação científica de caráter mais humanista, é fundamental, outrossim, a formação de professores, pois estes são os condutores do processo de ensino e aprendizagem, devendo estar bem preparados com informações obtidas em cursos de História, Filosofia e Sociologia da Ciência, além dos conhecimentos científicos indispensáveis da disciplina específica a ser ensinada.

3.2.1 Abordagens educacionais da História da Ciência

A História da Ciência pode ser inserida na educação científica por meio de várias estratégias, dentre as quais o estudo de caso histórico, o trabalho com a biografia de cientistas, a leitura de artigos originais de cientistas e a abordagem histórica como princípio organizador de um curso (KLOPFER, 1969).

A introdução do estudo de caso histórico em Ciências, em que se acompanha a evolução de parte de uma grande idéia científica, permite ilustrar o processo de investigação científica e a interação entre Ciência, cientistas e a Cultura na qual se inserem, além de facultar o ensino do próprio conteúdo específico.

A apresentação de biografias de cientistas, com leitura e discussão em sala de aula, pode ser explorada para revelar características de seus métodos de investigação, sua visão de Ciência e a relação desta com a Sociedade. Além disso, fornece a visão do cientista enquanto ser humano inserido num contexto social.

O estudo analítico dos artigos originais de pesquisa dos cientistas pode contribuir, dentre outras possibilidades, para mostrar a evolução de certas teorias; explicitar as principais

noções que foram produtivas na pesquisa em uma área particular ou os princípios de investigação naquele campo; evidenciar a variedade de procedimentos experimentais em Ciência; ilustrar a influência de certas concepções filosóficas predominantes ou predileções sobre as idéias científicas.

A utilização da abordagem histórica como o princípio organizador de todo um curso de Ciências, ou de seus maiores segmentos, em que os tópicos a serem estudados são apresentados na ordem de seu desenvolvimento histórico, reflete um compromisso maior do educador com a História da Ciência.

Na proposta de *software* educativo considerada no presente trabalho, optou-se pelo estudo de caso histórico, com a exposição do desenvolvimento das idéias associadas ao surgimento da Teoria da Relatividade e da Mecânica Quântica, e o exame dos fatos que conduziram à produção e ao emprego das primeiras armas nucleares. A análise biográfica foi também empregada, destacando-se aspectos da vida e obra de Albert Einstein, cujas teorias foram particularmente tratadas no material didático.

Apesar das ricas possibilidades pedagógicas geradas com o aporte de conhecimentos históricos na educação científica, para esse potencial reverter-se efetivamente em contribuições para a aprendizagem é preciso evitar certos equívocos que podem repercutir desfavoravelmente na imagem de Ciência construída pelos estudantes. Bizzo (1992) reconhece três abordagens cujos pressupostos podem ser questionados.

A primeira diz respeito à seleção de elementos do passado de modo parcial, concentrando-se apenas naqueles que possuem utilidade para explicar o presente, retirando-os do seu contexto original. Nesse caso, tende-se a produzir uma reconstrução histórica, em que as teorias do presente são apresentadas como resultado do desenvolvimento de uma idéia embrionária sobre a qual trabalharam os cientistas do passado. Presume-se em tal enfoque uma continuidade entre as teorias do passado e do presente, as quais seriam estreitamente

aparentadas, ignorando-se a existência de conceitos, procedimentos e construções teóricas que foram considerados seriamente em determinado período e acabaram sendo abandonados.

A segunda abordagem refere-se à visão de que as idéias atuais resultaram de elementos mais simples do passado, tornando-se mais complexas por meio de um processo contínuo de elaboração científica. Esse tipo de reconstrução, entretanto, acaba enfraquecendo a lógica da época, que pode perder o sentido original num contexto simplificado, fazendo até mesmo os cientistas do passado parecerem bem pouco sofisticados ou ilógicos. Deve-se observar que as teorias do passado podem ser bastante complexas e, às vezes, há uma simplificação no presente ou as teorias atuais correspondem a uma síntese daquelas disponíveis no passado.

Finalmente, a terceira abordagem relaciona-se à crença de que o estudante, em seu desenvolvimento, reproduz as mesmas idéias dos cientistas do passado, estabelecendo-se uma relação mecânica entre a ontogênese e a filogênese na formação de conceitos. Embora os estudantes possam apresentar visões semelhantes às dos cientistas do passado, de modo espontâneo, isso não significa que recapitem os passos dos pesquisadores de períodos anteriores. Em certos paralelos, empregam-se, de modo inadequado, versões demasiadamente simplificadas do desenvolvimento científico, com o intuito de reforçar possíveis similaridades entre os conceitos dos cientistas e as concepções espontâneas dos estudantes.

Os pontos analisados servem de reflexão para uma utilização adequada da História da Ciência no ensino, buscando-se evitar simplificações, distorções e aplicações indevidas.

3.2.2 Epistemologia e Educação para a Ciência

A Filosofia da Ciência pode contribuir para o estabelecimento de um currículo epistemologicamente mais fundamentado. Embora exista uma variedade de concepções sobre

a Ciência, seus métodos e seu progresso, podem ser identificados pontos em comum no entendimento dos filósofos contemporâneos.

Hodson (1986, p. 216, tradução nossa) enumera os seguintes aspectos quanto à visão sobre Ciência, considerados relevantes para os currículos da educação científica, em relação aos quais existe razoável grau de concordância:

- (1) Observações são dependentes de nossas às vezes inadequadas percepções sensoriais e, portanto, podem ser inconfiáveis e falíveis.
- (2) Observações são teórico-dependentes e a teoria, freqüentemente, embora nem sempre, precede a observação.
- (3) A Ciência freqüentemente utiliza observação indireta que, por sua vez, depende de uma teoria de instrumentação.
- (4) Observações não providenciam acesso automático a conhecimento factual seguro; devem ser interpretadas levando em conta convicções teóricas correntes.
- (5) Conceitos e teorias são produzidos por atos criativos de abstração e invenção. Não surgem diretamente de observações por um processo de generalização indutiva.
- (6) Teorias são freqüentemente justificadas *post hoc* por evidência experimental, mas para uma teoria ser aceita deve haver evidência de sustentação (concebível).
- (7) Teorias rivais podem dar origem a observações não-idênticas ao confrontar o mesmo fenômeno.
- (8) O conhecimento científico (dados observacionais e teorias) tem *status* apenas temporário. Conceitos e teorias mudam e se desenvolvem; alguns são descartados.
- (9) A indução é inadequada enquanto descrição do método científico e, assim, os métodos de aprendizagem por descoberta freqüentemente empregados pelos professores de Ciências projetam uma imagem distorcida de Ciência.

Na proposta de currículos, materiais didáticos e práticas visando à educação científica, torna-se importante observar essas características relativas ao conhecimento científico, a fim de não se gerar uma visão desatualizada e distorcida sobre a Ciência e seus métodos.

Segundo Monk e Osborne (1997), a educação científica tradicional tem como preocupação fundamental o conhecimento e a compreensão do conteúdo da Ciência – os *produtos* da justificação epistemológica – e, quando se abordam os *processos*, a ênfase costuma recair sobre questões metodológicas, desconsiderando-se o igualmente importante

componente relacionado à interpretação e ao significado dos dados. Ignora-se, nesse caso, o fato de a aprendizagem a partir de uma determinada situação não depender apenas do que os indivíduos podem abstrair, mas também de seus constructos mentais prévios.

Em geral, disso resulta uma concepção de Ciência simplista e afastada do que é a construção do conhecimento científico, veiculada na maioria dos livros didáticos e muito adotada nas aulas de Ciências. Dentre os aspectos que fazem parte dessa imagem incompatível com os posicionamentos epistemológicos contemporâneos, podem ser destacados (MOREIRA; OSTERMANN, 1993; GIL PÉREZ *et al.*, 2001):

a) Uma concepção *empírico-indutivista* e *ateórica* da Ciência em que se destaca uma pretensa neutralidade da observação e da experimentação – não influenciadas por idéias estabelecidas *a priori* –, desconsiderando-se o papel das hipóteses e teorias orientadoras da investigação.

b) Uma visão do método científico enquanto procedimento *algorítmico, rígido, exato*, iniciando-se com a observação e com etapas que, se seguidas rigorosamente, levam necessariamente ao conhecimento científico. Enfatiza-se, nesse caso, o que supostamente é um controle rigoroso, mediante o tratamento quantitativo dos dados, deixando-se de lado fatores essenciais tais como a criatividade, o caráter tentativo e a dúvida.

c) Uma visão *aproblemática* e *a-histórica* da Ciência, de caráter dogmático e fechado, resultando na transmissão de saberes já elaborados, aparentemente definitivos. Nessa ótica, não se contemplam as dificuldades enfrentadas na construção das idéias científicas, sua evolução, os problemas que as geraram e as limitações e as perspectivas do conhecimento atual.

d) Um enfoque exclusivamente *analítico* da Ciência, marcado pela fragmentação dos estudos e dotado de um caráter limitado, simplificador, sem levar em conta os esforços de unificação de teorias e o tratamento de problemas comuns envolvendo diferentes áreas.

e) Uma idéia de produção do conhecimento científico mediante o *acúmulo linear* de dados, ignorando-se a existência de crises e reformulações profundas, decorrentes de processos complexos que não seguem um padrão pré-definido.

f) Uma concepção *individualista* e *elitista* da Ciência, produzida por gênios isolados, na qual se ignora o papel do trabalho coletivo e cooperativo e dos intercâmbios entre equipes de cientistas, fazendo-se acreditar que uma hipótese ou teoria pode ser verificada ou refutada por um único cientista ou equipe.

g) Uma representação *socialmente neutra* da Ciência, na qual se esquecem as interações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade e veicula-se uma imagem deformada dos cientistas enquanto indivíduos desvinculados de questões morais e alheios à necessidade de se fazer opções.

Conforme argumentam Monk e Osborne (1997), para se compreender a importância e o significado dos conceitos científicos, é fundamental considerar o papel da criatividade e da imaginação no raciocínio hipotético-dedutivo e examinar as evidências que sustentam determinada construção teórica, analisando o modo pelo qual os cientistas desenvolvem o conhecimento. É essencial observar o contexto histórico, social e cultural em que as idéias científicas surgiram, as formas dominantes de pensamento em certo período, os numerosos caminhos explorados sem resultados consideráveis e as dificuldades de se persuadir outros pesquisadores sobre a validade de novas interpretações teóricas.

A História e a Filosofia da Ciência fornecem elementos para se alcançar um entendimento mais adequado sobre os produtos e processos do conhecimento científico, em que o contexto histórico da descoberta e o contexto epistemológico da justificação do conhecimento são apreciados de modo equilibrado.

Na proposta didática para o ensino de Física Moderna com a hipermídia considerada neste trabalho, foram incluídos textos abordando o desenvolvimento histórico da

Teoria da Relatividade e da Mecânica Quântica, a metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos e a biografia de Albert Einstein, objetivando-se veicular uma visão de Ciência mais coerente segundo a Epistemologia contemporânea.

A idéia de que na História da Ciência existem programas de pesquisa rivais e pode haver a substituição de uma teoria predominante por outra mais adequada à explicação dos fenômenos, dotada de maior poder heurístico, possibilita entender o processo de transição de Física Clássica para a Moderna em bases racionais.

As previsões realizadas pela Teoria da Relatividade e posteriormente corroboradas, além de exemplificarem o caráter progressivo do programa de pesquisa relativístico, possibilitam ilustrar o papel de hipóteses e elementos teóricos na realização de experimentos.

A interação de Albert Einstein com outros cientistas e o estudo por este realizado das idéias de seus antecessores e contemporâneos faculta, por sua vez, revelar a interdependência entre os pesquisadores no processo de construção das teorias científicas.

No *software* educacional em análise, aludiu-se também à indagação filosófica acerca da limitação dos conhecimentos científicos, tanto no texto introdutório aos conceitos de Física Moderna, no qual se sugere a insuficiência do Modelo Padrão da Teoria de Partículas, quanto no texto sobre buracos negros, a respeito dos quais permanecem problemas de pesquisa ainda irresolutos, e também no texto sobre ondas gravitacionais, até o momento (ano-base: 2005) não detectadas. O fim da Ciência, ou seja, se algum dia os conhecimentos desse campo do saber se tornarão completos, foi uma questão proposta ao final do texto sobre conceitos básicos de Física Moderna, para estimular a reflexão sobre as perspectivas e os limites do conhecimento científico.

A opção pela Filosofia de Lakatos para se analisar a transição da Física Clássica para a Moderna foi feita por esta se propor a oferecer uma explicação lógica do crescimento do conhecimento científico, permitindo compreender as revoluções científicas como ocorrências de progresso racional (LAKATOS, 1993; SILVEIRA, 1996).

Embora a estratégia de Lakatos ao investigar a História da Ciência seja a de concentrar-se em fatores internos do processo de pesquisa – excluindo as atividades da comunidade de pesquisa – para expor a racionalidade da Ciência, o filósofo reconhece que “qualquer reconstrução racional da História deve ser complementada mediante uma ‘História Externa’ (Sócio-psicológica)” (LAKATOS, 1993, p. 134, tradução nossa). Conforme observa Kneller (1978), fatores externos, tais quais Filosofia, Religião, Tecnologia, demanda social e financiamento, podem estimular cientistas a formular questões e investigar fenômenos que, de outro modo, talvez tivessem ignorado, apesar de, em certos casos, poderem atravancar o desenvolvimento científico. Por outro lado, a Ciência também exerce influência sobre a Sociedade e a Cultura. Por isso, não se deixou de focar na proposta didática em examinar o contexto social e econômico no qual a Ciência é produzida, incluindo suas relações com a Tecnologia, a Sociedade e o Ambiente, e questões concernentes à sua não-neutralidade e à responsabilidade dos cientistas. Este último ponto será analisado melhor a seguir.

3.2.3 Ética e Educação para a Ciência

A dimensão filosófica do ensino das Ciências abarca questões de natureza Ética, relativas à responsabilidade social de educadores, cientistas e da população em geral diante da produção e emprego dos conhecimentos científicos e tecnológicos.

Esse aspecto é importante, primeiramente, devido à função formativa da atividade educacional, visando não apenas à construção de conhecimentos científicos e técnicos, mas também ao objetivo fundamental de contribuir para o desenvolvimento de cidadãos críticos, conscientes e capazes de se posicionar de modo ético diante dos problemas pessoais e sociais com os quais se defrontarão.

Além disso, a introdução de abordagens de ordem ética pode contribuir para a construção de uma visão mais realista sobre a Ciência e a Tecnologia – distanciada de uma suposta neutralidade – e a formação de uma imagem menos idealizada dos cientistas.

É razoavelmente difundida a concepção de que a Ciência e a Tecnologia são apolíticas e benévolas, e os cientistas são especiais por estarem comprometidos com as normas éticas da Ciência. Certos pesquisadores consideram o emprego e as implicações da Ciência e Tecnologia algo não relacionado à sua prática, relegando a questão da decisão quanto à sua utilização aos políticos e administradores, eximindo-se de sua responsabilidade (SCHMÉDER, 2001).

Essa visão, entretanto, é difícil de ser sustentada quando se examina, por exemplo, o papel dos pesquisadores na promoção da guerra. O envolvimento dos cientistas em questões militares é documentado, podendo-se mencionar os compromissos dos cientistas com o Fascismo e o Nazismo, durante a *Segunda Guerra Mundial* (1939-1945); sua participação massiva e ativa na corrida armamentista durante e depois desse conflito; sua atuação no grupo JASON, que assessorou o Pentágono durante a *Guerra do Vietnã* (1964-1975); seu envolvimento em conflitos recentes movidos por interesses diversos, sejam eles comerciais, nacionalistas, étnicos ou religiosos (SCHMÉDER, 2001).

Para compreender as motivações e justificar a ânsia de cientistas em participar de projetos militares, Schméder (2001) indica, além de questões relacionadas à lealdade patriótica, à busca pelo poder e prestígio e à obtenção de recursos para o financiamento de projetos, fatores inerentes ao seu processo formativo.

Observa-se que o treinamento da maior parte desses profissionais envolve a imersão, desde o início dos estudos, em problemas de caráter científico e técnico apenas. Durante sua formação, em geral não são consideradas perspectivas históricas, sociológicas,

econômicas e filosóficas, não costumam ser feitas abordagens críticas quanto ao emprego da Ciência e os estudantes geralmente são valorizados somente por sua produtividade.

Dessa forma, as competências éticas são excluídas dos cursos preparatórios de cientistas, resultando em profissionais treinados para buscar realizações científicas sem se preocupar com suas consequências ou sem questionar suas implicações políticas. Esses especialistas tendem a ser convencidos nesse processo de que os cientistas constituem uma superelite intelectual e se inclinam a atribuir os problemas sociais à incompetência ou falta de racionalidade, ou a pensar que todos os problemas podem ser resolvidos mediante uma abordagem científica.

Os fatos apresentados evidenciam a importância de se introduzir debates éticos nos cursos de formação de cientistas e engenheiros. Esse aspecto é enfatizado pela Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (1999, p. 28):

A ética e a responsabilidade da ciência deve ser parte integrante da educação e da formação de todos os cientistas. É importante inculcar nos alunos uma atitude positiva em relação à reflexão, à atenção e à consciência dos dilemas éticos que podem vir a encontrar na sua vida profissional. Os jovens cientistas devem ser encorajados, de maneira adequada, a respeitar e a aderir aos princípios básicos e às responsabilidades éticas da ciência.

Programas de ensino fundamentados na noção de Ciência neutra, isentos de julgamentos de valor sobre a atividade científica, não se limitaram aos cursos de nível superior, como atestam os vários projetos de ensino de Ciências concebidos na década de 60, dentre os quais o *Physical Science Study Committee* (PSSC). Conforme esclarece Krasilchick (2000), tais propostas surgiram num período no qual muitos cientistas evitavam assumir a responsabilidade que tiveram em conflitos militares, com a criação das armas nucleares.

A preocupação com a construção de princípios éticos é algo a ser observado desde as séries iniciais, cabendo à educação científica a função de relacioná-los ao desenvolvimento e à utilização da Ciência e da Tecnologia. Diversos temas atuais ligados a essas áreas envolvem dilemas éticos, os quais, segundo Fourez (1995), surgem quando se é levado a indagar sobre o que é desejável em determinada situação, podendo-se formular a questão: “O que devo fazer?” ou “O que quero (queremos) fazer?”. São exemplos desses assuntos:

- a) Os benefícios e riscos da energia nuclear e a tomada de decisões quanto à sua utilização.
- b) O papel dos cientistas e da sociedade diante do emprego das descobertas científicas para fins militares e na corrida armamentista.
- c) A adequação das intervenções de pesquisadores sobre o genoma humano, incluindo o melhoramento genético e a clonagem.
- d) A conveniência de se liberar a pesquisa, a produção e o consumo de produtos transgênicos.
- e) A manutenção dos hábitos de vida e de consumo na sociedade industrializada e os efeitos deletérios da poluição ambiental.
- f) O paradoxo gerado pelos avanços científicos e pela exclusão social.
- g) A pesquisa com sujeitos humanos e animais.

Cachapuz, Praia e Jorge (2000) consideram que as problemáticas ético-sociais constituem um aspecto central da nova perspectiva de ensino das Ciências, afirmando a pertinência de se analisar situações dilemáticas que contribuam para a reflexão, a tomada de decisões fundamentadas e a construção de valores, sem imposições.

Importa, portanto, ensinar temas da Ciência e da Tecnologia considerando sua não-neutralidade, examinando-se fatores sociais, políticos, econômicos e ideológicos atuantes sobre essas áreas e o impacto destas no modo de vida em Sociedade, explicitando-se a

responsabilidade tanto dos pesquisadores que as promovem quanto dos cidadãos em geral, os quais podem influenciar sua aplicação. Tal enfoque foi o que se pretendeu adotar no desenvolvimento da proposta didática com a hipermídia examinada neste trabalho, com a inclusão de temas tais como a produção das primeiras bombas atômicas e seu lançamento sobre o Japão, o envolvimento de Albert Einstein e outros cientistas em assuntos políticos, a questão do desarmamento nuclear, os riscos implicados pelos rejeitos radioativos produzidos em usinas nucleares e as relações entre Ciência e Ética.

Embora a educação formal seja apenas um dos fatores que agem sobre a formação de valores e a forma de os indivíduos verem o mundo, seu efeito pode ser determinante para a aquisição de uma visão mais humanística e fundamentada na Ética.

O enfoque CTS, incorporando abordagens históricas e filosóficas, é um possível caminho para se enfrentar os desafios da Educação para a Ciência. Porém, como observam Bybee *et al.* (1980), apesar de essa forma de ensinar apresentar grande potencial para promover mudanças de atitude, é preciso estar atento ao fato de que a melhoria da educação científica, em quantidade e qualidade, não leva automaticamente a atitudes positivas, confiança na Ciência e suporte para os objetivos científicos, pois se trata de educação e não doutrinação. Conforme Bybee *et al.* asseveram, é essencial que a educação científica forneça às pessoas ferramentas intelectuais para poderem examinar fatos e tomar decisões com base na melhor informação disponível, auxiliando-as a questionar a função da Ciência e da Tecnologia na Sociedade.

A forma como a proposta metodológica discutida neste trabalho relaciona ensino CTS, História da Ciência e Filosofia da Ciência com os princípios de ensino e aprendizagem de Ausubel e com a hipermídia será exposta no capítulo 6. A seguir, serão debatidas questões relativas à inserção da Física Moderna no Ensino Médio.

4 A FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO

A renovação do currículo tendo em vista sua adequação à sociedade contemporânea passa também pela atualização dos conteúdos científicos, com a inclusão de conceitos relacionados aos recentes avanços da Ciência. No caso do ensino de teorias físicas, importa a inserção das idéias pertencentes à *Física Moderna*, desenvolvidas desde o final do século XIX até os dias atuais.

Neste capítulo, serão apresentadas razões para se abordar a Física Moderna no Ensino Médio, concepções usuais que professores e estudantes possuem sobre determinados conceitos dessa área, equívocos comuns encontrados em materiais didáticos e algumas propostas desenvolvidas no âmbito da Educação para a Ciência para se tratar o assunto. Em particular, serão consideradas questões relativas à *Teoria da Relatividade* e alguns fenômenos nucleares, com foco no conceito de *equivalência entre massa e energia*, cuja construção pelos estudantes constitui objeto de estudo específico deste trabalho.

4.1 Motivos para a inserção da Física Moderna no Ensino Médio

O século XX foi marcado por uma série de avanços na Física, que alteraram significativamente a visão de mundo até então vigente, possibilitaram o advento de diversas tecnologias – incorporadas ao dia-a-dia das pessoas – e suscitaram discussões relativas aos seus impactos sociais e ambientais.

Constituem exemplos desses desenvolvimentos a Teoria da Relatividade, a Mecânica Quântica, a Física de Partículas, a Física Nuclear, a Cosmologia Moderna e a Física dos Semicondutores, do Laser e da Supercondutividade. Com a elaboração das teorias dessas

áreas de investigação, foram introduzidas modificações em conceitos fundamentais – tais como espaço, tempo, massa e energia – e propostas novas concepções, dentre as quais o princípio da incerteza, que revelou o caráter probabilístico e indeterminístico do mundo microscópico. Chegou-se, com isso, a um entendimento mais profundo a respeito da estrutura da matéria e sobre a origem e evolução do universo.

A associação entre Ciência e Tecnologia resultou em inúmeras aplicações embasadas nesse conjunto de idéias, dentre as quais podem ser mencionadas: a comunicação por fibras óticas, relacionadas ao desenvolvimento do laser; os computadores e a eletrônica em geral, associados à invenção do transistor, um semiconductor; os tomógrafos, originados de detectores de partículas; os sistemas de posicionamento global por satélite (GPS), que consideram efeitos da Teoria da Relatividade; as usinas nucleares e as armas nucleares, vinculadas ao conhecimento das propriedades do núcleo do átomo; a recente e promissora nanotecnologia, cujo progresso leva em conta fenômenos quânticos (CHAVES; SHELLARD, 2005).

A repercussão da Física Moderna sobre a Sociedade, a Economia e a Cultura tem sido, portanto, considerável e, por esse motivo, o conhecimento de seus princípios básicos e implicações mais importantes deveria fazer parte da formação de pessoas alfabetizadas cientificamente.

Por estarem relacionados ao entendimento de muitas questões e artefatos presentes no cotidiano das pessoas, os temas da Física Moderna podem contribuir para motivar os estudantes e estimular seu interesse. Como expõe Aubrecht (1986, p. 540, tradução nossa),

O uso de tópicos de Física Moderna pode permitir que os professores mantenham ou mesmo acentuem o interesse em Ciência que os estudantes trazem consigo para a escola. As crianças são inerentemente curiosas, desejando saber os como e os porquês das coisas. Esse interesse, em muitos casos, é abafado pela confiança em textos e planos de aula convencionais.

Muitos jovens têm acesso a idéias ligadas à Física Moderna por meio de programas de televisão, filmes de ficção científica e jogos de computador, apresentando um interesse espontâneo por tais assuntos. É o que indica, por exemplo, uma pesquisa realizada por Stannard (1990), envolvendo 250 crianças de 12 anos de idade, das quais um terço já havia ouvido falar de buracos negros e possuía alguma noção quanto ao seu significado, enquanto um número apreciável já conhecia algo sobre o *Big Bang*.

Além de fomentar um interesse pela Ciência que pode se prolongar pela vida toda, explorar a curiosidade natural dos jovens abordando-se temas da Física Moderna na escola é um modo de incentivar o início de novas carreiras científicas. Segundo Stannard (1990), tópicos tais como Relatividade, Partículas Elementares, Teoria Quântica e Astrofísica encontram-se entre os que mais influenciam os estudantes a optar pelo estudo da Física na universidade.

A inserção de tópicos de Física Moderna no Ensino Médio pode auxiliar também na construção de uma imagem mais correta da Física e da natureza do trabalho científico, ao evidenciar a existência de uma ruptura em relação à Física Clássica, levando à superação de uma visão na qual o desenvolvimento da Ciência é linear e meramente acumulativo (GIL; SENENT; SOLBES, 1987).

Embora a necessidade de se tratar a Física Moderna nas escolas seja reconhecida e os pilares fundamentais desse campo – a Teoria da Relatividade e a Mecânica Quântica – tenham sido estabelecidos no início do século XX, por várias décadas o currículo manteve-se bastante limitado em relação a esses temas.

Nos cursos tradicionais de Física, a tendência é haver grande concentração de tópicos desenvolvidos entre 1600 e 1850, subdivididos em áreas clássicas – Mecânica, Termologia, Óptica, Ondulatória e Eletromagnetismo – e, na prática, dificilmente essa programação é cumprida integralmente (TERRAZZAN, 1992). Entretanto, tal divisão é

apenas uma dentre as diversas possíveis, podendo ser utilizados outros critérios para se apresentar os conteúdos.

Como observam Shabajee e Postlethwaite (2000), existe um surpreendente contraste entre a Física relevante para a compreensão de muitas tecnologias encontradas no dia-a-dia e aquela geralmente ensinada nas escolas, que lida predominantemente com baterias, lâmpadas, carrinhos em rampas, cordas sem peso e polias sem atrito.

A mudança no ensino tradicionalmente oferecido nas escolas impõe-se, com a inclusão da Física Moderna não como algo apenas curioso, porém na condição de um corpo de idéias capaz de proporcionar explicações para fenômenos até então não compreendidos (PINTO; ZANETIC, 1999).

Em vários países desenvolvidos, como por exemplo os Estados Unidos, a Espanha e a Alemanha, os sistemas escolares já incluem nos programas de ensino o tratamento de tópicos modernos, tendo superado a fase de apenas levantar justificativas para sua inserção (OSTERMANN; RICCI, 2002).

A tendência atual no Brasil é buscar a atualização do currículo, com a realização de pesquisas educacionais, o desenvolvimento de materiais didáticos e atividades de formação inicial e continuada de professores visando à introdução da Física Moderna no Ensino Médio. Conforme observam Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2003), tem ocorrido nos últimos anos a produção de um conjunto minoritário de livros didáticos e, principalmente, paradidáticos contemplando o conhecimento mais recente, além de estarem sendo oferecidos materiais digitais atualizados em páginas da *Internet* e CD-ROMs, utilizados ainda por uma minoria de professores.

Nos *Parâmetros Curriculares Nacionais* para o Ensino Médio, desenvolvidos para incentivar a reforma curricular no Brasil, argumenta-se sobre necessidade de se enfatizar conceitos contemporâneos ao longo de todo o curso de Física, promovendo-se a atualização

de conteúdos (BRASIL, 2000). Entretanto, os esforços precisam ser intensificados e consolidados para que haja repercussão efetiva nas salas de aula, mantendo-se o desafio de incorporar aos programas de ensino e à prática docente informações sobre Ciência e Tecnologia relevantes para a formação cultural dos estudantes.

Apesar da importância atribuída à Física Moderna, algumas dificuldades para ensiná-la na escola de nível médio são apontadas pelos professores. Dentre essas, destacam-se (OSTERMANN; MOREIRA, 2000a; MACHADO; NARDI, 2003):

a) A falta de tempo para se abordar tais conceitos, devido à pequena carga horária reservada à Física na maior parte das escolas.

b) A pressão exercida nas escolas para se ensinar somente assuntos exigidos nos exames de seleção para ingresso nas universidades, cujos programas usualmente não incluem temas de Física Moderna ou deixam de fora vários conceitos.

c) A ausência de pré-requisitos dos estudantes para compreender o assunto.

d) O fato de os conceitos de Física Moderna serem abstratos e difíceis, gerando dificuldades para o entendimento pleno de docentes e alunos.

Embora tais fatores possam constituir obstáculos para muitos professores, não parecem ser um impedimento definitivo ao ensino das idéias mais recentes da Física. A reduzida carga horária disponível para essa disciplina na maioria das escolas, em geral duas ou, menos freqüentemente, três horas semanais, representa também um problema no ensino de conceitos da Física Clássica. Usualmente não se consegue discutir em profundidade todas as idéias relevantes do período clássico. Tal condição demanda a seleção de temas prioritários a serem abordados, abrangendo noções clássicas e modernas em um planejamento integrado.

A influência da lista de pontos do vestibular nas práticas de ensino de diversas escolas não pode ser negligenciada, mas poderia ser contrabalançada ao se refletir sobre os

ganhos em qualidade da educação oferecida aos estudantes quando se incluem assuntos que contribuem para o entendimento de questões atuais e relevantes.

A falta de pré-requisitos dos estudantes tampouco pode ser considerada um argumento satisfatório para não se abordar a Física Moderna nos colégios. É difundida a concepção de que os alunos alcançam o preparo necessário para compreendê-la somente quando estudaram detalhadamente a Mecânica, a Termologia, a Ondulatória, a Óptica e o Eletromagnetismo. Porém, sob o enfoque da aprendizagem significativa, o que efetivamente importa é a existência de subsunçores adequados para propiciar o entendimento de determinado conteúdo. Mediante um planejamento apropriado do ensino, é possível concentrar-se no desenvolvimento de idéias-âncora essenciais para a assimilação dos conceitos de Física Moderna que se quer trabalhar, e isso não implica percorrer completamente o conhecimento gerado anteriormente, com todos os detalhes e problemas associados.

A alegação de que os conceitos de Física Moderna são muito abstratos e difíceis também não pode ser tomada como base para não os ensinar. Com efeito, a Física Clássica pode ser tão abstrata ou complexa quanto a Moderna. No ensino tanto de idéias clássicas quanto de modernas, uma questão central é efetuar a transposição didática de modo a permitir aos estudantes a construção do significado dos conceitos mais importantes e algumas de suas implicações, levando em conta suas atuais condições de desenvolvimento cognitivo – incluindo seu conhecimento matemático – e também os propósitos educacionais a serem atendidos.

Pesquisas sobre a inserção da Física Moderna no Ensino Médio têm evidenciado a possibilidade de se ensinar satisfatoriamente conceitos dessa área. Ostermann e Moreira (2001), por exemplo, em estudo relativo à abordagem dos temas *partículas elementares* e *supercondutividade* em sala de aula, envolvendo a elaboração de materiais didáticos e a

preparação de professores, concluíram que é viável ensinar Física Moderna na escola de nível médio. Tal investigação evidenciou que:

a) Os tópicos de Física Moderna despertam a curiosidade científica dos estudantes, melhorando suas atitudes frente à Ciência e contribuindo para aumentar sua auto-estima.

b) As dificuldades de aprendizagem de temas contemporâneos da Física não são tão diferentes das usualmente enfrentadas com conteúdos de Física Clássica, embora muitas vezes seja preciso abordar determinados conceitos clássicos antes de expor temas mais recentes, visando a proporcionar subsunções adequados aos estudantes para a aprendizagem subsequente.

c) Os estudantes podem aprender conceitos de Física Moderna se a forma de apresentação for adequada ao nível em que se encontram.

Outras pesquisas também mostram ser um equívoco pensar que os estudantes não têm capacidade para aprender tópicos de Física Moderna, apontando para a necessidade de os incluir no Ensino Médio (OSTERMANN; MOREIRA, 2000b).

4.2 Abordagens para a introdução da Física Moderna no Ensino Médio

Uma vez admitida a relevância dos conteúdos atuais para a formação do estudante e a possibilidade de se tratá-los no Ensino Médio, surge a questão de como abordá-los. Na adequação dos temas de Física Moderna para o ensino na escola de nível médio, em geral é preciso evitar complicações de ordem matemática – acessíveis somente mediante estudos mais avançados – e concentrar-se na essência dos fenômenos.

Para Terrazzan (1994), nesse nível de ensino, especialmente no que se refere à inserção dos tópicos mais recentes, é recomendável insistir menos nos aspectos matemáticos e mais em pressupostos históricos e sociais, nas tentativas de interpretação e de solução de problemas à luz das teorias vigentes em cada época e nos impasses colocados pelas limitações das concepções existentes.

Ostermann e Moreira (2001) consideram também a importância de se valorizar analogias apropriadas e de se estabelecer vínculos com conteúdos vistos anteriormente pelos estudantes, com ênfase em aspectos conceituais.

Essa orientação geral, no entanto, não significa deixar de evidenciar o papel da linguagem matemática na expressão do conhecimento físico, parte fundamental do paradigma atual desse campo do saber.

Na proposta didática discutida neste trabalho, priorizou-se o lado qualitativo dos conceitos físicos, relacionando-os também a questões históricas, filosóficas, sociais, tecnológicas e ambientais. Ao mesmo tempo, foram considerados aspectos matemáticos, sobretudo para expor idéias da Teoria da Relatividade e algumas de suas aplicações, em grau de elaboração que se pretendeu compatível com o estágio de desenvolvimento de estudantes do Ensino Médio.

4.2.1 Três vertentes metodológicas

Em levantamento das principais correntes metodológicas na área de Ensino de Ciências e de Física relacionadas à atualização dos conteúdos, Terrazzan (1994) identificou três vertentes relevantes.

A primeira, relacionada às investigações de Daniel Gil e Jordi Solbes, consiste em *explorar os limites dos modelos clássicos*, adotando-se uma abordagem construtivista na qual o respeito à evolução dos conceitos físicos constitui o principal parâmetro para a elaboração de estratégias didáticas.

Gil e Solbes (1993) consideram que quando a Física Moderna é introduzida nos currículos escolares sem fazer referência às dificuldades encontradas na Física Clássica, seja justapondo os dois paradigmas ou mesmo os misturando, podem surgir graves erros conceituais ou de interpretação. Por isso, propõem que sejam esclarecidos os limites de validade das concepções clássicas e explicitadas suas diferenças significativas em relação à Física Moderna, evitando-se uma visão simplista, a fim de permitir a construção de um entendimento mais correto da Física, em que o desenvolvimento é não-linear, com crises e mudanças paradigmáticas. Gil e Solbes baseiam suas atividades didáticas no modelo de *mudança conceitual*, buscando expor os estudantes a situações problemáticas que os permitam questionar suas concepções intuitivas e reconstruir o próprio conhecimento, de modo similar ao ocorrido no processo histórico de mudança paradigmática.

Apesar dos êxitos alcançados por Gil e Solbes, podem ser feitas algumas críticas ao modelo de ensino por mudança conceitual. Como expõe Mortimer (1995), as concepções intuitivas dos estudantes costumam ser muito resistentes a modificações, tornando mais provável a construção de um *perfil conceitual*, no qual várias concepções podem coexistir e ser aplicadas em contextos convenientes. Os estudantes teriam dificuldade em reconhecer e vivenciar o conflito cognitivo, havendo tendência à proteção dos conceitos existentes e à conservação de idéias prévias. Mesmo reconhecendo a existência de conflito, os estudantes poderiam construir hipóteses *ad hoc* para preservar seu conjunto de crenças. Além disso, Mortimer observa que, no processo de construção de uma nova idéia, as lacunas existentes na estrutura cognitiva dos estudantes podem ser tão importantes quanto o conflito entre conceitos

novos e antigos, pois a falta de informações para interpretar novos resultados constitui um grande obstáculo.

Embora a estratégia de ensino por mudança conceitual possa ser questionada, a proposta de Gil e Solbes de enfatizar os limites do conhecimento clássico, mostrando suas diferenças em relação à Física Moderna, não deixa de ter valor. Em uma abordagem na qual se procura estimular a *aprendizagem significativa*, a idéia de partir do conhecimento clássico para então se estabelecer o moderno encontra fundamento no princípio de utilizar as noções prévias na condição de subsunçores para a construção das novas concepções. Mostrando-se aspectos comuns e distinções entre os conceitos clássicos e modernos, tem-se um modo adequado de promover a reconciliação integrativa, facultando a formação de um entendimento claro quanto às similitudes e diferenças entre esses conjuntos de concepções. Conforme ponderam Moreira e Greca (2003), nessa ótica não se procura substituir um conceito por outro, mas sim fazer com que uma concepção se torne mais elaborada, com maior discriminabilidade, por adquirir mais significados agregados a ela, evoluindo sem perder a própria identidade. Os significados estabelecidos anteriormente não são eliminados, continuam presentes na concepção que se desenvolve, embora possam permanecer em forma residual.

A exploração dos limites dos modelos clássicos, na perspectiva da aprendizagem significativa, foi uma das escolhas metodológicas efetuadas na organização do *software* hipermídia considerado no presente trabalho. Consoante tal opção, os textos do material didático incluíram cotejos entre conceitos clássicos e modernos, buscando explicitar semelhanças, diferenças e limitações, e procurando facilitar o estabelecimento de pontes entre idéias já estudadas e novas concepções. Ainda com esse intuito, foram preparados textos com uma breve exposição do desenvolvimento histórico da Teoria da Relatividade e da Mecânica Quântica, e contendo uma visão epistemológica introdutória sobre essa evolução.

A segunda vertente metodológica, representada pelos trabalhos de Helmut Fischler e Michael Lichtfeldt, traduz-se por *evitar referências a modelos semiclássicos* na apresentação de conceitos, modelos e teorias da Física Moderna, particularmente no caso da Mecânica Quântica, assumindo-se o ponto de vista de que tal enfoque interfere de modo desfavorável no entendimento das idéias modernas.

Fischler e Lichtfeldt (1992) defendem que a introdução do modelo de Bohr, no qual os elétrons se movem em órbitas circulares ao redor do núcleo, estabelece um obstáculo adicional ao entendimento apropriado da Mecânica Quântica. Embora o modelo seja de fácil assimilação pelos estudantes e proporcione explicações para muitas observações, seu ensino é criticado por ter um caráter histórico que levaria a destacar em excesso concepções da Física Clássica, tornando difícil a modificação necessária para a compreensão dos conceitos quânticos aceitos atualmente. A situação seria agravada pelo fato de conceitos que encontram fácil correspondência no cotidiano serem bastante atraentes para os estudantes, gerando resistência para seu abandono posterior. Para Fischler e Lichtfeldt, reduzir conceitos difíceis a termos mais simples pode ser necessário, principalmente no ensino da Mecânica Quântica, mas isso deve ser feito de tal forma que o modelo construído possa ser estendido posteriormente e os estudantes não sejam forçados a redirecionar suas concepções básicas.

Fischler e Lichtfeldt recomendam que as bases para o entendimento desejado sejam estabelecidas o mais cedo possível, desviando-se de conceitos capazes de produzir contradições em um estágio seguinte. Desse modo, na introdução da Mecânica Quântica, sugerem evitar referências à Física Clássica; iniciar a unidade de ensino com elétrons, ao invés de fótons, na apresentação do efeito fotoelétrico; utilizar a interpretação estatística dos fenômenos observados, evitando-se descrições dualistas; introduzir a relação de incerteza de Heisenberg para conjuntos de objetos quânticos nos estágios iniciais da unidade didática; desconsiderar o modelo de Bohr no tratamento do átomo de hidrogênio. Segundo Terrazzan

(1994), tal proposta é interessante por levar em conta a dificuldade manifestada pelos estudantes em modificar idéias prévias ou conviver com conceitos novos na aprendizagem da Física Quântica.

A abordagem alternativa elaborada por Fischler e Lichtfeldt (1992) para a introdução da Física Quântica mostrou ganhos no que concerne à concepção de átomo mantida pelos estudantes. Entretanto, isso não implica a impossibilidade de se tratar o assunto de modo diferente, mostrando-se a relevância do modelo de Bohr na condição de marco na história do desenvolvimento da Física Moderna, cujo conhecimento pode contribuir para ampliar o entendimento sobre a evolução do conhecimento científico. Pode-se sustentar que uma condição mais adequada não seja simplesmente omitir as informações sobre o modelo de Bohr, mas atuar para promover a discriminação entre as concepções associadas a essa visão e os conceitos atuais.

A terceira vertente metodológica constitui-se em *escolher tópicos essenciais*, seguindo a diretriz de Arnold Arons de que poucos conceitos de Física Moderna devem ser ensinados nas escolas de nível médio, pelo fato de os estudantes não poderem realmente compreender a maior parte desses temas.

Na visão de Arons (1990 *apud* Terrazzan, 1994), um curso introdutório de Física Moderna deveria limitar-se a permitir alguma percepção sobre os conceitos de elétrons, fótons, núcleos, estrutura atômica e outros dessa natureza, e talvez apresentar alguns aspectos qualitativos da Teoria da Relatividade. Caso se opte por ensinar o modelo de Bohr, por exemplo, a programação curricular seria estabelecida identificando-se tópicos essenciais, tanto da Física Clássica quanto da Moderna, indispensáveis para se entender os experimentos e argumentos que definem elétrons, núcleos atômicos e fótons, deixando-se de incluir os assuntos não-fundamentais.

Pode-se concordar com Arons sobre a inevitabilidade de lacunas na programação escolar e a necessidade de se selecionar conteúdos, devido à grande quantidade de assuntos cuja abordagem é possível e ao elevado nível matemático exigido em certos temas. Uma divergência encontra-se no critério para definir quais os tópicos essenciais, que não precisam se limitar aos sugeridos por Arons, a fim de proporcionar uma idéia coerente e global da Física (TERRAZZAN, 1994).

A questão da escolha dos conteúdos prioritários para o Ensino Médio foi estudada por Ostermann e Moreira (1998 *apud* OSTERMANN; MOREIRA, 2000b) com a utilização da técnica Delphi. Nessa pesquisa, obteve-se uma lista consensual de quais tópicos de Física Moderna deveriam ser ensinados nas escolas ou serem objeto de atenção especial na formação de professores, a partir da consulta a físicos, pesquisadores em Ensino de Física e professores de Física do Ensino Médio.

A relação final incluiu os seguintes assuntos: efeito fotoelétrico; átomo de Bohr; leis de conservação; radioatividade; forças fundamentais; dualidade onda-partícula; fissão e fusão nuclear; origem do universo; raios-X; metais e isolantes; semicondutores; laser; supercondutores; partículas elementares; Teoria da Relatividade Restrita; Teoria do *Big Bang*; estrutura molecular; fibras ópticas.

O estudo realizado não encerra a discussão sobre a escolha dos conceitos a serem ensinados, mas fornece uma idéia dos temas de Física Moderna mais importantes a serem considerados, com base na opinião de integrantes da comunidade envolvida com a pesquisa e o ensino da Física.

Na proposta didática examinada neste trabalho, o estudo de Ostermann e Moreira com a técnica Delphi auxiliou na seleção dos conceitos físicos incorporados. Da lista obtida por esses investigadores, foram abordados o efeito fotoelétrico, o átomo de Bohr, as leis de conservação da energia e do momento linear, a radioatividade, as forças fundamentais, a

dualidade onda-partícula, a fissão e fusão nuclear, os raios-X e a Teoria da Relatividade Restrita. Além disso, julgou-se apropriado fazer uma discussão de caráter introdutório à Teoria da Relatividade Geral, explorando-se o princípio da equivalência, a noção de curvatura do espaço-tempo e algumas implicações dessas concepções para a pesquisa astronômica. Entretanto, devido à delimitação do foco da pesquisa sobre a construção de conceitos relatada no presente texto, foi conferido um grau diferenciado de aprofundamento a essas idéias, com maior detalhamento da Teoria da Relatividade Restrita e dos fenômenos de fissão e fusão nuclear, existindo inclusive algumas noções que foram somente muito brevemente comentadas.

4.2.2 Outras estratégias de ensino

Além das vertentes metodológicas analisadas, outros enfoques são de interesse tendo em vista os propósitos deste trabalho. Na abordagem da Teoria da Relatividade Especial (TER) no Ensino Médio, Arriasecq e Greca (2002) propõem quatro eixos estruturadores:

a) *Contextualização histórica*, considerando-se um panorama do estado da Física na época do surgimento da TER e as contribuições dos pesquisadores que prepararam o terreno para os trabalhos de Einstein.

b) *Reflexão epistemológica* relativa à origem da teoria, ressaltando-se a preocupação de Einstein em evitar a assimetria na explicação dos efeitos do movimento entre um imã e um condutor e evidenciando-se o papel secundário do experimento de Michelson-Morley; salientando-se a existência de outros cientistas lidando com problemas similares aos de Einstein no mesmo período em que a TER foi criada, como é o caso de Lorentz; fazendo-se referência a contrastações empíricas da TER, com a observação de que são bem posteriores ao

contexto de aceitação dessa teoria; apresentando-se aplicações da TER em diferentes áreas, inclusive ao estudo de partículas subatômicas e de fontes de energia nuclear.

c) *Repercussões da teoria* no âmbito científico, filosófico e artístico, discutindo-se as reações variadas de cientistas à TER em diferentes países, influenciadas por aspectos sociais e culturais; explorando-se problemas filosóficos gerados pela TER, envolvendo os conceitos centrais de espaço e tempo, dentre outros; analisando-se o impacto da TER sobre concepções da arte moderna, notadamente o Cubismo, o Surrealismo e o Expressionismo.

d) *Discussões conceituais*, examinando-se as noções de sistema de referência e movimento relativo no sentido galileano; conceitos contra-intuitivos tais como a contração das distâncias e a dilatação dos tempos; o conceito de simultaneidade; o esclarecimento de paradoxos, dentre os quais o dos gêmeos.

No material didático cujo desenvolvimento, aplicação e avaliação são tratados neste texto, procurou-se apresentar a Teoria da Relatividade Restrita situando-a em seu contexto histórico, fornecendo-se elementos para uma reflexão epistemológica a seu respeito e realizando-se discussões conceituais.

Apresentou-se no *software* hipermídia em análise uma visão geral sobre a Física Clássica e alguns dos problemas que enfrentava, mencionando-se resultados de pesquisa de algum modo relacionados ao trabalho de Einstein e obtidos desde a época de Galileu. Procurou-se facultar a aquisição de uma noção sobre as razões que levaram à elaboração da Teoria da Relatividade Restrita, considerando-se o interesse de Einstein em eliminar contradições entre a Mecânica e o Eletromagnetismo, e sua reflexão sobre as propriedades das ondas eletromagnéticas. O experimento de Michelson e Morley foi explorado de modo qualitativo, com a ressalva de que embora seus resultados pudessem ser compreendidos a partir da Teoria da Relatividade, não serviu de base para a elaboração desta. A tentativa de FitzGerald e Lorentz de explicar a contração das distâncias a partir de pressupostos clássicos

foi contraposta à nova formulação desenvolvida por Einstein. Testes experimentais da Relatividade Restrita, executados muitos anos após sua publicação, foram comentados, bem como aplicações dessa teoria em campos tais como a Física de Partículas, a Física Nuclear e a Engenharia. Realizou-se ainda uma breve exposição da noção de referencial galileano ou inercial e do princípio da relatividade sob o ponto de vista clássico e einsteiniano, e examinaram-se os surpreendentes efeitos da contração das distâncias e dilatação dos tempos.

No estudo da Física Moderna, uma estratégia particularmente voltada para a discussão das relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade é a *aprendizagem centrada em eventos* (WATTS *et al.*, 1997). Consiste em utilizar um evento, ocorrência ou conjunto de circunstâncias particulares extraídos do cotidiano para estruturar módulos de ensino de Ciências. Indicam-se, em especial, eventos que permitam levantar várias questões pertinentes, incidentes ou episódios interessantes, ricos do ponto de vista humano, capazes de estimular a discussão e o debate e, ao mesmo tempo, compactos em termos do conteúdo científico relacionado.

Segundo Watts *et al.* (1997), na aprendizagem centrada em eventos objetiva-se constituir um entendimento abrangente sobre como a Ciência e a Tecnologia são influenciadas por fatores sociais, econômicos e políticos, e desenvolver um amplo senso de responsabilidade por seus desenvolvimentos. Nessa abordagem, os estudantes devem resolver problemas particulares obtendo conhecimento e compreensão a partir de fontes de informação disponíveis. Esse processo envolve a tomada de decisões sobre qual informação é necessária e quanto à forma de utilizá-la, implicando responsabilidade do estudante pelo seu aprendizado.

Os primeiros módulos desenvolvidos por Watts *et al.* (1997) concentraram-se em questões *nucleares*, capazes de gerar controvérsias e permitir o exame de aspectos políticos, econômicos, de saúde pública, de risco social e de responsabilidade social, além dos elementos de Ciência e Tecnologia associados. Os eventos escolhidos foram o acidente

nuclear na cidade de Goiânia, ocorrido em setembro de 1987 e a política e o planejamento da geração de energia nuclear no Brasil a partir de 1964.

O tratamento didático do acidente nuclear em Goiânia demandou dos estudantes a elaboração de um documentário televisivo fictício, com a utilização de materiais contendo dados sobre o episódio e descrições de princípios da Física e da Química relacionados. Os principais conceitos estudados foram: estrutura atômica (elétrons, núcleos, carga e massa); emissão de radiação pela matéria (radiação eletromagnética, partículas nucleares); efeitos da emissão nuclear sobre a matéria (ionização de átomos, dissociação molecular, efeitos de núcleos); radiação de fundo (radiação cósmica, raios ultravioleta, materiais radioativos naturais e artificiais); unidades de medida (Curie, Bequerel, Roentgen, Rad, Sievert); danos biológicos. O módulo foi ministrado em dois países, com a participação de graduandos em Física no Brasil, e alunos de 14 anos de idade e professores-estudantes na Inglaterra.

A abordagem pedagógica da política e do planejamento brasileiros de geração de energia nuclear foi conduzida com a participação dos estudantes em uma simulação de comissão do Congresso que deveria decidir sobre o futuro da usina de Angra III, assessorada por alguns alunos atuando na condição de representantes do governo (a favor do empreendimento) e outros desempenhando o papel de membros de uma organização não-governamental (contra o projeto). Os conteúdos tratados englobaram questões políticas e aspectos físicos e tecnológicos dos reatores nucleares. Participaram desse módulo graduandos em Física no Brasil.

As experiências descritas por Watts *et al.* (1997) mostraram que tal forma de trabalhar é estimulante e motivadora para os estudantes, verificando-se ganhos em relação à aprendizagem de conceitos e à visão quanto aos aspectos sociais da Ciência e Tecnologia. Segundo Watts *et al.* (1997), uma dificuldade em se lidar com a aprendizagem centrada em eventos é a possibilidade de haver muita ênfase em questões sociais em detrimento da

aprendizagem de conceitos científicos e tecnológicos. Mais um ponto problemático refere-se à conquista do apoio dos professores para implementar esse tipo de ensino, que representa uma ruptura em relação às formas tradicionais de trabalho em sala de aula (WATTS *et al.*, 1997).

Outra experiência com a aprendizagem centrada em eventos envolveu a elaboração, aplicação e avaliação de um módulo didático para o Ensino Fundamental, tendo por tema central o *Projeto Manhattan* e o seu desfecho com o lançamento das primeiras bombas atômicas sobre as cidades de Hiroshima e Nagasaki (SAMAGAIA; PEDUZZI, 2004). Nas atividades realizadas, foram contemplados os conceitos de energia, fissão nuclear e radiação, bem como a questão da produção e do emprego de armas de destruição em massa, com suas implicações sociais e éticas.

O processo de ensino e aprendizagem desenvolveu-se na forma de um jogo de papéis, em que uma comissão formada por estudantes da 8ª série do Ensino Fundamental deveria tomar a decisão de dar continuidade ou não a um projeto para a construção de uma superbomba, a partir das informações fornecidas pela professora e por outros estudantes atuando na condição de cientistas favoráveis ou contrários ao empreendimento. Alguns alunos faziam ainda o papel de jornalistas, divulgando informações obtidas na classe e em atividades fora do horário de aula. A professora disponibilizou diversas publicações para a consulta dos estudantes e orientou discussões de pontos relevantes.

Conforme expõem Samagaia e Peduzzi (2004), houve ganhos conceituais dos estudantes e também foram atendidos vários objetivos pedagógicos importantes. Dentre esses, o exercício da comunicação e do pensamento lógico e racional visando à solução de problemas e ao posicionamento pessoal; o aprendizado colaborativo em atividades grupais; o exercício da responsabilidade social mediante o debate ético na tomada de decisões e a discussão da relação custo-benefício do progresso científico; o aumento do interesse em participar de questões sociais; o desenvolvimento de valores e atitudes. Verificou-se o

engajamento dos estudantes e a boa aceitação do módulo didático, evidenciando sua pertinência e eficácia.

A introdução do tema *armas nucleares* no currículo de Física foi também objeto de estudo de Eijkelhof, Kortland e Loo (1984), que desenvolveram materiais didáticos sobre o assunto para uso na educação pré-universitária, com a tônica em aspectos físicos e tecnológicos, mas também dando atenção a questões históricas, econômicas e sociais. Nos debates em sala de aula, Eijkelhof, Kortland e Loo (1984) pensam ser importante criar condições para que os estudantes possam decidir se adotarão determinado ponto de vista ou não quanto às armas nucleares, sem a imposição de idéias e valores pelo professor. Pesquisas de avaliação mostraram que a maioria dos estudantes considerou o tópico interessante e importante, tendo-se mostrado satisfeita com a aprendizagem alcançada.

No *software* hipermídia avaliado neste trabalho, encontram-se textos que tratam do Projeto Manhattan e dos acidentes radioativos de Goiânia e Chernobyl. Alguns incidentes e casos específicos foram apresentados nas questões formuladas para debate ao final dos textos: a destruição por Israel de um reator nuclear situado no Iraque, em 1981; o câncer de tireóide do qual sofre, desde 2003, uma brasileira que vivia em Sófia, na Bulgária, quando a cidade foi afetada pela nuvem radioativa exalada pela usina de Cherbobyl; a polêmica a respeito da Montanha de Yucca, escolhida pelo governo estadunidense para armazenar resíduos radioativos a partir de 2010; as negociações entre o Brasil e a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) em 2004 e 2005 para a realização de inspeções na fábrica de enriquecimento de urânio instalada em Resende; o posicionamento de Joseph Rotblat (1908-2005), que abandonou o Projeto Mahattan ao saber da derrota da Alemanha na Segunda Guerra Mundial e tornou-se um defensor do desarmamento nuclear.

Assim como na aprendizagem centrada em eventos, a escolha desses episódios ocorreu pelo fato de oferecerem material relevante para a análise de relações entre Ciência,

Tecnologia e Sociedade, incluindo aspectos históricos, políticos, econômicos e éticos, e também por serem potencialmente motivadores para os estudantes, visto possuírem elementos derivados do cotidiano. Entretanto, a forma de organização do conteúdo e a metodologia didática adotada diferem da aprendizagem centrada em eventos, pois as informações a serem estudadas foram apresentadas sob a ótica da aprendizagem significativa por recepção, mediante o contato com materiais estruturados em sua forma final.

Um panorama da questão das armas nucleares desde sua origem até os dias atuais também foi incorporado ao *software*, em virtude de sua atualidade, relevância social e capacidade de instigar os alunos. O desenvolvimento do assunto abarcou a caracterização dos arsenais contemporâneos, os custos dos dispositivos nucleares e os esforços em prol do desarmamento global.

Segundo Terrazzan (1994), um recurso didático que pode ser útil na construção ou esclarecimento de conceitos difíceis ou de natureza controvertida é o *experimento em pensamento*, também denominado *Gedankenexperiment*. Os experimentos em pensamento são utilizados para investigar a natureza desde a antiguidade e tiveram papel essencial no desenvolvimento da Mecânica Quântica e da Teoria da Relatividade (BROWN, 2002). São conhecidos, por exemplo, os experimentos mentais de Galileu para evidenciar as propriedades da queda dos corpos; o balde girante de Newton; o demônio de Maxwell; o elevador de Einstein; o microscópio de raios-gama de Heisenberg; o gato de Schrödinger; o paradoxo EPR, discutido por Einstein, Podolsky e Rose.

Em geral, é impossível implementar efetivamente tais experimentos, por motivos físicos, tecnológicos ou de ordem prática. Entretanto, estes permitem analisar determinadas implicações de uma teoria e explicitar características não evidentes de um sistema. Conforme argumenta Kuhn (1964 *apud* BROWN, 2002), um *Gedankenexperiment* bem elaborado pode

trazer uma crise ou criar uma anomalia em uma teoria vigente, contribuindo para uma mudança de paradigma.

Buscou-se aproveitar no *software* examinado neste trabalho algumas das possibilidades dos experimentos em pensamento com a inclusão de uma discussão sobre o que detectariam observadores no interior de naves espaciais em duas situações distintas. Na primeira, as astronaves encontram-se numa região isolada do espaço, aceleradas a uma taxa igual a $-\vec{g}$. Na segunda, estas permanecem pousadas numa região de campo gravitacional uniforme de valor $+\vec{g}$. Em uma das naves está uma esfera inicialmente em repouso. Na outra, um raio de luz inicia sua propagação perpendicularmente ao vetor $\vec{g}$. Tal *Gedankenexperiment*, também apresentado no *software* por meio de uma animação, permite debater o princípio da equivalência e ilustrar qualitativamente uma de suas implicações, o fato de que um raio de luz sofre desvio sob influência de um campo gravitacional.

Outro experimento mental explorado no texto do material didático e representado em uma animação diz respeito à medida do tempo transcorrido durante o movimento de um fóton entre dois espelhos, os quais estão em repouso no interior de um trem que se movimenta em relação a uma plataforma. Esse *Gedankenexperiment*, que envolve a comparação entre medidas obtidas em relógios a partir de dois referenciais distintos, um fixado no trem e outro parado em relação à plataforma, auxilia na explicação do fenômeno da dilatação dos tempos.

As diversas orientações e propostas metodológicas mencionadas, parte de um universo mais amplo, relacionam-se a escolhas fundamentais quanto aos conteúdos e aspectos a serem enfatizados no ensino de Física Moderna. Conforme os objetivos de ensino estabelecidos, pode ser adequado conciliar mais de um enfoque no mesmo curso, a fim de se propiciar a construção de conceitos científicos e a compreensão sobre a natureza da Ciência.

Existem ainda diversas opções quanto aos recursos que podem ser empregados no ensino, dentre os quais a busca por informações em livros-texto e textos paradidáticos, a

realização de experimentos em laboratórios didáticos, o uso de *softwares*, o acesso à *Internet* e a interação com espaços de educação não-formal, dentre outros.

Em relação à utilização do laboratório didático, destacam-se iniciativas para tornar acessíveis equipamentos de baixo custo, permitindo contemplar aspectos experimentais da Física Moderna em questões tais como interferência, difração, comportamento corpuscular da radiação e outros (CATELLI; VICENZI, 2001; CAVALCANTE; TAVOLARO, 2001).

Quanto ao uso do computador, têm sido salientadas as possibilidades que este oferece para a elaboração de simulações de fenômenos importantes da Física Moderna, cujo estudo em laboratório poderia ser de difícil execução ou demandaria aparelhos sofisticados e caros. Registram-se quanto a esse emprego da informática o desenvolvimento de *softwares* para a simulação de experimentos visando à análise do efeito fotoelétrico; à determinação da constante de Planck; à mensuração da razão entre a carga e a massa do elétron; ao estudo do espalhamento de partículas alfa; ao exame da difração de elétrons; dentre outros (VEIT *et al.*, 1987; CÓRDOVA *et al.*, 1992; CAVALCANTE; PIFFER; NAKAMURA, 2001; CAVALCANTE; TAVOLARO, 2001). Diversos *softwares* de simulação podem ser acessados na *Internet*, importante fonte de recursos, informações e materiais didáticos para o ensino de Física Moderna (CAVALCANTE; PIFFER; NAKAMURA, 2001).

As práticas laboratoriais e as atividades de simulação computacional, quando conduzidas com o emprego de estratégias que explicitam o papel da construção e testagem de hipóteses, evidenciando as dificuldades na interpretação das ocorrências experimentais e mostrando as relações entre a teoria e a observação, podem contribuir para o entendimento de conceitos, o desenvolvimento de conteúdos procedimentais importantes no campo científico e a compreensão de aspectos relevantes do processo de elaboração do conhecimento científico.

4.3 Concepções relacionadas a temas de Física Moderna

A pesquisa sobre erros conceituais em publicações e a respeito de concepções alternativas de alunos e professores fornece subsídios para o desenvolvimento de propostas construtivistas destinadas ao ensino da Física Moderna, nas quais se consideram as idéias prévias do aprendiz e a construção de conceitos científicos e sobre Ciência com fundamentação adequada.

A avaliação de materiais didáticos e das concepções de estudantes e docentes do Ensino Médio evidencia ser comum a existência de equívocos quanto a conceitos fundamentais da Física Moderna.

Uma análise de 42 livros-texto de Física espanhóis efetuada por Gil e Solbes (1993) mostrou que a maioria (entre 83% e 95%) não mencionava o caráter não-linear do desenvolvimento científico, as dificuldades que originaram uma crise na Física Clássica e as profundas diferenças conceituais entre as teorias clássicas e modernas. Associada a essa abordagem simplificada, uma elevada porcentagem (entre 68% e 79%) dos livros continha sérios erros conceituais:

- a) Interpretar a equação de Einstein $E_0 = mc^2$ como expressão de transformações de massa em energia e vice-versa.
- b) Reduzir a *dualidade partícula-onda* ao aspecto apenas corpuscular ou ondulatório.
- c) Atribuir o *princípio da incerteza* de Heisenberg à falta de precisão dos instrumentos de medida ou ao acaso.
- d) Fornecer uma visão simplista de que as *partículas elementares* são os componentes finais da matéria, não possuindo estrutura interna.

Em relação à apresentação da Teoria da Relatividade, em particular, não têm recebido um tratamento adequado em muitos livros didáticos do Ensino Médio os conceitos de *equivalência massa-energia*, *massa* e *contração do comprimento* de objetos em movimento relativístico.

O significado da famosa equação $E_0 = mc^2$, da equivalência massa-energia, é o de que à massa m de um corpo encontra-se associada uma quantidade mc^2 de energia. Dessa expressão, infere-se que massa e energia são grandezas essencialmente idênticas, consistindo em expressões diferentes da mesma entidade (EINSTEIN, 1958 *apud* VALADARES 1993a). Uma consequência da relação massa-energia é a de que, se houver variação na massa de um corpo, seu conteúdo energético também será modificado, sendo a recíproca verdadeira.

Segundo Warren (1976), constituem interpretações equivocadas da relação massa-energia:

a) Supor que nessa relação se distingue algum tipo particular de energia (geralmente a energia nuclear) de outras modalidades.

b) Presumir que Einstein invalidou o princípio da conservação da energia ou da conservação da massa, ou ambos.

Numa pesquisa citada por Warren (1976), envolvendo 147 estudantes universitários, somente 32 reconheceram a inadequação de uma frase contendo a idéia de que uma usina nuclear difere de outra funcionando à base de carvão ou óleo porque converte massa em energia de acordo com a equação $E_0 = mc^2$. Afirmações impróprias semelhantes a essa, de que em certo processo a massa pode ser convertida em uma certa quantidade de energia e vice-versa, implicam a ausência de conservação tanto da massa quanto da energia. Segundo Warren (1976), isso contraria a conclusão admitida por Einstein de que, com a Teoria da Relatividade, o princípio da conservação da massa é incorporado ao da conservação da energia, devido à equivalência entre massa e energia.

Conforme esclarece ainda Valadares (1993b), é correto falar em conversão de matéria e antimatéria em radiação, tal como ocorre quando um pósitron e um elétron colidem e originam fótons, mas é inapropriado, nesse caso, referir-se à conversão de matéria e antimatéria em energia, ou à transformação de massa em energia.

Outro engano comum é a utilização da noção de *massa relativística*, que depende da velocidade da partícula em relação ao observador e se reduz à *massa newtoniana* quando o objeto está parado em determinado referencial, também denominada *massa de repouso* (OSTERMANN; RICCI, 2004).

Ostermann e Ricci (2004) expõem dois motivos usuais para o emprego desse conceito. Primeiramente, essa idéia permite expressar o momento relativístico na forma matemática de seu correspondente clássico, apenas substituindo a massa de repouso pela relativística. Além disso, tal noção é empregada erroneamente como medida da inércia de um corpo, para justificar o motivo de a velocidade da luz no vácuo (c) ser o limite superior e intransponível para qualquer corpo material. Nesse raciocínio, seria impossível acelerar um corpo material até uma velocidade superior a c , pois sua inércia tenderia a um valor infinito quando a velocidade aproxima-se de c .

A idéia de massa relativística, no entanto, nunca foi advogada pelo próprio Einstein, sendo adequado falar apenas em *massa*, propriedade de um corpo independente do referencial no qual se encontra, que constitui medida da sua inércia e do seu conteúdo energético (VALADARES, 1993a; 1993b). Para Whitaker (1976), a principal crítica à idéia de massa relativística é o fato de essa noção causar a impressão de que os efeitos da relatividade se devem a algum processo relacionado à estrutura da partícula, quando na realidade ocorrem devido às propriedades do espaço-tempo.

Imprecisões conceituais comuns são também encontradas na abordagem da *contração das distâncias*. Geralmente, não se diferencia precisamente o significado de *medir*

na Relatividade Restrita das noções cotidianas de *ver* ou *fotografar*, podendo levar o aluno a pensar que a *contração de Lorentz-FitzGerald* resulta de um encurtamento material dos objetos, quando na verdade está relacionada à relatividade das medidas de comprimento e tempo (OSTERMANN; RICCI, 2002). Conforme expõem Ostermann e Ricci (2002), outro ponto usualmente não explicitado é o de que quando um objeto é visto ou fotografado, não aparece simplesmente contraído na direção do movimento. Se um objeto subentender *ângulos pequenos* em relação ao observador ou à máquina fotográfica, sua imagem apresentar-se-á *girada* em torno de um eixo perpendicular à direção do movimento. Se um objeto subentender um *ângulo de visão grande*, sua imagem será registrada também com *distorção*. Nesse último caso, faces de uma caixa retangular ortogonais à direção do movimento, por exemplo, terão o aspecto de superfícies hiperbólicas.

Examinando as concepções de professores do Ensino Médio, Alemañ Berenguer (1997) verificou que os erros mais comuns cometidos relacionam-se a tentar explicar idéias relativísticas com base em noções newtonianas, o que conduz à confusão conceitual e à interpretação inadequada de fenômenos cujo significado varia radicalmente de uma teoria a outra.

Muitos problemas verificados na estruturação de livros didáticos e nas concepções de professores parecem se refletir também nos estudantes. A partir de um questionário, Gil e Solbes (1993) constataram que, de 536 alunos com idades entre 16 e 18 anos:

a) A maior parte (entre 85% e 93%) ignorava a existência de uma crise no desenvolvimento da Física Clássica, não sendo capaz de indicar um único problema relacionado a essa disciplina e não conseguindo apontar qualquer diferença entre a Física Moderna e a Clássica.

b) A maioria (entre 83% e 93%) evidenciava graves erros conceituais em questões tais como o limite na velocidade de propagação da luz, a equivalência entre massa e energia, a dualidade partícula-onda, e o princípio da incerteza, dentre outros tópicos.

Em uma pesquisa realizada por Gutiérrez *et al.* (2000), de 395 estudantes argentinos com idades entre 16 e 18 anos:

a) A maior parte reconhecia a existência de emissões do núcleo no fenômeno da radioatividade, pensando, porém, que o material apenas perde energia, sem modificar sua estrutura.

b) A maioria identificava a energia nuclear com perigo e contaminação, provavelmente influenciada pelos meios de comunicação.

c) Um alto percentual desconhecia a ocorrência de fissão nuclear em uma bomba atômica.

Na implementação do ensino com o apoio da hipermídia proposto neste trabalho, procurou-se levar em conta as observações quanto às concepções alternativas usualmente encontradas em livros didáticos e manifestadas por alunos e professores, de modo a evitá-las ou obter subsídios para discuti-las criticamente. Para a consecução desse propósito, foram relevantes os comentários e sugestões feitos pelos avaliadores do *software*, que levaram a correções e ao aperfeiçoamento do programa.

Assim, na versão final do *software* hipermídia, utilizada no curso experimental descrito neste trabalho, destacou-se o caráter não-linear do desenvolvimento científico em textos históricos e filosóficos, fez-se menção aos problemas enfrentados pela Física Clássica e realizou-se a comparação entre conceitos clássicos e modernos. A idéia de massa relativística não foi abordada, o conceito de equivalência massa-energia foi discutido e a noção de que massa pode ser convertida em energia foi criticada em uma questão inserida no texto sobre energia relativística. Houve esforço para se diferenciar os atos de ver ou fotografar do

procedimento de medir, em explicações sobre a contração das distâncias no texto principal, em legendas de imagens e em uma simulação mostrando como ficariam as formas dos objetos se estes fossem vistos de uma nave viajando com velocidade próxima à da luz. No estudo dos fenômenos nucleares, explicou-se, em linhas gerais, os processos verificados nos vários tipos de emissão radioativa e as transformações que ocorrem no núcleo em cada caso; não se deixou de considerar aplicações da energia nuclear benéficas para o ser humano em diversas áreas, incluindo a médica e a industrial, embora seus riscos tenham sido também avaliados; analisaram-se os mecanismos básicos de funcionamento de uma bomba nuclear.

Para Gil e Solbes (1993), usualmente os problemas de entendimento dos estudantes não se devem a dificuldades especiais existentes na Física Moderna, mas sim a orientações didáticas inadequadas que afetam também a aprendizagem de Física Clássica. Essa conclusão foi reforçada pelo fato de que um grupo experimental com 180 estudantes apresentando idades entre 16 e 18 anos, submetido a ensino diferenciado – no qual foram evidenciados os limites do conhecimento clássico, enfatizadas as diferenças entre os paradigmas da Física Moderna e da Física Clássica, e evitados os erros conceituais comumente veiculados – obteve um resultado bastante satisfatório quando comparado ao grupo exposto ao ensino tradicional.

A melhoria da qualidade da educação demanda, em primeiro lugar, a formação de professores dotados de senso crítico e conhecimentos suficientes para enfrentar os desafios da atualização curricular.

Entretanto, nos cursos de licenciatura em Física atuais existem, em geral, graves deficiências relativas ao estudo da Física Moderna e Contemporânea, praticamente desconsiderada, resultando, não raro, em professores com dificuldades para apresentar a disciplina de modo atualizado, interessante e digno de ser apreciado (CHAVES; SELLARD, 2005).

Sem uma reformulação dos currículos da graduação, torna-se problemático promover modificações expressivas no ensino escolar, pois é preciso que os professores tenham uma sólida base em Física Moderna para poder discuti-los satisfatoriamente com seus alunos.

Além da formação de professores, para viabilizar a atualização das práticas adotadas no ensino da Física é fundamental investir na produção de materiais didáticos com temas de Física Moderna destinados ao Ensino Médio.

Para Ostermann e Moreira (2001), a utilização de novas tecnologias para a abordagem de tópicos de Física Moderna, em particular, parece recomendável, em virtude de sua pequena tradição didática e pela possibilidade de se fazer simulações de experimentos de difícil realização em laboratório.

A hipermídia, em particular, é uma tecnologia da informação com potencial para a apresentação da Física de modo atualizado. As possibilidades desse recurso para o desenvolvimento de propostas educacionais serão examinadas detalhadamente no próximo capítulo. No capítulo 6, a questão do ensino de Física Moderna será retomada em uma proposta integrando a hipermídia, o enfoque CTS com dimensões história e filosófica, e os princípios de ensino e aprendizagem de Ausubel.

5 A HIPERMÍDIA NO CONTEXTO EDUCACIONAL

Na modernização da escola buscando torná-la mais condizente com a realidade da sociedade contemporânea, além da atualização de currículos e da transformação de práticas pedagógicas, é relevante considerar a incorporação de tecnologias que permitam aperfeiçoar o processo de ensino e aprendizagem.

O computador, devido ao seu potencial para o trabalho com a informação, é um recurso cuja utilização pode contribuir para o desenvolvimento de materiais instrucionais e atividades didáticas.

Neste capítulo, serão analisadas questões relacionadas ao uso da informática na educação, com ênfase nas possibilidades oferecidas pela *hipermídia*, tecnologia da informação desenvolvida em conjunto com os computadores, dotada de características que a tornam uma ferramenta eficiente para o armazenamento e a exploração do conhecimento.

5.1 Informática na educação

As novas tecnologias da comunicação e da informação constituem um aspecto importante do mundo atual, permitindo acessar, processar, armazenar e comunicar idéias de modo cada vez mais rápido e eficiente.

A informática, em associação com as telecomunicações, possibilita a conexão dos indivíduos à distância e o acesso a fontes de informação no mundo todo, por intermédio de grandes redes. A presença do computador nos lares e nos locais de trabalho é cada vez mais comum, contribuindo para a melhoria da organização e dos serviços realizados.

O computador, além de ser poderosa ferramenta de cálculo, faculta a integração de diversos meios de comunicação, permitindo reunir textos, imagens, filmes, sons e recursos interativos em um único dispositivo. Essa característica amplia as opções para a realização do processo de ensino e aprendizagem, uma vez que este se fundamenta na comunicação entre as pessoas e no trabalho com informações.

A informática também pode favorecer a aprendizagem na medida em que viabiliza outras formas de o educando reelaborar a informação de forma ativa e criativa, expressando um trabalho de reflexão pessoal (GUTIERREZ, 1978).

O uso do computador na escola pode ainda ajudar o aluno a ter melhor preparação física e mental para enfrentar a alta tecnologia ao seu redor e um maior entendimento sobre as limitações e capacidades da máquina, contribuindo para a formação e construção do seu conhecimento e o desenvolvimento de suas capacidades cognitivas e lógicas (LUCENA, 1994).

A habilidade de lidar com as tecnologias da informação predispõe o aluno a continuar o processo educacional após o período escolar, pelo resto de sua vida, ao permitir a aquisição de novos conhecimentos a partir dos meios de comunicação com os quais este estará constantemente em contato.

Na utilização da informática na educação, desempenha papel fundamental o *software educacional*, programa de computador desenvolvido para atender a objetivos pedagógicos previamente estabelecidos. O *software* educacional deve instigar as habilidades cognitivas dos alunos, auxiliando-os a desenvolver seu conhecimento e a transferi-lo para a resolução de novos problemas.

Lucena (1994) destaca as seguintes vantagens e desvantagens associadas ao uso do *software* educacional:

a) *Vantagens*: possibilita maior interação do aluno para a aquisição do conhecimento; permite a individualização da aprendizagem; tende a estimular, motivar e promover a auto-estima do aluno; pode proporcionar retroalimentação, controle e avaliação imediatos da aprendizagem; faculta apresentar lições de modo criativo, atrativo e integrado.

b) *Desvantagens*: necessita do apoio custoso de equipamentos; apresenta dificuldades para sua constante atualização; exige conhecimentos prévios; demanda maior tempo do professor para o planejamento, implementação e avaliação; depende de disposição e habilidades específicas do aluno, tais como a visual e de leitura.

Uma forma de se desenvolver *softwares* educacionais é estruturá-los com a utilização da hipermídia, cujas características propiciam acesso rápido e não-linear à informação de grandes bancos de dados contendo textos, imagens, filmes, animações, sons e programas, inter-relacionados por ligações formadas pelas palavras-chave de cada documento.

5.2 Origem do conceito de hipermídia

A concretização da hipermídia tornou-se possível a partir de um conjunto de desenvolvimentos tecnológicos envolvendo a criação e o aperfeiçoamento de meios cada vez mais eficientes para o registro, o processamento, a recuperação e a transmissão de informações, que levaram à união das telecomunicações com a informática.

A aproximação entre indústrias diversas, tais como a de equipamentos, eletrônica, informática, telefone, cabos, satélites, entretenimento e comunicação, levou as pessoas a incorporarem em seu cotidiano televisões que captam imagens de todas as partes do mundo com transmissões via satélite, TV a cabo, terminais de computadores conectados à *Internet*

com acesso a bancos de dados nacionais e internacionais, telefones celulares, *videogames*, fibras ópticas e outras tecnologias.

Os avanços tecnológicos verificados até o momento estão levando a mudanças significativas na visão do homem e na sua maneira de atuar, conduzindo a uma Sociedade em que a manipulação de informações passará a ser fundamental. Como observa Pretto (1996, p. 38):

Esse conjunto de transformações colocou a modernidade em seu limite histórico e aponta para uma mudança no modo de produção dos paradigmas neste novo tempo que se aproxima. Um tempo no qual o homem deixa de ser o centro e a informação, a produção e a circulação de imagens passam a ser os vetores mais significativos.

O aumento extremamente rápido da quantidade de informações disponíveis no mundo foi o principal fator que motivou o desenvolvimento do conceito de *hipertexto*, proposto originalmente por Vannevar Bush, em 1945.

Bush (1945) considera que os sistemas de indexação geralmente utilizados em bibliotecas são artificiais, tornando o processo de recuperação de informações ineficiente. As informações armazenadas são arquivadas em ordem alfabética ou numérica e a informação é encontrada seguindo de subclasse para subclasse, segundo uma hierarquia. Ao encontrar a informação desejada, é necessário sair do sistema e reentrar por um novo caminho, para prosseguir a busca.

Entretanto, como expõe Bush, a mente humana não opera desse modo e sim por *associação*. Cada idéia leva instantaneamente a outra pela associação de pensamentos, segundo uma rede intrincada de caminhos estabelecidos pelas células do cérebro. Com base nesse fato, Bush propõe um dispositivo denominado *memex*, que constituiria um arquivo e

biblioteca pessoal no qual seriam armazenados livros, jornais, fotografias, registros e comunicações, organizados de modo a permitir consultas com grande velocidade e flexibilidade.

O armazenamento das informações seria feito por meio de microfilmes, possibilitando um arranjo compacto para o *memex*, cujo aspecto seria o de uma peça de mobília, semelhante a uma escrivaninha. Haveria uma tela em que os textos para leitura seriam projetados, a partir de comandos fornecidos por meio de um teclado e alavancas, e as páginas projetadas de um livro poderiam ser mudadas rapidamente, até se localizar a informação desejada.

Além da consulta segundo o princípio tradicional de indexação, na qual um livro poderia ser acessado fornecendo-se seu código, seria possível também a consulta por indexação associativa, em que se pode, a partir de um determinado item, acessar imediatamente outro a ele conectado. Para isso, o *memex* viabilizaria ao seu usuário, por meio de comandos simples, estabelecer conexões entre dois itens quaisquer, segundo o seu interesse, levando à construção de trilhas em que vários documentos estariam interassociados. Um mesmo item poderia fazer parte de diversas trilhas diferentes, originando uma rede de conhecimentos inter-relacionados. Uma vez estabelecidas as conexões, estas poderiam ser recuperadas por qualquer usuário, acionando-se uma alavanca ou um botão. Para Bush, o *memex* funcionaria na condição de extensão da memória de seu usuário, facultando a armazenagem e recuperação de grande quantidade de informações, apoiando o processo de elaboração do conhecimento pelo ser humano.

Como expõe Lévy (1996), o termo *hipertexto* foi proposto somente no início dos anos sessenta, por Theodore Nelson, para exprimir a idéia de escrita e leitura não-linear em um sistema de informática. A meta desse pesquisador era criar uma imensa rede acessível em tempo real, contendo todas as principais obras do pensamento humano. O projeto recebeu o

nome de *Xanadu* e visava a permitir que milhões de pessoas pudessem trocar informações diversas entre si, incluindo textos, filmes e sons, consistindo em um ideal de hipertexto.

As idéias de Bush influenciaram Douglas Engelbart que, segundo Conklin (1987), expressou em 1963 a idéia de que os computadores levariam a um novo estágio na evolução humana, caracterizado pela manipulação externa de símbolos de modo automatizado. Nesse estágio, a utilização de tecnologias especiais possibilitaria que os símbolos utilizados pelo ser humano para representar os conceitos fossem manipulados em frente a seus olhos, sendo movidos, armazenados, recuperados e operados segundo regras complexas, respondendo a quantidades mínimas de informação fornecidas pelo usuário. A simbiose entre o ser humano e o computador teria o efeito de amplificar a inteligência do usuário.

Em 1968, Engelbart implementou suas idéias mediante o NLS (oN Line Sistem), um sistema hipertexto que reunia um banco de dados de texto não-linear, filtros de visualização para a seleção da informação e visores que estruturavam a exibição desta em um terminal (CONKLIN, 1987).

O NLS era uma ferramenta experimental constituída de computadores na qual eram armazenados planos, projetos, programas, documentação, relatórios, memorandos, bibliografia, notas de referências e outros itens da equipe de trabalho de Engelbart no Centro de Pesquisa do Intelecto Humano Ampliado (SRI). Utilizando-se de periféricos sofisticados, que incluíam o *mouse* (uma invenção de Engelbart) e permitiam lidar com imagens de televisão, a equipe realizava todo seu trabalho preparatório, o planejamento, a elaboração de projetos, a verificação e eliminação de erros, e também boa parte da intercomunicação. Os arquivos eram estruturados no NLS em uma hierarquia de segmentos, cada um apresentando um identificador de seu nível no arquivo (Por exemplo: 1, 1a, 1b). Qualquer número de ligações de referência poderia ser estabelecido entre os segmentos de cada arquivo e entre arquivos.

Embora a idéia de hipertexto tenha surgido em 1945, sua implementação plena e difusão em escala mais ampla somente ocorreu com o desenvolvimento da velocidade e memória dos microcomputadores e o aperfeiçoamento das tecnologias que possibilitaram a integração de imagens, filmes e sons com a informática. O trabalho simultâneo com elementos de diversas fontes de informação originou o termo *multimídia* (PRETTO, 1996, p. 19):

Computadores, televisões, vídeos, telefones, satélites, cabos, novos equipamentos são aperfeiçoados e desenvolvidos, estimulando-se um uso mais integrado e mais global de todos esses recursos. Surge a *multimídia*, um novo conceito que engloba todo o universo audiovisual.

Os microcomputadores e seus periféricos, conectados entre si constituindo grandes redes de informação, forneceram as condições ideais para a proliferação e popularização da hipermídia, resultante do uso conjunto da multimídia e do hipertexto.

A hipermídia pode ser considerada hoje um dos futuros da escrita e da leitura, configurando uma nova linguagem para registro, processamento e recuperação de conhecimentos. Essa é a linguagem básica utilizada na *Internet*, ou grande teia mundial, que exemplifica um imenso sistema hipermídia e estende-se a praticamente todos os países do mundo, com milhões de interconexões e uma infinidade de informações disponíveis.

Também se tornaram comuns sistemas hipermídia de porte mais modestos e voltados para domínios específicos, tais quais enciclopédias em CD-ROM, programas de auxílio ao trabalho coletivo e programas de apoio ao processo de ensino e aprendizagem. No entanto, há dificuldades na programação de bancos de dados muito grandes e padronizar

dados na forma de hipertexto requer bastante trabalho, da mesma forma que sua organização para o atendimento ao usuário, limitando o tamanho dos documentos.

5.3 Características fundamentais da hipermídia

Hipermídia é uma tecnologia da informação resultante da união de dois elementos: o hipertexto e a multimídia. O termo *hipertexto* refere-se à escrita não-linear, na qual o leitor pode acessar os segmentos que compõem um texto em diferentes seqüências, segundo o seu interesse pessoal, mediante alternativas apresentadas com a utilização dos recursos interativos de um computador. Em um hipertexto, o leitor apresenta maior liberdade para acessar a informação disponível, enquanto em um livro, por exemplo, o texto é normalmente apresentado de modo linear, com uma estrutura estabelecida para que seja seguida uma única seqüência do início ao fim do documento. Por *multimídia*, entende-se a integração de diferentes modalidades de mídia, dentre as quais textos, gráficos, imagens, desenhos animados, filmes, sons e música, em um único meio: o computador.

A essência fundamental da hipermídia encontra-se nas relações entre os *nós*, ou janelas onde a informação é apresentada. Esses sistemas são compostos por uma rede de nós que se comunicam mediante relações chamadas *links*, as quais permitem ao leitor viajar no documento de um lugar (nó) a outro instantaneamente, conectando as informações contidas no banco de dados, em formato multimídia.

Como expõe Conklin (1987), em um sistema hipermídia as janelas na tela do computador estão associadas com objetos de um banco de dados e esses objetos apresentam ligações (*links*) entre si. Essas ligações apresentam-se graficamente nas janelas na forma de sinais ou símbolos, que atuam como referências ou etiquetas de um outro documento.

Também aparecem no banco de dados na forma de indicadores (*pointers*). Essas relações são ilustradas na figura 1, reproduzida do trabalho de Conklin (1987).

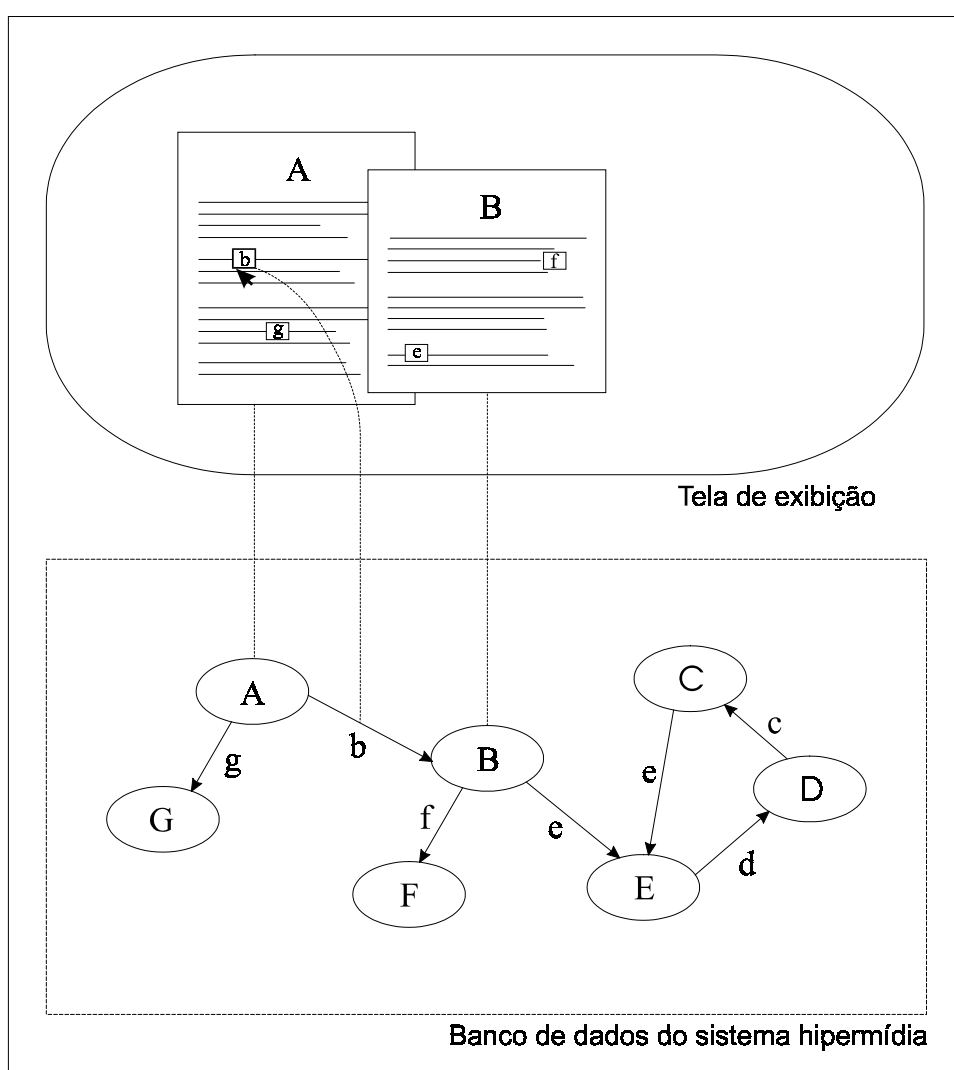


Figura 1. Relações em um sistema hipermídia. Nesse exemplo, cada nó no banco de dados do sistema hipermídia é exibido em uma janela separada na tela quando solicitado. O link denominado *b* na janela *A* foi ativado pelo ponteiro do *mouse*, fazendo com que uma nova janela denominada *B* fosse criada na tela e preenchida com texto do nó *B* do banco de dados.

Conklin (1987) enumera as seguintes características encontradas em sistemas hipermídia, dentre outras:

a) O banco de dados é formado por uma rede de nós com texto e / ou elementos de multimídia, que pode ser considerada uma espécie de *hiperdocumento*.

b) As janelas na tela do computador correspondem aos nós do banco de dados em uma relação biunívoca e cada uma tem um nome ou título sempre mostrado na janela. Somente um pequeno número de nós é ativado na forma de janelas na tela em um mesmo momento.

c) É possível reposicionar, fechar e colocar de lado como um pequeno ícone (minimizar) cada uma das janelas exibidas. Fechar uma janela faz com que ela desapareça após as alterações realizadas terem sido gravadas no nó do banco de dados. Acionar com o *mouse* o ícone de uma janela minimizada faz com que ela se abra instantaneamente.

d) As janelas podem conter qualquer número de ícones de ligação, quais portas de acesso a outros nós do banco de dados. O ícone de ligação contém um pequeno campo com um texto que sugere o conteúdo do nó para o qual ele aponta. Acionar um ícone de ligação com o *mouse* faz com que o sistema encontre o nó referenciado e abra imediatamente uma nova janela para exibi-lo na tela.

e) O usuário pode criar facilmente novos nós e adicionar *links* entre estes, para acrescentar suas anotações e comentários. Também pode criar novas conexões entre os nós existentes.

f) Pode-se *navegar* no banco de dados de três maneiras: seguindo *links* e abrindo janelas sucessivamente para examinar seus conteúdos; fazendo-se a busca no banco de dados por algum conjunto de caracteres, palavra-chave ou valor de atributo; *navegando* pelo hiperdocumento usando-se um mapa no qual a rede é mostrada graficamente, propiciando uma noção espacial e contextual dos nós que estão sendo vistos e da relação entre estes e os nós vizinhos. O usuário pode escolher se os nós e *links* exibirão seus rótulos ou não. Um

instrumento de *navegação* que possibilita percorrer o hiperdocumento é também denominado *browser*.

Em aplicações concretas, pode-se deparar com sistemas hipermídia que não exibam necessariamente todas essas características. Alguns sistemas podem ser constituídos considerando-se menos ou até mesmo uma lista mais ampla de aspectos.

A possibilidade de realizar leitura não-linear não é exclusividade da hipermídia, pois o texto tradicional impresso também apresenta uma série de recursos para indicar idéias relacionadas ao contexto principal. Um autor pode fazer comentários adicionais usando parênteses, notas de rodapé e expressando idéias complementares entre barras. Mapas e legendas também apresentam informações à parte do fluxo principal do texto. Utilizando-se de índices e sumários, o leitor pode dirigir-se diretamente ao assunto que o interessa em um dado momento. Em uma enciclopédia são freqüentes as remissões de um artigo para outro. As referências bibliográficas também apontam outras fontes que trazem mais idéias sobre o assunto estudado. Os bancos de dados clássicos tornam possível realizar buscas por palavras-chave e trazer, de um grande conjunto de documentos, aqueles que apresentam maior interesse para o leitor.

Entretanto, os sistemas hipermídia possibilitam que as referências sejam seguidas com grande facilidade, exigindo somente o acionamento de algumas teclas ou alguns movimentos com o *mouse*. E, sobretudo, permitem trazer as informações a uma grande velocidade, pois, ao se acionar um *link*, a reação do sistema para atender à solicitação do usuário não deve demorar mais do que um ou dois segundos.

Esse grau de rapidez e comodidade não se encontra nos textos impressos, que requerem em geral mais tempo e esforço físico para o acesso ao material desejado. Na pesquisa em certos bancos de dados, às vezes é necessário esperar vários dias até que um documento solicitado possa ser acessado, envolvendo até mesmo o deslocamento físico da

cópia impressa de uma cidade para outra. Na consulta a uma enciclopédia impressa, para acompanhar as referências entre os artigos é necessário, em certas pesquisas, lidar com diversos volumes que devem ser retirados da estante e carregados até o local de consulta.

A possibilidade de estabelecer ligações entre quaisquer documentos do banco de dados mediante recursos do computador é a principal característica da hipermídia, que se relaciona à rapidez e flexibilidade no acesso à informação. É pelos *links* que se estabelece a identidade de um hiperdocumento, definindo-se sua estrutura.

Segundo Conklin (1987), as ligações entre dois pontos de um sistema hipermídia podem ser feitas por dois métodos: por referência e por organização.

No método de ligação *por referência*, dois pontos ou regiões no texto são conectados por *links* de referência, que geralmente possuem duas terminações e são direcionados para frente, embora a maior parte dos sistemas permita o movimento de retorno ao longo do *link*. Esse é um método não-hierárquico.

A origem do *link* é denominada de “fonte do *link*”, que geralmente atua na condição de *referência*. A fonte pode ser apenas um único ponto ou uma região do texto. A outra terminação, chamada de “destino do *link*”, em geral atua na condição de *referente*, também podendo ser um ponto ou uma região.

Um *ponto de ligação* é algum sinal (e. g.: ícone, palavra em destaque) que indica a presença do *link*, podendo mostrar o nome do *link* e seu tipo, e também o nome e / ou tipo do nó de destino. Uma *região de ligação* é um conjunto de caracteres contíguos exibidos como uma unidade. O tipo mais comum de *link* é aquele em que a fonte é um ponto e o destino é uma região. Nesse tipo de *link*, um segmento de texto é referenciado por algum pedaço menor de texto, geralmente uma palavra ou frase.

No método de ligação *por organização*, os *links* de organização estabelecem ligações entre dois pontos do sistema hipermídia, de modo semelhante aos *links* de referência, com a diferença de apresentarem a informação segundo uma hierarquia.

Os *links* de organização conectam um “nó-mãe” com seus “nós-filhos”, formando uma estrutura em árvore dentro da configuração do sistema hipermídia e, ao invés de aparecerem na forma de ícones destacados de modo explícito, são freqüentemente percorridos por meio de um mecanismo separado no nível do nó de controle, contendo, por exemplo, comandos especiais como “vá para o nó-mãe”, “vá para o primeiro nó-filho” e “vá para o próximo nó-irmão”.

Além dessas ligações explícitas, Conklin (1987) também identifica conexões implícitas, que podem ser realizadas com palavras-chave, as quais possibilitam realizar buscas em documentos grandes e complexos utilizando-se de conjuntos de caracteres. Enquanto os *links* usuais geralmente levam a um único nó, os *links* por palavras-chave podem levar a diversos nós.

5.4 Classificação dos sistemas hipermídia

Os sistemas hipermídia podem ser adaptados para uso em diferentes áreas e contextos, a fim de melhor atenderem aos propósitos de seus usuários. Segundo suas características peculiares e as aplicações a que se destinam, pode-se fazer a classificação dos sistemas hipermídia em quatro áreas abrangentes (CONKLIN, 1987):

a) *Sistemas macro literários*. Bibliotecas virtuais acessadas pelo computador, apresentando grande quantidade de informações, nas quais as ligações entre os documentos são realizadas com o emprego da máquina, possibilitando a leitura, a colaboração, a crítica e a

publicação na própria rede. Nesses sistemas, os leitores podem adicionar suas contribuições à rede sem que se percam os documentos originais. O *memex* de Bush, o *NLS* de Engelbart e o projeto *Xanadu* de Nelson são sistemas hipermídia dessa categoria.

b) *Ferramentas de exploração de problemas*. Ferramentas que apóiam o processo de autoria, resolução de problemas, programação e delineamento de projetos, quando o pensamento ainda não foi muito estruturado, encontrando-se em uma fase inicial de elaboração na qual surgem várias idéias ainda desconectadas. Esses sistemas de autoria-pensamento-programação apresentam mecanismos adequados para filtrar, organizar e percorrer amplas quantidades de informação relativamente desestruturada. Um exemplo desse tipo de hipertexto é o *WE*, desenvolvido por um grupo da Universidade da Carolina do Norte (EUA), projetado para apoiar o processo de redação de textos. A escrita é enfocada como um processo em que uma rede livremente estruturada de idéias internas e fontes externas é primeiramente organizada em uma hierarquia apropriada ou esboço, e então transformada em um fio linear de palavras, frases e outros elementos. Para auxiliar nesse processo, o *WE* apresenta duas janelas maiores para a visualização do material (constituído por nós e *links* contendo texto). Na janela gráfica, o material pode ser disposto com pouca estruturação, em qualquer localização, e os nós podem ser agrupados em pilhas que apresentem alguma inter-relação ou colocados entre pilhas diferentes caso se relacionem com ambas. Na janela hierárquica, os nós podem ser copiados na medida em que alguma estrutura conceitual começa a emergir do processo. Para isso, o *WE* possui diversos comandos especializados para mover e estruturar o material entre esses dois modos de visualização.

c) *Sistemas de navegação*. São similares aos sistemas macro literários, mas menores em escala, voltados para o ensino, referência e a informação pública. Nesses sistemas, a facilidade para o uso e a interface amigável são essenciais. Em geral, esses sistemas não possibilitam que o usuário comum adicione novas informações. Um exemplo

desse tipo de sistema é o *Hyperties* de Shneiderman, desenvolvido para ser uma ferramenta prática e fácil de aprender destinada à *navegação* em bancos de dados instrucionais e para ser utilizado como plataforma experimental de pesquisa sobre a elaboração de interfaces hipermídia. *Hyperties* foi usado em uma exibição sobre a Áustria e o Holocausto em um museu de Washington (EUA). Suas unidades básicas são artigos curtos, compostos de 50 a 1000 palavras em média, interligados por um grande número de *links*. Os *links* são palavras ou frases destacadas no texto do artigo, ativados pelo toque do usuário com o dedo na tela ou pelo teclado, que levam a outro artigo relacionado. O sistema permite ao usuário voltar facilmente de caminhos exploratórios trilhados.

d) *Tecnologia geral de hipertexto*. Sistemas de propósito geral, projetados para permitir a realização de experimentos em diversos tipos de aplicação da hipermídia, tais como leitura, escrita e colaboração, dentre outros. Sua principal finalidade é a experimentação da hipermídia em si enquanto tecnologia. Um exemplo é o *Intermedia*, desenvolvido na Universidade de Brown (EUA) visando à experimentação em sala de aula mediante o uso dos computadores. Esse sistema foi desenvolvido para ser um ambiente de trabalho com um conjunto de ferramentas que permitem a criação de *links* entre documentos contendo vários tipos de mídia, tais como texto, linhas do tempo, diagramas, imagens, documentários em vídeo e música. *Intermedia* foi elaborado para auxiliar os professores a organizar e apresentar o material de suas aulas pelo computador e para que os estudantes pudessem estudar os materiais e adicionar suas próprias anotações, em um meio interativo. Uma preocupação fundamental do grupo de pesquisa do *Intermedia* era proporcionar ao usuário maneiras efetivas de gerenciar a complexidade crescente do ambiente hipermídia.

Jonassen (1986) considera os seguintes tipos de estrutura para os sistemas hipermídia: segmentado ou nó-*link*, estruturado e hierárquico. Essas modalidades são ilustradas nas figuras 2, 3 e 4, elaboradas por Jonassen.

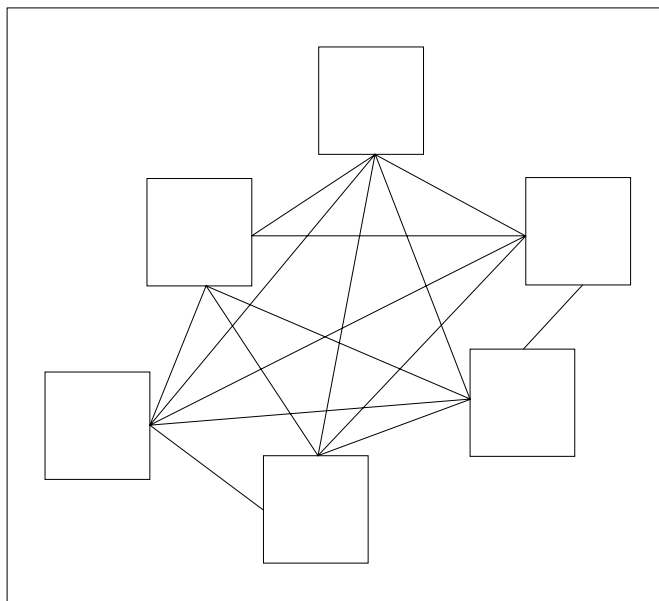


Figura 2. Sistema hipermídia nó-link. Diagrama representando um sistema hipermídia nó-link, em que o acesso é possível a partir de qualquer nó.

Um *sistema hipermídia segmentado ou nó-link*, conforme o proposto por Nelson, funciona como um glossário de acesso não-sequencial, possibilitando o acesso direto a qualquer nó do sistema. Esse sistema pode ser constituído por meio de um sumário que possibilita o acesso aos nós cujo conteúdo se deseja examinar, a partir de um *menu* contendo os títulos dos nós ou a partir de um mapa no qual os nós são exibidos graficamente, semelhante ao representado na figura 2. O sumário deve ser organizado de tal forma que não seja representada uma seqüência a ser seguida, devendo ser atribuída igual importância a cada tópico. Outra opção para a elaboração do sistema é um índice de assuntos que exhibe os tópicos para escolha em uma ordem arbitrária – alfabética, por exemplo.

Nesse sistema hipermídia, o leitor pode realizar escolhas em qualquer parte do hiperdocumento por intermédio de termos do texto ou locais assinalados por um asterisco ou destacados em negrito, sublinhado ou com a utilização de cores. Ao acionar o tópico assinalado mediante uma tecla, o leitor salta imediatamente para o assunto correspondente,

podendo retornar diretamente ao local de onde partiu. As opções de escolha também podem ser indicadas por ícones com rótulos ou etiquetas contendo o título de nós, por botões ou por figuras em destaque.

Um sistema hipermídia completamente aberto deve possibilitar ao leitor o acesso a qualquer outra tela a partir daquela onde se encontra, simplesmente acionando-se um termo assinalado ou digitando-se o termo que se deseja explorar. O autor do sistema pode também sugerir certas conexões organizando referências cruzadas, tais como “veja” e “veja também”, para evitar que as associações estabelecidas pelo leitor sejam sem significado. Ao sair de uma apresentação de texto, o leitor seria conduzido ao índice ou subíndice mostrando as conexões possíveis a partir daquele ponto do hipertexto. Outra opção é a apresentação de uma lista de termos relacionados em uma janela na parte inferior da tela.

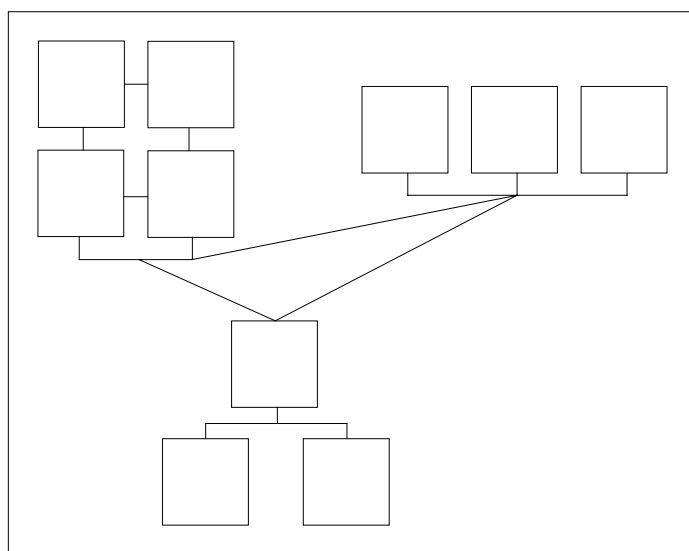


Figura 3. Sistema hipermídia estruturado. Diagrama representando um sistema hipermídia estruturado.

Um *sistema hipermídia estruturado* (figura 3) é constituído por blocos de nós, cada qual acessível a partir de qualquer outro conjunto. Cada bloco de nós consiste de um

arquivo de texto ou banco de dados separado, com o sistema hipermídia atuando enquanto metabanco de dados, que controla o acesso a cada um dos bancos de dados específicos.

Como no sistema hipermídia segmentado, o acesso a cada um dos blocos de nós pode ser feito a partir de índices ou menus. Ao se acessar um bloco de nós, sua estrutura deve ser exibida nas telas correspondentes, possibilitando a escolha das telas a serem vistas na ordem desejada. Um determinado bloco de nós pode ser estruturado de modo que o nó introdutório exiba o nome de um conceito e um menu para o acesso a subestruturas detalhadas, tais como definições, exemplos, ilustrações, regras envolvendo o conceito, descrição de aplicações e uma lista de conceitos relacionados. De qualquer tela desse conjunto de nós, constituindo uma unidade, poderia ser acessado um outro conjunto, correspondente a outra unidade.

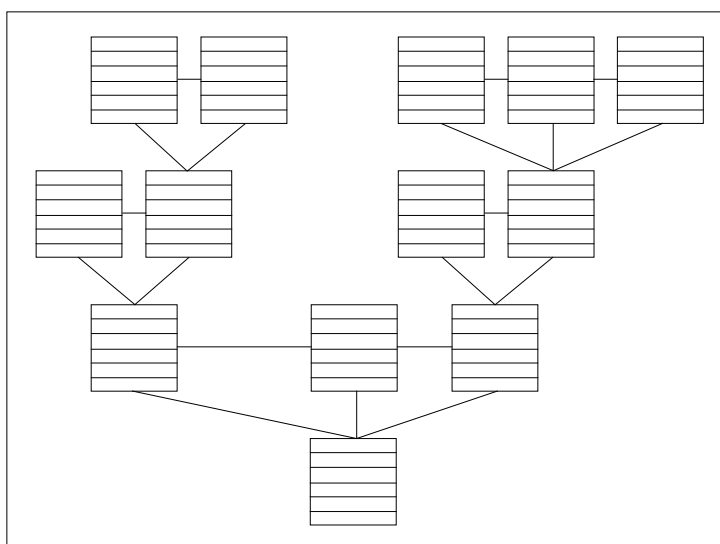


Figura 4. Sistema hipermídia hierárquico. Diagrama representando um sistema hipermídia hierárquico. Cada bloco representa um conjunto de nós ou telas.

Em um *sistema hipermídia hierárquico* (figura 4), o conteúdo é estruturado de modo hierárquico, com o texto correspondente a um conceito mais específico incluído naquele de um conceito mais geral. A hierarquia estabelecida exige que os usuários se movam para cima e para baixo ao longo desta para acessar os conceitos relacionados.

Cada bloco unitário apresenta relações hierárquicas definidas previamente, em termos de superordenação ou subordenação, podendo consistir de um conjunto de telas mostrando, por exemplo: termos-chave; sinônimos; termos mais amplos, ou seja, blocos de informação genérica na parte superior da hierarquia; termos mais específicos, ou seja, mais detalhados, na parte inferior da hierarquia; outras informações relacionadas, como analogias; dentre outros. O movimento do usuário pode dar-se somente ao longo da hierarquia, com a restrição dos movimentos laterais a termos relacionados ou sinônimos.

O *software* hipermídia para o ensino de Física Moderna proposto e avaliado neste trabalho pode ser classificado como um *sistema de navegação*, destinado à educação, organizado em seis módulos temáticos.

Esse recurso didático é dotado de um conjunto de 30 textos com extensão variando entre 100 e 5.400 palavras. Os textos mais longos foram divididos em blocos menores, com menos de 2.000 palavras, acessíveis na ordem desejada por meio de *links* situados na parte inferior da tela, cuja origem ou fonte consiste em uma palavra ou pequeno conjunto de termos. Além desses *links*, em cada tela podem ser encontrados, em média, outros três ou quatro, cuja origem ou fonte são ícones com imagem e rótulo relacionados ao assunto afim referenciado.

O sistema possui interface amigável e pode ser explorado sem dificuldade. Em toda tela há uma barra de controle com ícones que permitem voltar à tela anterior, seguir para a tela de abertura do *software*, imprimir a tela atual, ativar um bloco de notas, acionar uma calculadora e controlar o som. Menus suspensos na parte superior da tela facultam ainda

acesso a um mapa do *software*, a uma lista contendo *links* que levam a *sites* relevantes da *Internet*, à bibliografia consultada para elaborar os textos, à relação de créditos do programa e a um comando para interrompê-lo. O mapa do *software* apresenta graficamente os nós do sistema e suas interconexões, permitindo acesso aos textos em qualquer ordem. O sistema não viabiliza que os usuários alterem o conteúdo dos textos ou modifiquem os *links* existentes.

Em relação à sua estrutura, o *software* é basicamente hierárquico, embora características de outras categorias também sejam encontradas em menor grau. Os *links* estabelecidos possibilitam que o leitor percorra seqüências de telas nas quais os conceitos são expostos com nível crescente de especificidade ou retorne de um percurso em sentido inverso. Porém, vários caminhos diferentes podem ser trilhados conforme o interesse do estudante ou os objetivos definidos por um professor. Essa forma de organização será descrita em pormenores no capítulo 6. Apesar da hierarquia existente, o mapa do *software*, que pode ser aberto a partir de qualquer tela, torna factível ler os textos em qualquer ordem desejada, como em um sistema segmentado. O fato de o conteúdo do *software* estar disposto em módulos temáticos faz com que este apresente também alguns traços de sistemas estruturados.

5.5 Características da hipermídia educativa

A hipermídia apresenta características relevantes para a área educacional, oferecendo diversas possibilidades para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem, dentre as quais as seguintes, destacadas por Clunie e Souza (1994):

a) *Representação do conhecimento*. Representação do conhecimento de modo flexível e não-linear, semelhante às redes semânticas e ao funcionamento associativo da

mente humana, tal como se observa nos padrões da memória, do pensamento e da conduta dos seres humanos.

b) *Ferramenta cognitiva*. Atuação na condição de ferramenta cognitiva capaz de auxiliar o aluno em tarefas e processos cognitivos complexos, utilizando-se de recursos do computador que possibilitam ampliar e prolongar a cognição humana, tais como velocidade de processamento, capacidade de armazenamento, resolução gráfica e múltiplas janelas na tela. Com esse apoio, o aluno pode estar mais livre para empregar seus recursos cognitivos em questões mais complexas, dentre estas a resolução de problemas. Nos casos em que se deixa o estudante ser responsável pela autoria de sistemas hipermídia, este pode estar sempre ativo no processo, construindo o próprio conhecimento.

c) *Aprendizagem acelerativa*. Intensificação da aprendizagem, permitindo ao estudante criar as próprias associações ou mapas conceituais e elaborar representações originais. Os alunos com dificuldades para expressar idéias por escrito podem fazê-lo mediante uma combinação de imagens, sons e textos, dispondo de novas classes de materiais para a aprendizagem.

d) *Criação de histórias*. Elaboração de uma história interativa pelo aluno, facultando o desenvolvimento de suas idéias, com a transformação de pensamentos informais e desestruturados em uma apresentação estruturada. O ambiente de autoria viabiliza a livre manipulação dos elementos gráficos, textuais e sonoros que formam as telas, abrindo novas perspectivas para a auto-expressão e composição ativa do aluno.

e) *Exploração livre*. Livre navegação pelo espaço literário, permitindo a exploração dos documentos em qualquer seqüência desejada, conforme a estrutura criada pelo autor, seja de modo linear ou desviando-se temporariamente com o acionamento de *links* relacionados ao tema principal, segundo o interesse do momento.

f) *Trabalho cooperativo*. Acesso a um mesmo documento por diversos alunos, mediante uma rede de computadores, favorecendo a interação, a realização de discussões e o intercâmbio de idéias e informações objetivando efetivar alguma tarefa em conjunto e de modo cooperativo.

g) *Representação da realidade*. Espelhamento da condição atual do assunto que está sendo tratado, com o controle automático de versões embutido a cada operação, em trabalhos nos quais podem participar vários alunos de modo cooperativo.

h) *Aprendizagem por descoberta*. Liberdade para associar informações e idéias, facilitando o estabelecimento de relações entre os conceitos resultantes da evolução das atividades e sua integração à estrutura do conhecimento já existente.

i) *Motivação*. Atendimento às necessidades de satisfação e estímulo do aluno frente à novidade, com ambientes interativos que demandam a atuação permanente.

j) *Fantasia e curiosidade*. Exploração da curiosidade mediante a variação dos efeitos visuais e auditivos e da apresentação de temas de interesse para os estudantes, que possam surpreendê-los e intrigá-los; exploração da fantasia com a evocação de imagens mentais ou situações físicas ou sociais que realmente não estão presentes.

k) *Administração da informação*. Construção de bancos de dados pelos estudantes, em tarefas que exigem a organização da informação de fontes diversas e sua representação como texto, imagens e sons, mediante a composição de nós que podem ser interconectados com a utilização de botões.

l) *Integração de recursos*. Integração da informação de meios diversos tais como textos, gráficos, imagens fixas e em movimento, sons e programas, em um único hiperdocumento, podendo-se visualizar a associação resultante.

Segundo Babbitt e Usnick (1993), a hipermídia é um ambiente ideal para auxiliar os estudantes a estabelecer conexões entre os assuntos estudados, pois possibilita criar

facilmente ligações entre conceitos, definições, representações e aplicações relacionadas, ampliadas com a adição de som, movimento e gráficos. A rede de informações resultante dessas conexões tem o potencial de ser mais rica e forte do que o conhecimento obtido com apresentações tradicionais.

Conforme expõe Trotter (1989), a hipermídia apresenta duas características consideradas consistentes para a aprendizagem por muitos educadores: o estudante está no controle, precisando realizar escolhas constantemente, e pode estudar com o apoio de diversos tipos de mídia. Ter opções de escolha e variedade contribui para diminuir a probabilidade de que os estudantes se sintam aborrecidos; a utilização de diversas modalidades de mídia amplia as oportunidades para a aprendizagem, porque texto, gráfico e som reforçam-se uns aos outros.

Marchionini (1988) observa três peculiaridades dos sistemas hipermídia relevantes para a implementação de atividades educacionais:

a) Possibilitam reunir grandes coleções de material instrucional em uma variedade de meios e em um volume reduzido, com acesso fácil e rápido. Esses conteúdos podem ser inter-relacionados de maneiras diversas com *links* que sugerem caminhos pela informação e conectam o estudante a materiais de suporte tais como dicionários, enciclopédias e outros.

b) Constituem um meio habilitador e não-diretivo, oferecendo altos níveis de controle pelo estudante, que pode optar por seguir trilhas bem marcadas ou abrir caminho por novas trilhas conforme suas habilidades e objetivos. A hipermídia requer que o estudante tome decisões constantemente e avalie seu progresso, demandando a utilização de habilidades de pensamento de ordem superior.

c) Podem levar a alterações nos papéis de professores e alunos, e nas interações críticas entre estes. A hipermídia permite aos estudantes criar associações e interpretações únicas das idéias contidas em um hiperdocumento, que podem ser gravadas, revistas,

modificadas e compartilhadas com os colegas e com os professores mediante a constituição de trilhas pela informação. Isso proporciona experiências mais ricas e desafiadoras, estimulando ainda a interação constante entre os participantes do processo educacional.

Na hipermídia, as informações podem ser apresentadas por meio de outras linguagens além da verbal, utilizando-se recursos gráficos, sonoros, interativos e de animação do computador para facilitar o entendimento da teoria e de exemplos, ilustrar e enriquecer o conteúdo, motivar a aprendizagem e tornar mais estimulante a resolução de problemas.

A semiótica, definida por Nöth (1995, p. 19), de uma forma ampla, enquanto “ciência dos signos e dos processos significativos (semiose) na natureza e na cultura”, revela que a hipermídia, ao utilizar-se de recursos audiovisuais, envolve signos de diferentes categorias, os quais exercem efeitos distintos sobre o receptor da mensagem, possibilitando explorar não só os aspectos intelectivos e racionais da aprendizagem, mas também os afetivos e motivacionais.

O trabalho com a hipermídia colabora para o desenvolvimento da aprendizagem quanto à leitura dos signos que compõem a linguagem do audiovisual, tão presente hoje nos meios de comunicação de massa e com características distintas da linguagem verbal, contribuindo, desse modo, para a criticidade dos estudantes, haja vista os efeitos subliminares de certas informações veiculadas na mídia.

Diversas pesquisas têm evidenciado perspectivas promissoras da hipermídia para as práticas educacionais. Paolucci (1998) mostrou que *softwares* hipermídia estruturados adequadamente podem ser utilizados enquanto sistemas de aprendizagem para aumentar o desempenho dos estudantes e os resultados por eles obtidos. Esse pesquisador verificou que os sistemas hipermídia parecem proporcionar um meio efetivo para promover e desenvolver habilidades cognitivas de ordem superior.

Em uma pesquisa envolvendo o desenvolvimento e a avaliação de um *software* hipermídia para o ensino de *Mecânica*, Rezende (2001) observou uma opinião favorável dos estudantes que utilizaram o sistema. Segundo os resultados obtidos nesse estudo, a hipermídia pode contribuir para a reestruturação e o desenvolvimento conceitual dos estudantes.

Machado e Santos (2004) relataram uma investigação relativa ao uso de um sistema hipermídia para o ensino de *Gravitação Universal* no Ensino Médio em que, de modo geral, os professores e os estudantes envolvidos avaliaram positivamente o *software* quanto a seus aspectos técnicos, pedagógicos e motivacionais. Nesse estudo, constatou-se que a hipermídia pode tornar a aprendizagem mais motivadora e significativa, mediante os recursos audiovisuais e a capacidade de propiciar o estabelecimento de conexões entre conceitos de modo rápido e eficiente.

Liao (1999), utilizando uma abordagem meta-analítica, comparou 46 estudos desenvolvidos entre 1986 e 1998 envolvendo ensino com a hipermídia (aulas utilizando videodiscos interativos acessados pelo computador, simuladores computacionais ou multimídia interativa) e sem a hipermídia (texto, ensino tradicional, ensino mediado pelo computador ou fitas de vídeo). Concluiu que os efeitos da utilização da hipermídia sobre a aprendizagem foram positivos de modo geral. A hipermídia mostrou-se mais efetiva em análises que não envolveram grupo de controle e em pesquisas nas quais foi comparada ao ensino tradicional e à instrução com fitas de vídeo. Entretanto, a hipermídia mostrou-se levemente inferior nas investigações em que foi comparada ao ensino envolvendo texto e ao ensino mediado pelo computador.

Na proposta didática discutida neste trabalho, a hipermídia foi empregada enquanto ferramenta cognitiva que permite representar o conhecimento de modo flexível, com diferentes elementos de mídia integrados em um mesmo hiperdocumento e mecanismos para propiciar o acesso ágil e sem dificuldade aos dados armazenados, facultando sua exploração

em diferentes seqüências. Buscou-se tirar proveito também dos meios que essa tecnologia oferece para motivar e despertar o interesse dos estudantes, mediante a utilização de imagens, animações, vídeos e sons. Desse modo, objetivou-se favorecer o estabelecimento de conexões significativas entre os conceitos em estudo e a estrutura cognitiva dos estudantes, e tornar a aprendizagem mais estimulante e agradável.

Embora a hipermídia apresente diversas vantagens para se lidar com a informação, podem ser identificadas algumas desvantagens que devem ser enfrentadas na elaboração e utilização desses sistemas. A existência de aspectos desfavoráveis tem motivado o desenvolvimento de novas técnicas e interfaces visando a minimizá-los.

A hipermídia aplicada à educação possui potencial para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem, mas também apresenta dificuldades que devem ser consideradas objetivando o reconhecimento de seus limites e seu uso adequado.

Marchionini (1988) identifica 3 categorias principais de problemas relacionados aos sistemas hipermídia educacionais: quanto à alfabetização, quanto ao ambiente de aprendizagem e quanto ao ambiente de ensino.

Os problemas quanto à *alfabetização* relacionam-se ao fato de que leitura e escrita de textos na forma eletrônica, em um meio organizado de modo não-linear, reunindo imagens, animações, vídeos e sons, requer novas estratégias e habilidades. Esses aspectos necessitam ser dominados pelos professores e ensinados aos estudantes para que ocorra a alfabetização digital, com aprendizado da linguagem utilizada nos sistemas hipermídia.

Os problemas da hipermídia relacionados ao *ambiente de aprendizagem* compreendem:

a) *Desorientação*. Os estudantes podem ficar desorientados devido à grande quantidade de informações disponíveis no banco de dados e, além disso, as estruturas que necessitam ser adicionadas para o gerenciamento da informação, como por exemplo índices

sofisticados, trazem uma sobrecarga cognitiva adicional aos novatos e usuários eventuais. Outra causa da desorientação deve-se à estrutura não-linear do hipertexto, que possibilita o acesso a temas relacionados à linha principal de estudo por meio de *links*, mas pode gerar esquecimento quanto aos objetivos principais da exploração em andamento, com perda da noção de localização no hipertexto. A desorientação também ocorre devido à dificuldade em se avaliar quantidade e extensão em um ambiente virtual como a hipermídia, ao contrário de meios tais quais um livro, em que o *feedback* é mais direto, a partir de referências físicas. Segundo Clunie e Souza (1994), o estudante pode ter também dificuldade para encontrar as informações que deseja devido ao fato de os sistemas hipermídia, em geral, fornecerem pouca informação sobre o conteúdo de um nó acessível a partir de determinado *link*, utilizando apenas uma ou poucas palavras para designar a conexão e proporcionando pouca noção de contexto para a busca.

b) *A tirania das ligações*. Clunie e Souza (1994) consideram que a existência de uma quantidade muito grande de *links* pode trazer dificuldades para a *navegação* e a tomada de decisão sobre quais conexões realizar, ocasionando o problema da tirania das ligações.

c) *Sobrecarga cognitiva*. Segundo Lucena (1994), a hipermídia proporciona ampla liberdade e grande percentual de controle por parte do estudante, o que pode deixá-lo confuso diante do aumento da exigência quanto à tomada de decisões, com a necessidade de escolher constantemente quais as conexões a serem feitas e quais devem ser ignoradas, gerando um problema de sobrecarga cognitiva.

d) *Distração*. A grande quantidade de informações acessível facilmente com o *click* do *mouse* pode fazer com que o estudante desvie sua atenção do conteúdo principal, envolvido com informações de interesse secundário, e até mesmo induzi-lo a realizar interpretações equivocadas.

e) *Progresso tecnológico*. Pode haver problemas ergonômicos devido à resolução deficiente das telas de computador, a periféricos difíceis de usar e à inexistência de planejamento da estrutura do local de trabalho, incluindo os móveis, o que pode afetar o desempenho dos estudantes. Também há a exigência de equipamentos de *hardware* com maior velocidade e memória para lidar com gráficos, vídeos e sons de alta definição e possibilitar o acesso rápido aos *links*, demandando maior investimento financeiro.

f) *Psicologia e sociologia humana*. Resistência às inovações trazidas pela tecnologia, as quais ocorrem de modo incessante, trazendo sempre novos equipamentos, *softwares*, interfaces e novas maneiras de se ensinar, aprender e pensar.

Os problemas da hipermídia relacionados ao *ambiente de ensino* englobam:

a) *Princípios e métodos para a elaboração de hiperdocumentos exemplares*. A elaboração de hiperdocumentos com razoável qualidade exige conhecimentos e técnicas específicas que a maioria dos professores não possuem, além de demandar bastante tempo. Também não é claro como os princípios tradicionais de *design* e estilo aplicam-se aos hiperdocumentos.

b) *Gerenciamento do ensino em meios eletrônicos*. O gerenciamento do ensino com a utilização da hipermídia em conjunto com outros recursos de sala de aula tende a ser mais complexo. Pode ser necessário utilizar um tempo valioso da aula para atender a problemas específicos do sistema, ao invés daqueles relacionados ao conteúdo do curso. As discussões na classe a partir de caminhos percorridos pelos alunos em um banco de dados podem gerar esclarecimentos ou interpretações inadequadas, que modificam a rotina das aulas. O trabalho com computadores conectados em rede exige que as contribuições acrescentadas pelos alunos no sistema sejam constantemente recuperadas e avaliadas, ampliando a sala de aula para além dos limites físicos. As aulas tendem a mudar a ênfase da

aprendizagem de fatos para a síntese e avaliação, podendo gerar inicialmente ansiedade nos professores e forçar que reavaliem seus papéis no processo educacional.

c) *Criação de tarefas e atividades.* Um dos possíveis benefícios da hipermídia para a educação é permitir ao aluno a tomada constante de decisões a cada *link*, criando livremente seus próprios caminhos pela informação, realizando interpretações e sínteses. Entretanto, torna-se complexo estabelecer tarefas com objetivos claros a serem atingidos em meios altamente interativos, pois é difícil antecipar todas as possíveis alternativas para as interações. Essa dificuldade também se verifica quando os objetivos requerem o uso de habilidades de pensamento de ordem superior, aplicadas em geral a problemas complexos ou subjetivos. As atividades indicadas pelos princípios de instrução tradicionais nem sempre são as mais adequadas para o uso da hipermídia. As tarefas e atividades propostas devem ajudar o estudante a adquirir a disciplina, a responsabilidade e o propósito para explorar um hiperdocumento com liberdade, mas de modo efetivo e eficiente.

d) *Avaliação dos materiais e da aprendizagem.* São necessários o desenvolvimento e a utilização de novos critérios para a avaliação da qualidade de sistemas hipermídia, pois os princípios existentes para a avaliação de livros impressos nem sempre são apropriados ou suficientes para um meio eletrônico. Se os objetivos das tarefas com a hipermídia estão relacionados a processos e interações, torna-se necessário também inventar novas estratégias de avaliação da aprendizagem dos estudantes compatíveis com essas finalidades.

Clunie e Souza (1994) e Lucena (1994) indicam também as seguintes dificuldades e problemas relacionados, de modo geral, aos sistemas hipermídia:

a) *O volume crescente de informações:* o aumento contínuo das informações geradas, ocasionando dificuldades para a filtragem da informação útil daquela irrelevante ou redundante, o que é mais notável, sobretudo, na *Internet*.

b) *Problemas de manutenção*: a modificação do hiperdocumento, mediante o deslocamento de um texto para outra posição, ou a exclusão deste, por exemplo, pode exigir muito esforço no processo de manutenção de sistemas hipermídia com grande quantidade de *links*, ou mesmo torná-lo inviável.

c) *Questões sobre a propriedade intelectual*: a legislação envolvendo os direitos da propriedade intelectual em sistemas hipermídia ainda não está bem constituída, sendo necessário estar ciente dos direitos autorais relativos aos textos, às ilustrações, às animações, aos filmes e aos sons incorporados em um sistema hipermídia.

d) *Questões de compatibilidade*: a ausência ainda de padrões globais no desenvolvimento de sistemas hipermídia, fazendo com que os hiperdocumentos desenvolvidos com o auxílio de um *software* de autoria não possam ser utilizados em outro *software* análogo.

Para contornar os problemas existentes com os sistemas hipermídia, vêm sendo desenvolvidas diversas estratégias, dentre as quais:

a) O aperfeiçoamento dos instrumentos de *navegação* pelo banco de dados, incluindo mapas globais e locais relativos aos *links* existentes entre os nós do hiperdocumento e o armazenamento dos caminhos percorridos pelo usuário, possibilitando que este retorne tela a tela pela trilha que percorreu. Também é possível que, antes de optar por ativar um determinado *link*, o usuário receba do sistema uma descrição resumida sobre o conteúdo do nó de destino. Outra estratégia é a utilização de técnicas de busca por palavras-chave, para a localização de nós com a informação desejada.

b) A adição de estruturas ao sistema hipermídia tais como excursões orientadas, para evitar a distração.

c) A elaboração de sistemas hipermídia capazes de ativar ou desativar *links* automaticamente, conforme o contexto da *navegação* realizada pelo usuário, e que

apresentem a estrutura e o tipo das conexões de modo claro, possibilitando contornar o problema da tirania das ligações.

d) O planejamento do ambiente em que estarão sendo desenvolvidas as atividades com o computador, de modo a torná-lo mais adequado ao trabalho educacional, e o desenvolvimento de equipamentos e interfaces amigáveis, para facilitar a interação com a máquina.

e) O desenvolvimento de *softwares* de autoria que exigem pouco conhecimento de programação e apresentam recursos para facilitar a composição das telas, o estabelecimento de *links* e a definição das interações possíveis, tornando acessível o processo de autoria aos professores.

f) A melhoria dos projetos de sistemas hipermídia, para possibilitar a manutenção automatizada e eficiente, em que o próprio computador é capaz de atualizar as ligações envolvidas ao se efetuar mudanças de posição de nós ou exclusões de texto.

Na elaboração do *software* educacional avaliado neste trabalho, para se atenuar alguns dos obstáculos associados ao uso da hipermídia, notadamente os relacionados à desorientação, tirania das ligações e sobrecarga cognitiva, cuidou-se para que a interface criada fosse amigável e propiciasse fácil *navegação* pelo hiperdocumento.

A estruturação desse sistema hipermídia em módulos, acessíveis a partir da tela de abertura do programa e nos quais foram reunidos textos sobre temas afins, teve em vista a diminuição da desorientação. Cada módulo foi não só caracterizado por assuntos de natureza similar, mas também diferenciado dos demais com a utilização de uma cor própria para a apresentação dos textos e a execução de música de fundo específica. Além disso, no canto superior esquerdo de cada tela foi posicionado um ícone que identifica o módulo onde o estudante se encontra e o título do texto em estudo. O sistema foi provido também, como mencionado antes, de um mapa de *navegação* que mostra graficamente todos os textos do

hiperdocumento e os *links* entre estes. O mapa do *software* indica o texto atual que está sendo explorado pelo leitor e permite acessar qualquer documento diretamente. Faz parte ainda do sistema de *navegação* um botão sempre exibido no canto inferior esquerdo da tela, em uma barra de controle, o qual permite a volta ao texto anteriormente explorado. Outro recurso dessa barra é um ícone situado à direita, que possibilita seguir imediatamente à tela de abertura do programa.

Procurou-se abrandar a tirania das ligações e a sobrecarga cognitiva com a criação de *links* que proporcionassem ao aluno a movimentação, de modo simples, ao longo da hierarquia conceitual do *software*, com o favorecimento de percursos a partir de textos com conceitos mais genéricos, em direção àqueles contendo informações mais específicas, ou o retorno através desses trajetos.

Os efeitos decorrentes das deficiências dos sistemas hipermídia educativos e dos problemas quanto ao seu uso podem ser minimizados mediante aperfeiçoamentos relativos ao *software*, ao *hardware* e ao ambiente de aprendizagem envolvidos. Ainda assim, ao professor cabe um papel importante para reduzir esses empecilhos, o qual pode incluir:

a) Orientar os estudantes na busca do conhecimento e fornecer informações que ajudem os autores de hiperdocumentos a atenuar a desorientação.

b) Examinar com os estudantes estratégias para a filtragem da informação e enfatizar os objetivos principais a serem atingidos com determinado estudo, a fim de se evitar a distração.

c) Explorar o interesse do estudante ao deparar com alguma informação adicional sobre o tema de estudo, cuja discussão não estava prevista, mas poderia contribuir para a aprendizagem, aproveitando o potencial oferecido pela variedade de informações do banco de dados e a facilidade para acessá-las.

d) Atuar como elemento fomentador da utilização de novas tecnologias e estratégias de ensino que possam trazer benefícios para a área educacional, buscando a própria atualização quanto aos avanços nesse campo de modo permanente.

e) Reavaliar sua atuação no processo de ensino e aprendizagem, definindo estratégias de ensino e avaliação mais adequadas diante das modificações introduzidas com a hipermídia.

Na proposta metodológica discutida neste trabalho, em particular, constituíram ações relevantes do professor a indicação aos alunos de trilhas ou seqüências de telas para se explorar o hiperdocumento e a ênfase às metas a serem atingidas em cada aula. Desse modo, buscou-se amenizar possíveis problemas de desorientação, tirania das ligações, sobrecarga cognitiva e distração. Uma postura pertinente adotada foi a de procurar valorizar as informações colocadas em debate pelos estudantes a partir da exploração do material didático, buscando-se aproveitá-las para ampliar as discussões e favorecer a aprendizagem.

Segundo Lévy (1996), uma desvantagem da hipermídia quando comparada a meios clássicos de escrita pode ser percebida ao se analisar um jornal, por exemplo. Este se encontra todo em *open field*, já quase inteiramente desdobrado, possibilitando o exame da informação com um sobrevôo e proporcionando uma visão geral do conteúdo até a escolha de um item que desperte a atenção. A interface informática na tela do computador, por outro lado, apresenta o texto de modo extremamente redobrado, disponibilizando somente uma superfície muito pequena para o acesso à informação em um mesmo instante.

Apesar disso, como considera Lévy (1996, p. 36), existem as seguintes compensações para os inconvenientes da consulta pela tela, que se disseminaram em informática durante os anos oitenta e são consideradas princípios básicos da interação amigável, possibilitando a elaboração e expansão dos sistemas hipermídia:

a) “a representação figurada, diagramática ou icônica das estruturas de informação e dos comandos (por oposição a representações codificadas ou abstratas)”.

b) “o uso do ‘mouse’ que permite ao usuário agir sobre o que ocorre na tela de forma intuitiva, sensoriomotora e não mediante o envio de uma seqüência de caracteres alfanuméricos”.

c) “os ‘menus’ que mostram constantemente ao usuário as operações que ele pode realizar”.

d) “a tela gráfica de alta resolução”.

Avanços tecnológicos devem contribuir para que a consulta aos sistemas hipermídia se torne ainda mais fácil e cômoda. Dispositivos como o CD-ROM e o *pen drive* já permitem armazenar grandes quantidades de informação em um espaço reduzido. Leitores laser miniaturizados e telas planas ultraleves são também uma realidade, facultando o transporte fácil dos hiperdocumentos e o seu acesso em praticamente qualquer local.

A pesquisa sobre a hipermídia e suas aplicações deve viabilizar o surgimento de novas soluções relacionadas à sua utilização, incluindo os aspectos técnicos ligados ao armazenamento e recuperação mais eficientes da informação. Isso possibilitará o estabelecimento de princípios mais claros e efetivos para a elaboração e avaliação de hiperdocumentos educacionais, a formulação de novas estratégias para a realização de atividades em sala de aula e a implementação de maneiras alternativas para se aferir o desenvolvimento cognitivo dos estudantes, otimizando o ensino e a aprendizagem com a hipermídia.

Embora a hipermídia forneça novas perspectivas para a educação, são múltiplos os fatores que intervêm sobre o processo de ensino e aprendizagem com seu emprego. Essa tecnologia deve ser entendida na condição de ferramenta que, para favorecer a aprendizagem, precisa ser utilizada considerando-se criteriosamente a natureza complexa do processamento de informação realizado pelo ser humano (HEDE, 2002).

5.6 Hipermídia e princípios ausubelianos de ensino e aprendizagem

A hipermídia permite a elaboração de propostas educacionais compatíveis com o conceito de aprendizagem significativa e com os princípios de ensino e aprendizagem derivados da teoria de Ausubel e das pesquisas em Educação para a Ciência (MACHADO; NARDI, 2004).

O hipertexto possibilita projetar uma rede conceitual na qual os *links* podem favorecer, ao máximo, conexões não-arbitrárias e significativas para os estudantes, visando à aprendizagem significativa.

Imagens, animações e filmes podem ser utilizados para tornar os temas de estudo mais próximos dos estudantes e favorecer a ancoragem de conceitos na estrutura cognitiva. É possível a inclusão de *links* para a exposição de materiais que propiciem uma ligação entre os conhecimentos prévios do estudante e as novas idéias a serem expostas, possibilitando o acesso a organizadores prévios quando necessário. Podem ser criadas trilhas – seqüências de telas – em que os conceitos são apresentados em grau crescente de especificidade, conforme o princípio de diferenciação progressiva. *Links* particulares podem ser estabelecidos para indicar semelhanças e diferenças entre conceitos, quando conveniente, de modo a promover a reconciliação integrativa. A flexibilidade dos *links* permite ao estudante retomar assuntos prévios relacionados ao item atual em estudo sempre que desejar. Os *links* no hipertexto podem ainda ser estabelecidos para possibilitar o acesso a idéias complementares, segundo o interesse despertado nos estudantes, estimulando a aprendizagem incidental.

Em pesquisa analisando a relação entre a estrutura de um hipertexto e as formas de aprendizagem proporcionadas, Bolacha e Amador (2003) verificaram a tendência de uma organização hipertextual *hierárquica* facilitar a obtenção de informações, evitando a desorientação; a classificação de conceitos; a aprendizagem significativa subordinada e

superordenada. Por outro lado, constataram que esse tipo de estrutura tende a dificultar raciocínios de tipo explicativo nos quais é necessário relacionar conceitos pertencentes a categorias ontológicas distintas.

Bolacha e Amador (2003) verificaram ainda que uma organização hipertextual *segmentada* ou *em rede* tende a colaborar para a ocorrência de aprendizagem significativa combinatória por favorecer o estabelecimento de relações entre conceitos de hierarquias diferentes. Porém, esse tipo de estrutura tende a dificultar o acesso à informação muito específica, devido à maior complexidade dos percursos propiciados.

Uma alternativa intermediária quanto à estrutura é definir módulos nos quais temas afins sejam agrupados e organizados segundo uma hierarquia, e criar *links* que favoreçam a exploração de textos em uma ordem na qual os conceitos são progressivamente diferenciados. Porém, ao mesmo tempo, pode-se possibilitar também a exploração em rede, a partir de *links* relevantes que podem ser acessados a qualquer momento. Essa seria uma forma de aproveitar as potencialidades existentes tanto nos sistemas segmentados quanto nos hierárquicos e foi adotada no *software* didático avaliado neste trabalho.

A exploração adequada de um sistema hipermídia elaborado com finalidades educacionais envolve a orientação propiciada por um professor que conhece em profundidade os conceitos contidos nos hiperdocumentos e as relações existentes entre estes, podendo sugerir trilhas segundo uma seqüência fundamentada em princípios de aprendizagem e também incentivar a livre exploração de associações possíveis mediante os *links* disponíveis. Para favorecer esse processo, a estrutura hipertextual deve ser organizada de forma planejada, considerando cuidadosamente as propriedades desses sistemas e as questões pedagógicas necessárias.

A rede conceitual estruturada em um sistema hipermídia de modo a constituir o máximo de associações significativas pode, desse modo, ser gradualmente reconstruída pelo

estudante, respeitando suas idiossincrasias. Nesse processo, a problematização, os debates e a orientação realizados pelo professor são fundamentais para a consecução dos objetivos pedagógicos (BASTOS; NARDI; DINIZ, 2001).

5.7 Desenvolvimento de sistemas hipermídia

A produção de sistemas hipermídia requer uma série de considerações englobando, de modo geral, a seleção do material a ser apresentado, sua estruturação em nós do hipertexto, a efetivação de ligações relevantes entre os nós, a elaboração do projeto gráfico e sonoro e o estabelecimento de recursos para a *navegação* no banco de dados. Além disso, envolve questões relativas à área do conhecimento abordada e ao público alvo a que se destinam. Ponderações quanto a esses pontos fizeram parte do processo de implementação do *software* para o ensino de Física Moderna proposto neste trabalho.

Jonassen (1986) considera as seguintes etapas no desenvolvimento de um sistema hipermídia:

a) *Identificação dos conceitos-chave*. Identificação dos conceitos que se tornarão blocos de tela e telas, visando a constituir a estrutura conceitual do hipertexto, um aspecto fundamental do sistema hipermídia. Um método possível é o de associação livre de palavras, pelo qual o autor lista os conceitos-chave de um determinado setor do conhecimento e, para cada conceito listado, associa livremente todas as outras idéias relacionadas pertencentes ao tema tratado, identificando as que sejam necessárias para o usuário compreender o material. É possível a consulta a glossários, índices ou especialistas no assunto para apoiar essa tarefa. Pode ser necessário eliminar redundâncias e termos irrelevantes da lista final. Como resultado, deve-se obter a lista de conceitos que constituirão os nós do sistema hipermídia.

b) *Mapeamento da estrutura do conteúdo*. Determinação das inter-relações existentes entre os conceitos do sistema hipermídia. Podem ser usadas técnicas de mapeamento cognitivo para se formar o mapa da estrutura de conteúdo do sistema, ajudando na identificação de inter-relações entre conceitos e, conseqüentemente, no estabelecimento de *links* entre os nós.

c) *Verificação da estrutura*. Reavaliação do mapeamento dos conceitos, a partir de comparações com um mapa da estrutura do conteúdo feito por um especialista no assunto, com a mesma técnica usada pelo autor.

d) *Determinação do tipo de estrutura do sistema hipermídia*. Decisão quanto ao tipo de estrutura a ser impressa no sistema hipermídia, com a escolha das modalidades de telas a serem usadas para cada conceito e a determinação de suas relações com outros blocos conceituais e hipertextos, segundo uma hierarquia ou não, refletindo o máximo possível o mapa do conteúdo estabelecido anteriormente.

e) *Preparação dos blocos conceituais*. Redação do texto de cada uma das telas dos blocos conceituais e verificação de seu conteúdo.

f) *Estabelecimento de conexões com outros conceitos*. Determinação do método pelo qual as telas de cada bloco e os blocos conceituais dentro do hipertexto serão conectados. Isso pode envolver o uso de um índice de termos para busca, marcadores no texto para a mudança de tela ou rolagem do texto, *menus* com opções ou áreas ativas do texto que podem ser escolhidas pelo usuário.

g) *Revisão do sistema*. Revisão de cada uma das telas e conexões do sistema, com este em funcionamento, verificando se há falhas e corrigindo-as quando identificadas.

Langford (1993) aborda três pontos importantes no desenvolvimento de um hiperdocumento:

a) *Identificação dos propósitos do hiperdocumento*. Considerar se existem métodos alternativos para a apresentação do material; se a implementação está adequada às políticas em vigor; se já existem linhas gerais a serem observadas; se há facilidades técnicas e de pessoal para a implementação; e se o documento é viável dentro de parâmetros definidos, incluindo questões de custo.

b) *Identificação dos usuários do hiperdocumento*. Identificar o perfil dos usuários em potencial do hiperdocumento, o que requer alguma pesquisa para se conhecer suas opiniões, interesses, necessidades e exigências.

c) *Identificação dos parâmetros que afetam o planejamento e a implementação do hiperdocumento*. Considerar questões de planejamento tais quais a quantidade de informação a ser incluída; o número de *links* a serem introduzidos; a possibilidade de se adicionar mais informação posteriormente; o número de usuários simultâneos; a duração média de cada acesso ao hiperdocumento; se os usuários possuem nível semelhante de conhecimento. Considerar questões de implementação tais como recursos financeiros e de pessoal; o tempo disponível para o planejamento, desenvolvimento e testagem; os equipamentos (*software* e *hardware*) existentes. Deve-se prever também custos e exigências para a ulterior manutenção do hiperdocumento, que podem superar aqueles requeridos para sua construção.

Segundo Morariu (1988), o desenvolvimento de um sistema hipermídia para a educação envolve a identificação e especificação de diversos componentes, dentre os quais podem ser destacados:

a) *Características do estudante*. Informações básicas sobre o estudante, incluindo seu conhecimento prévio, estilo de aprendizagem e motivação.

b) *Metas e objetivos*. Detalhamento pleno do contexto do ambiente instrucional e dos resultados que se espera alcançar.

c) *Modelo pedagógico*. O método utilizado para ensinar o conteúdo.

d) *Navegação*. O projeto de interface com o usuário que define a maneira de se movimentar pelo sistema (por exemplo, considerando a existência de excursões predeterminadas, os recursos para o usuário poder reconhecer onde se encontra, a possibilidade de voltar facilmente à tela anterior, a utilização de ícones ou digitação de palavras-chave para a *navegação* e seleção da informação).

e) *Estrutura*. A organização global da informação (por exemplo, hierárquica com tópicos e subtópicos, ou associativa com *links* por palavras ou ícones).

f) *Formato*. As modalidades de mídia para apresentar o conteúdo (por exemplo, textos, gráficos, animações, áudio, imagens estáticas e vídeos).

g) *Conteúdo*. As informações e os tópicos a serem efetivamente incluídos no sistema e explorados pelo estudante.

Peterson e Orde (1995) estabeleceram as seguintes recomendações para a realização de atividades com a hipermídia educacional, a partir de um projeto efetivado no Ensino Médio:

a) É recomendável que um processo formal de planejamento instrucional seja seguido, levando-se em conta o conhecimento prévio dos estudantes, sua maturidade e outras características destes, buscando adaptar-se às suas preferências de aprendizagem.

b) Avaliação formativa é essencial, testando-se os materiais e métodos com especialistas no assunto, indivíduos e pequenos grupos antes de um estudo piloto ser feito. O *software* a ser utilizado deve ser escolhido ou desenvolvido considerando-se as capacidades e características do usuário em potencial. O *software* deve ser testado quanto ao apelo motivacional e eficiência.

c) Durante o estágio de avaliação formativa, questões ambientais tais como mobília, iluminação e ambientação devem ser consideradas em conjunto com materiais e métodos instrucionais. As estações de trabalho devem ser confortáveis e ergonômicas, e

necessitam ser testadas pelo fato de constituírem um grande investimento. As luzes devem ser adequadas, sem ocasionar ofuscamento. Uma atmosfera agradável tende a gerar atitudes positivas e trabalho produtivo.

d) O tempo em tarefa e em exploração devem ser previstos. Os estudantes podem beneficiar-se de uma programação flexível que disponibiliza tempo para a exploração em profundidade e maiores níveis de realização.

e) Estabelecer uma seqüência didática com metas de longo e curto prazo facilita o planejamento diário das lições, possibilitando organizar atividades relevantes. A eficiência dos materiais e métodos utilizados depende de um plano de ensino compreensível, seguido de eventos de aprendizagem distribuídos de modo apropriado.

f) Quando o ensino for feito em equipe, o gerenciamento bem sucedido da sala de aula e dos estudantes é primeiramente uma questão de comunicação adequada. Todos devem estar informados sobre mudanças na programação e no planejamento de ensino, e saber o que está ou não funcionando. A comunicação rotineira permite que todos contribuam para resolver os problemas encontrados, tais quais os relacionados ao gerenciamento da turma, ao *hardware* e ao *software*.

g) O *hardware* deve ser selecionado com base em sua capacidade de viabilizar a implementação do currículo e sua aplicabilidade no ambiente escolar.

No desenvolvimento e aplicação de um *software* educacional, um ponto essencial é a definição do modelo pedagógico a ser adotado para o planejamento das características que o *software* apresentará e para especificar o modo de utilizá-lo em sala de aula.

Como considera Lindstrom (1996), uma etapa importante na implementação de um sistema hipermídia é a elaboração do *projeto de telas* ou *mapa de estrutura interativo*, um esquema com indicação dos conteúdos e da estrutura de cada uma das telas ou documentos que comporão o sistema, incluindo textos, gráficos, imagens, sons, animações, botões de

acionamento, possibilidades de interatividade com o usuário e também as ligações a serem estabelecidas entre cada um dos nós, caracterizando a estrutura hipertextual.

O projeto de telas abrange o *projeto gráfico*, que consiste na seleção e distribuição adequada dos diversos elementos gráficos na tela, tais como títulos, ilustrações, fundos, cores e texturas, e estudos sobre as animações e vídeos a serem utilizados. Engloba também o *projeto de som*, para se estabelecer os efeitos sonoros, músicas ou narrações de modo integrado com as imagens. Isso é feito objetivando obter o melhor efeito durante a exploração da informação pelo usuário, pois cada modalidade de mídia apresenta características bem peculiares, constituindo diferentes linguagens que desencadeiam efeitos distintos sobre o receptor da mensagem.

O processo de construção de um hiperdocumento é denominado autoria, pois freqüentemente envolve mais do que escrita, exigindo a composição de textos, imagens, vídeos, animações e sons para a elaboração dos nós e o estabelecimento de conexões entre estes.

Para apoiar essa tarefa, existem os chamados *softwares de autoria*, que reúnem um conjunto de ferramentas para auxiliar o autor em seus objetivos, tornando mais prática e rápida a realização das etapas necessárias. Atualmente existem *softwares* de autoria que dispensam até mesmo o conhecimento de uma linguagem de programação.

As últimas versões desses programas incluem facilidades para a publicação na *Internet*, podendo ser utilizados para o desenvolvimento de aplicativos para CD-ROM, apresentações, demonstrações ou tutoriais, simulações, produtos para entretenimento e títulos para a educação. Tais programas possibilitam criar aplicações com alto grau de interatividade, em que há uma troca de informações contínua entre o computador e o usuário.

Os *softwares* de autoria facultam, em geral, a *importação* dos vários elementos de mídia para compor um nó, gerados em programas externos denominados *softwares de apoio à autoria*, que englobam editores de texto, de imagens, de som, de vídeo e de animação. Além disso, alguns *softwares* de autoria contêm recursos embutidos no próprio programa para

estruturar as telas de um hiperdocumento, permitindo a redação de textos, a elaboração de desenhos simples e a seleção de cores.

É possível buscar elementos de mídia em bancos de dados em CD-ROM ou na própria *Internet*, desde que sejam observadas as questões referentes a direitos autorais. Em alguns casos, em se tratando de projetos não-comerciais, pode-se obter autorização para utilizar material disponível em arquivos digitais, desde que citada a fonte. O *site* da Nasa na *Internet*, por exemplo, cede gratuitamente, para fins educacionais, imagens, vídeos, animações e sons relativos às pesquisas e atividades da agência.

Dentre os *softwares* de autoria existentes atualmente encontra-se o *Authorware*, em ambiente *Windows*, utilizado na implementação do sistema hipermídia para o ensino de tópicos de Física Moderna considerado neste trabalho. Produzido pela *Macromedia*, o *Authorware* apresenta ícones que podem ser arrastados com o *mouse* e posicionados em um fluxograma eletrônico para a representação da estrutura do hiperdocumento e a indicação da ordem das ações. Cada um dos ícones do fluxograma possui uma função específica, possibilitando a inserção de conteúdos, a elaboração de animações, o estabelecimento de *links* entre os nós e a incorporação de ferramentas de *navegação*. O ambiente do *software* favorece o trabalho de maneira intuitiva, arrastando-se e soltando-se elementos, embora faculte também programação em linguagem de *scripts*. Os projetos criados podem ser difundidos pela *Internet* e *intranets* com a geração de uma versão compactada da aplicação (MOURÃO, 1997).

Embora o desenvolvimento de aplicativos interativos possa ser uma tarefa complexa, o ambiente instrucional resultante deve ser fácil de se compreender e utilizar. O estudante deve poder determinar facilmente qual a informação contida no sistema hipermídia, para que a ênfase seja no conteúdo e não na operação do programa.

A elaboração de *softwares* educacionais requer, em geral, a atuação de uma equipe com diversos profissionais, envolvendo um especialista no conteúdo e métodos de

ensino (professor), um especialista em projetos gráficos (artista gráfico) e um especialista em técnicas de programação (programador). Desse modo, pode-se ter melhores condições para que o produto desenvolvido apresente qualidade instrucional, uma interface agradável e funcione corretamente, atingindo seus objetivos junto aos estudantes.

Entretanto, os novos programas de autoria em hipermídia viabilizam ao próprio professor executar as etapas necessárias para a estruturação de um aplicativo educacional com razoável qualidade, mediante recursos que facilitam a composição das telas e o estabelecimento dos *links*. Alguns *softwares* de autoria contam com funções específicas (pode-se, por exemplo, escolher modalidades de trajetórias para o movimento de um determinado objeto na tela e ativar comandos para efetuar a busca por palavras-chave no hiperdocumento), fornecem modelos (pode-se utilizar, por exemplo, botões, imagens, sons e vídeos já disponíveis no próprio sistema) e incluem ferramentas para a confecção de imagens, sons e animações.

O desenvolvimento de aplicativos hipermídia pelo próprio professor é relevante pelo fato de permitir que o material seja adaptado às necessidades e estilos de aprendizagens dos estudantes com os quais interage em determinado momento, eliminando a dependência de *softwares* que foram elaborados tendo em vista estudantes com realidades diferentes, nem sempre adequados em outro contexto.

5.8 Avaliação de sistemas hipermídia

Na avaliação de um sistema hipermídia, é preciso considerar as finalidades previstas em seu projeto, a fim de se estabelecer os instrumentos de aferição adequados e a estrutura apropriada para os testes.

Um aspecto importante relaciona-se aos efeitos e às reações que o sistema hipermídia provoca no usuário. Um *software* de boa qualidade deve ser avaliado favoravelmente pelos usuários e contribuir para que as metas estipuladas por seus idealizadores (o aprendizado efetivo de um determinado assunto, por exemplo) sejam atingidas.

Avaliar um sistema hipermídia educacional significa considerar uma série de fatores ligados à sua estrutura, ao seu funcionamento e aos efeitos sobre os estudantes e professores que o utilizarão, observando se atende aos objetivos educacionais propostos e favorece a aprendizagem.

Segundo Athayde (1990), na avaliação de *softwares* educacionais devem ser observados:

- a) A sua qualidade quanto aos aspectos intrínsecos, que incluem o conteúdo, fatores instrucionais e características técnicas.
- b) A sua contribuição para a aprendizagem dos estudantes e a relação desse aprendizado com a qualidade intrínseca.
- c) A influência de sua utilização sobre a opinião dos estudantes a respeito do curso e quanto ao trabalho do professor.

A avaliação dos sistemas hipermídia educacionais envolve, além dos aspectos técnicos da hipermídia (tais como a facilidade para a *navegação*, a rapidez de acesso à informação, a qualidade gráfica da interface, dentre outras), questões concernentes ao embasamento pedagógico adequado dos conteúdos e de sua apresentação (a abordagem instrucional utilizada, a relevância educacional dos *links* estabelecidos, a adequação ao nível de conhecimento dos estudantes e ao currículo, o estímulo ao raciocínio e à criatividade, dentre outras), e sua efetividade em motivar os estudantes, facilitar o entendimento dos

assuntos abordados e colaborar para que os conceitos expostos sejam relacionados com problemas e situações do dia-a-dia.

Para Campos (1994), a avaliação de um sistema hipermídia deve ser uma atividade permanente durante todo o ciclo de desenvolvimento do *software*, envolvendo a participação de alunos, professores, psicólogos, projetistas e programadores. A opinião de professores e alunos, futuros usuários do programa, é fundamental na avaliação do hipermídia educacional, pois o produto final deve atender às suas necessidades e interesses, e estar compatível com seu nível de habilidade e conhecimento.

Dentre os métodos existentes para a avaliação de um sistema hipermídia, Langford (1993) considera os seguintes:

a) *Observação direta*. Esse método auxilia na obtenção de informações sobre o comportamento dos sujeitos durante a utilização do sistema. A observação deve ser discreta e não parecer óbvia aos sujeitos de teste, para que as respostas não sejam influenciadas. Pode envolver um observador discreto com um *notebook*, ou mesmo câmeras de vídeo, para uma posterior análise detalhada quadro-a-quadro.

b) *Monitoramento de fundo*. Isso é possível em sistemas nos quais são registradas pelo computador as interações realizadas pelo usuário com o *mouse* e o teclado, tais como pressionar um botão, abrir uma janela e o tempo gasto em cada nó. Desse modo, pode-se estudar devagar e detalhadamente, em um período posterior, as ações dos sujeitos, realizando-se comparações com seus relatórios verbais ou escritos, que nem sempre refletem exatamente suas ações. Uma desvantagem desse método é a dificuldade em se extrair a essência da informação a partir de uma quantidade de dados gerados muito grande.

c) *Questionamento verbal*. Mediante perguntas diretas aos sujeitos, verbalmente, pode-se obter respostas esclarecedoras, capazes de encurtar o caminho entre suposições e a realidade e possibilitar também a confirmação de informações obtidas por outros métodos.

Entretanto, essa estratégia apresenta inconvenientes, pois os sujeitos podem responder procurando atender ao que o interlocutor quer ouvir, ao invés de expressarem seu próprio ponto de vista; não há tempo para considerar a pergunta quando se exige uma resposta verbal imediata; pode haver mal-entendidos sobre a pergunta e a resposta; e é difícil formular a mesma questão exatamente da mesma forma, o que é importante quando se deseja comparar as respostas.

d) *Questionários formais*. Um questionário formal especialmente elaborado e testado pode ser utilizado para obter as opiniões dos estudantes sobre um conjunto de itens relativo ao sistema. Esse método possibilita a reunião de informações específicas que podem ser analisadas e comparadas, inclusive com o emprego de procedimentos matemáticos. As questões podem ser compostas e arranjadas cuidadosamente visando a reduzir possíveis influências da técnica de investigação sobre o sujeito.

e) *Testes envolvendo um período anterior e posterior*. Método indicado quando se espera que o sistema hipermídia contribua para o usuário assimilar conceitos ou aperfeiçoar aptidões, especialmente em atividades educacionais. Um modo de utilizá-lo é mensurar o nível de conhecimento ou habilidade dos usuários antes do uso do hipermídia e depois de seu uso. Comparando-se os dois resultados, é possível realizar inferências sobre a funcionalidade do sistema. Uma dificuldade associada a esse método é que o próprio ato de medir o conhecimento tende a alertar os sujeitos sobre pontos importantes e afetar os resultados. O tempo destinado à exploração do sistema também pode exercer influência sobre os resultados.

Para uma avaliação adequada de um *software* educacional, torna-se importante que, durante o seu desenvolvimento, este seja testado por alunos e professores representativos do grupo ao qual o programa se destina. A realização de testes preliminares pode auxiliar o planejamento do teste final.

Na avaliação da qualidade do *software* para o ensino de Física Moderna considerado neste trabalho, foi empregado um conjunto de métodos a fim de tornar o processo mais confiável, incluindo a observação direta, o questionamento verbal, questionários formais e testes envolvendo um período anterior e posterior, com a participação de pesquisadores, professores em formação e estudantes.

As informações analisadas neste capítulo forneceram subsídios para embasar e orientar a implementação, utilização e avaliação desse sistema hipermídia educacional, de modo compatível com o construtivismo cognitivista ausubeliano e as pesquisas em Educação para a Ciência, numa abordagem em que se busca a integração ativa e significativa de novos conceitos à estrutura cognitiva do estudante.

O modo como essas idéias foram aplicadas no caso da proposta didática examinada nesta tese será mais especificado no próximo capítulo. Serão apresentados os procedimentos utilizados no desenvolvimento e na aferição da qualidade do sistema hipermídia para o ensino de tópicos de Física Moderna na escola de nível médio e os resultados da avaliação desse recurso instrucional por pesquisadores da área de Ensino de Ciências e estudantes de um curso de licenciatura em Física. Será exposta também a metodologia adotada para investigar a construção de conceitos científicos e sobre Ciência com a utilização desse *software* educacional, em conjunto com os resultados mais relevantes obtidos ao se empregá-lo numa turma com alunos do Ensino Médio.

6 O ENSINO DE FÍSICA MODERNA COM A HIPERMÍDIA

O foco deste trabalho é a elaboração de uma proposta para a introdução da Física Moderna no Ensino Médio com a hipermídia e o estudo da construção de conceitos científicos e sobre a natureza da Ciência com o emprego dessa abordagem. A investigação fundamenta-se na Teoria da Aprendizagem de Ausubel, em propostas para a inserção da Física Moderna no Ensino Médio debatidas no âmbito do movimento Ciência-Tecnologia-Sociedade e em orientações para a implementação e avaliação de sistemas hipermídia.

Neste capítulo, será apresentada a metodologia utilizada em cada uma das etapas da pesquisa e os resultados obtidos. A primeira etapa consistiu na elaboração de um sistema hipermídia dotado de características que pudessem favorecer a alfabetização científica e a aprendizagem significativa de conceitos de Física Moderna. A segunda etapa correspondeu à avaliação, por pesquisadores da área de Ensino de Ciências e estudantes de um curso de licenciatura em Física, do protótipo desenvolvido. A terceira etapa diz respeito à avaliação da construção de conceitos com o apoio do *software* hipermídia proposto, a partir de uma situação em sala de aula.

6.1 Desenvolvimento de um sistema hipermídia para o ensino de Física Moderna

O sistema hipermídia denominado *Tópicos de Física Moderna* constitui uma proposta de recurso didático para o Ensino Médio compatível com as práticas construtivistas. Foi preparado tendo em vista a introdução à Física Moderna com ênfase em conceitos básicos da Teoria da Relatividade e fenômenos nucleares que permitem exemplificar a idéia de

equivalência entre massa e energia, abordando-se também temas tecnológicos, sociais, históricos e filosóficos.

A primeira versão desse *software* educacional foi implementada ao longo de um período de 16 meses, de janeiro de 2004 a abril de 2005. A versão final foi obtida após a realização de ajustes sugeridos por pesquisadores e licenciandos que avaliaram o programa.

Para programar o *software*, foi utilizado o sistema de autoria *Authorware*, descrito sucintamente no capítulo 5, o qual possibilita o desenvolvimento de ambientes hipermídia interativos e acessíveis a partir de CD-ROMs ou da *Internet*.

No projeto para a elaboração do sistema hipermídia foram definidos os tópicos a serem incluídos; as inter-relações entre os textos; os elementos de mídia para compor o ambiente virtual; o *layout* das telas.

Foram selecionados tópicos para compor o *software* objetivando-se a construção das seguintes idéias pelos estudantes: invariância das leis da Física em referenciais inerciais; constância da velocidade da luz no vácuo; dilatação dos tempos; contração das distâncias; momento linear relativístico; energia relativística; equivalência massa-energia; princípio da equivalência; buraco negro; onda gravitacional; fissão nuclear; fusão nuclear; radioatividade; caráter provisório e descontínuo do conhecimento científico; programa de pesquisa; relações entre Ciência e Ética; relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente.

A escolha desses conteúdos foi realizada tendo enquanto referência a lista consensual com 18 tópicos de Física Moderna para o Ensino Médio elaborada por Ostermann e Moreira (1998 *apud* OSTERMANN; MOREIRA, 2000b) a partir de um estudo *Delphi* que envolveu a opinião de físicos, pesquisadores em Ensino de Física e professores de Física do Ensino Médio. Visando a contribuir para a compreensão quanto à natureza da Ciência e a visão da Física enquanto Cultura, também foram propostos tópicos considerando-se a História

da Ciência; a Filosofia da Ciência; as inter-relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente.

Os textos do *software* foram redigidos a partir da pesquisa bibliográfica em diversas fontes de informação, incluindo livros técnicos e de divulgação científica, revistas especializadas e jornalísticas, e *sites* da *Internet*. Procurou-se adequar a abordagem ao terceiro ano do Ensino Médio, concentrando-se mais em aspectos conceituais e utilizando-se pouca Matemática. Adotou-se a estratégia de evidenciar os limites da Física Clássica e explicitar suas diferenças em relação à Física Moderna, com o intuito de favorecer a ligação entre conceitos clássicos familiares aos estudantes e aqueles trazidos pelas teorias atuais.

Pressupõe-se que, ao utilizar o *software*, os estudantes já tenham adquirido alguns conceitos básicos de Física Clássica: partícula; referencial; espaço; tempo; velocidade; massa; força; trabalho; energia; momento linear; momento angular; calor; temperatura; carga elétrica; potencial elétrico; corrente elétrica; leis de conservação; campo; onda. Embora esses tópicos geralmente façam parte dos currículos adotados no Ensino Médio, a avaliação inicial dos estudantes pode indicar a necessidade de se utilizar organizadores prévios a fim de proporcionar subsunçores para apoiar o entendimento do material a ser estudado com o *software*.

O sistema hipermídia foi organizado em seis módulos, reunindo textos por áreas afins e relacionados entre si por meio de *links*. Na figura 5, pode-se ver a tela de abertura do *software*, que contém os ícones cuja ativação conduz ao *menu* introdutório de cada módulo. Os módulos e textos do *software* estão listados a seguir:

a) **Visão Inicial:** reúne os textos intitulados Introdução ao Módulo Visão Inicial; Conceitos de Física Clássica; Conceitos de Física Moderna.

b) **Teoria da Relatividade:** abrange os textos intitulados Introdução ao Módulo Teoria da Relatividade; Postulados da Teoria da Relatividade Restrita; Dilatação dos Tempos;

Contração das Distâncias; Momento Linear Relativístico; Energia Relativística; Relação entre Momento Linear e Energia; Teoria da Relatividade Geral.

c) **Tecnologia & Sociedade:** engloba os textos intitulados Introdução ao Módulo Tecnologia & Sociedade; Física Nuclear; Fissão Nuclear; Fusão Nuclear; Radioatividade; Reatores Nucleares; Acidentes Radioativos; Armas Nucleares.

d) **História da Ciência:** congrega os textos intitulados Introdução ao Módulo História da Ciência; Desenvolvimento Histórico da Teoria da Relatividade; Desenvolvimento Histórico da Mecânica Quântica; Projeto Manhattan; Biografia de Albert Einstein.

e) **Ciência & Filosofia:** inclui os textos intitulados Introdução ao Módulo Ciência & Filosofia; Metodologia dos Programas de Pesquisa; Ciência e Ética.

f) **Fronteiras da Ciência:** compreende os textos intitulados Introdução ao Módulo Fronteiras da Ciência; Buracos Negros; Ondas Gravitacionais.



Figura 5. Tela de abertura do software.

Os textos encontram-se ilustrados com imagens, filmes e animações, acompanhados das respectivas legendas, visando a enriquecer o conteúdo e facilitar a formação de conexões não-arbitrárias e substanciais na estrutura cognitiva do estudante.

A estrutura do hipertexto foi estabelecida de modo a permitir a exploração dos conceitos segundo o princípio da *diferenciação progressiva*, procurando favorecer o percurso de trilhas – seqüências de telas – em que se parte dos aspectos mais gerais para se alcançar os de maior grau de especificidade. Por exemplo, ativando-se os *links* disponíveis, pode-se iniciar a leitura sobre postulados da Teoria da Relatividade Restrita, passar ao estudo da dilatação dos tempos, seguir para o texto sobre contração das distâncias, continuar acessando informações sobre momento linear relativístico, atingir a seção sobre energia relativística (figura 6), conectar-se ao material sobre fissão nuclear e concluir examinando dados sobre reatores nucleares.



Figura 6. Tela do texto Energia Relativística, com links à direita.

Foram incluídos *links* para a apresentação de materiais propiciadores da ligação entre os conhecimentos anteriores do estudante e as novas idéias a serem expostas, possibilitando o acesso a *organizadores prévios*. Exemplo disso foi a elaboração do texto com o desenvolvimento histórico da Teoria da Relatividade, para que o estudante comece a se familiarizar com conceitos, fatos e personalidades relacionadas a essa construção científica, e perceba alguns dos problemas existentes na Física Clássica. Desse modo, buscou-se contribuir com o desenvolvimento de subsunçores para o aprofundamento dos conceitos da Teoria da Relatividade e suas correlações.

Procurou-se indicar semelhanças e diferenças entre conceitos em alguns trechos do material desenvolvido, para favorecer a *reconciliação integrativa*. Exemplo disso é a comparação entre os conceitos de energia na abordagem clássica e na relativística, apontando-se aspectos comuns e distinções.

Em diversos textos podem ser acessados, a partir de um *link* específico, questões e problemas que pretendem estimular a reflexão do estudante, voltar sua atenção para aspectos importantes do assunto e possibilitar a discussão crítica com os colegas e o professor, de modo a promover a *consolidação* dos conceitos. Existem perguntas com diversos graus de elaboração, desde as mais simples, destinadas a destacar certos pontos relevantes do texto que o aluno deve rever e verificar se assimilou bem, até as mais problematizadoras, geradoras de debates com maior profundidade. Nessa última categoria encaixam-se as questões envolvendo informações atuais extraídas de jornais e revistas, dentre outras situações que exigem a aplicação dos conhecimentos aprendidos a novos contextos.

Os *links* no hipertexto foram inseridos para possibilitar também o acesso a idéias complementares, facultando a conexão com temas afins relacionados a determinados tópicos, segundo o interesse despertado nos estudantes. Por exemplo, o texto sobre Teoria Geral da

Relatividade apresenta conexões que podem levar aos textos sobre as ondas gravitacionais, os buracos negros e a vida e obra de Albert Einstein.

Os *links* do *software* foram estabelecidos para possibilitar a fácil exploração da sequência de textos especificada a seguir. Apresentam-se também os objetivos de aprendizagem associados a cada texto, justificativas para favorecer o exame na ordem exposta e os *links* existentes, que permitem aos usuários conectar-se com temas inter-relacionados e *navegar* pelo hiperdocumento.

a) **Introdução ao Módulo Visão Inicial.** O objetivo desse texto é permitir o conhecimento de alguns problemas identificados na Física Clássica ao final do século XIX e o entendimento de que as novas teorias da Física Moderna trouxeram soluções para essas questões. O texto constitui um *organizador prévio*, visando a propiciar uma ligação entre os conhecimentos que o estudante possui e as novas idéias a serem apresentadas. Possui *links* com os textos: Conceitos de Física Clássica; Conceitos de Física Moderna.

b) **Conceitos de Física Clássica.** O objetivo desse texto é proporcionar a aquisição de uma noção geral e qualitativa dos conceitos fundamentais da Física Clássica, facultando a caracterização de sua abordagem e o vislumbre quanto ao alcance de suas teorias. O texto constitui um *organizador prévio*, visando a propiciar uma ligação entre os conhecimentos que o estudante possui e as novas idéias a serem apresentadas. Possui *links* com os textos: Conceitos de Física Moderna; Desenvolvimento Histórico da Teoria da Relatividade; Desenvolvimento Histórico da Mecânica Quântica.

c) **Conceitos de Física Moderna.** O objetivo desse texto é proporcionar a aquisição de uma noção geral e qualitativa de conceitos fundamentais da Física Moderna, possibilitar a diferenciação entre a Física Clássica e a Física Moderna, e contribuir para a percepção da evolução dos conceitos da Física. O texto constitui um *organizador prévio*, visando a propiciar uma ligação entre os conhecimentos que o estudante possui e as novas

idéias a serem apresentadas. Busca também favorecer a *reconciliação integrativa*, mediante o aumento da discriminabilidade dos conceitos obtida com o reconhecimento de seus pontos comuns e diferenças. Possui *links* com os textos: Conceitos de Física Clássica; Desenvolvimento Histórico da Teoria da Relatividade; Desenvolvimento Histórico da Mecânica Quântica.

d) **Desenvolvimento Histórico da Teoria da Relatividade.** O objetivo desse texto é facultar a construção de uma visão histórica do surgimento e desenvolvimento da Teoria da Relatividade, e favorecer a conscientização quanto ao caráter provisório e descontínuo do conhecimento científico. O texto permite dar continuidade ao processo de apresentação geral da Física Moderna, possibilitando ao estudante familiarizar-se com os conceitos, os fenômenos, as personalidades e o contexto histórico relacionados, com um pouco mais de detalhamento. Isso é coerente com a técnica de utilização de *organizadores prévios* e o princípio da *diferenciação progressiva*. O uso de textos históricos pode contribuir para evidenciar a Ciência enquanto construção que sofre modificações com o tempo. O documento aqui considerado possui *links* com os textos: Biografia de Albert Einstein; Postulados da Teoria da Relatividade Restrita; Teoria da Relatividade Geral; Metodologia dos Programas de Pesquisa.

e) **Metodologia dos Programas de Pesquisa.** O objetivo desse texto é colaborar para a apreensão elementar do conceito de *programa de pesquisa* a partir da abordagem de Imre Lakatos, com o reconhecimento da existência de rupturas na evolução do conhecimento científico e tradições de investigação em sua história. A análise de questões da Filosofia da Ciência pode favorecer a compreensão quanto à natureza da Ciência. A idéia de *programas de pesquisa* rivais pode contribuir para o entendimento da transição ocorrida da Física Clássica para a Moderna. A ordem de apresentação segue os princípios da *organização seqüencial* e da *derivação progressiva*, visto que o histórico dessa mudança na predominância de um programa de pesquisa foi previamente estudado. O documento aqui considerado possui *links*

com os textos: Conceitos de Física Clássica; Desenvolvimento Histórico da Teoria da Relatividade; Desenvolvimento Histórico da Mecânica Quântica.

f) **Postulados da Teoria da Relatividade Restrita.** O objetivo desse texto é propiciar o entendimento dos dois postulados fundamentais da Teoria da Relatividade Restrita. A apresentação dos postulados da teoria permite iniciar a abordagem a partir das idéias mais gerais, para então se fazer a análise das conseqüências específicas deduzidas das premissas, de modo consistente com os princípios da organização seqüencial e da diferenciação progressiva. O documento aqui considerado possui *links* com os textos: Dilatação dos Tempos; Contração das Distâncias; Desenvolvimento Histórico da Teoria da Relatividade.

g) **Dilatação dos Tempos.** O objetivo desse texto é facultar a compreensão do fenômeno da dilatação dos tempos e o conhecimento de experimentos realizados para verificá-lo. O texto busca promover a *reconciliação integrativa*, mediante a comparação desse fenômeno relativístico com o resultado esperado pela Mecânica Clássica. Os experimentos analisados contribuem para tornar a dilatação dos tempos algo mais plausível para os estudantes. Pelos princípios da *organização seqüencial* e da *derivação progressiva*, é adequado apresentar o conceito mais específico de dilatação dos tempos após os postulados da Relatividade dos quais é deduzido. O documento aqui considerado possui *links* com os textos: Postulados da Teoria da Relatividade Restrita; Contração das Distâncias; Desenvolvimento Histórico da Teoria da Relatividade.

h) **Contração das Distâncias.** O objetivo desse texto é facultar a compreensão do fenômeno da contração das distâncias e o conhecimento de experimentos realizados para verificá-lo. O texto busca promover a *reconciliação integrativa*, mediante a comparação desse fenômeno relativístico com o resultado esperado pela Mecânica Clássica. Os experimentos analisados contribuem para tornar a contração das distâncias algo mais plausível para os

estudantes. Pelos princípios da *organização seqüencial* e da *derivação progressiva*, é adequado apresentar o conceito mais específico de contração das distâncias após os postulados da Relatividade dos quais é deduzido. O documento aqui considerado possui *links* com os textos: Momento Linear Relativístico; Dilatação dos Tempos; Postulados da Teoria da Relatividade; Desenvolvimento Histórico da Teoria da Relatividade Restrita.

i) **Momento Linear Relativístico.** O objetivo desse texto é permitir o entendimento do conceito de momento linear em uma abordagem relativística. O texto procura favorecer a *reconciliação integrativa*, mediante a comparação da expressão relativística com a fórmula da Mecânica Clássica. A definição do momento linear relativístico pode ser feita a partir de ponderações envolvendo os postulados básicos da Teoria da Relatividade e a conservação do momento linear, justificando sua apresentação nesse ponto, pelos princípios da *organização seqüencial* e da *derivação progressiva*. O documento aqui considerado possui *links* com os textos: Energia Relativística; Contração das Distâncias; Relação entre Momento Linear e Energia Relativísticos.

j) **Energia Relativística.** O objetivo desse texto é possibilitar a assimilação do conceito de energia em uma abordagem relativística, incluindo a apreensão de sua relação com a noção de massa. O texto busca favorecer a *reconciliação integrativa*, mediante a comparação da expressão relativística com a fórmula da Mecânica Clássica. A definição da energia relativística pode ser realizada a partir de ponderações envolvendo o momento linear relativístico, justificando sua apresentação após essa idéia, pelos princípios da *organização seqüencial* e da *derivação progressiva*. O documento aqui considerado possui *links* com os textos: Fissão Nuclear; Fusão Nuclear; Relação entre Momento Linear e Energia Relativísticos; Momento Linear Relativístico.

k) **Física Nuclear.** O objetivo desse texto é proporcionar a elaboração de conceitos básicos sobre o núcleo atômico. O texto funciona enquanto *organizador prévio* para

o estudo dos fenômenos nucleares, que demanda noções sobre a estrutura atômica, suas propriedades e formas de representá-la. Possui *links* com os textos: Radioatividade; Fissão Nuclear; Projeto Manhattan; Energia Relativística.

1) **Fissão Nuclear.** O objetivo desse texto é possibilitar a compreensão do conceito de fissão nuclear. A abordagem desse fenômeno é adequada após o estudo da energia relativística, já apresentada, pois permite ilustrar a relação entre massa e energia. A escolha dessa ordem fundamenta-se nos princípios da *organização seqüencial* e da *derivação progressiva*, em que os exemplos específicos seguem após os conceitos gerais. O documento aqui considerado possui *links* com os textos: Fusão Nuclear; Reatores Nucleares; Projeto Manhattan; Energia Relativística. Uma tela do texto *Fissão Nuclear* na qual se empregou uma animação mostrando a divisão do núcleo foi reproduzida na figura 7.

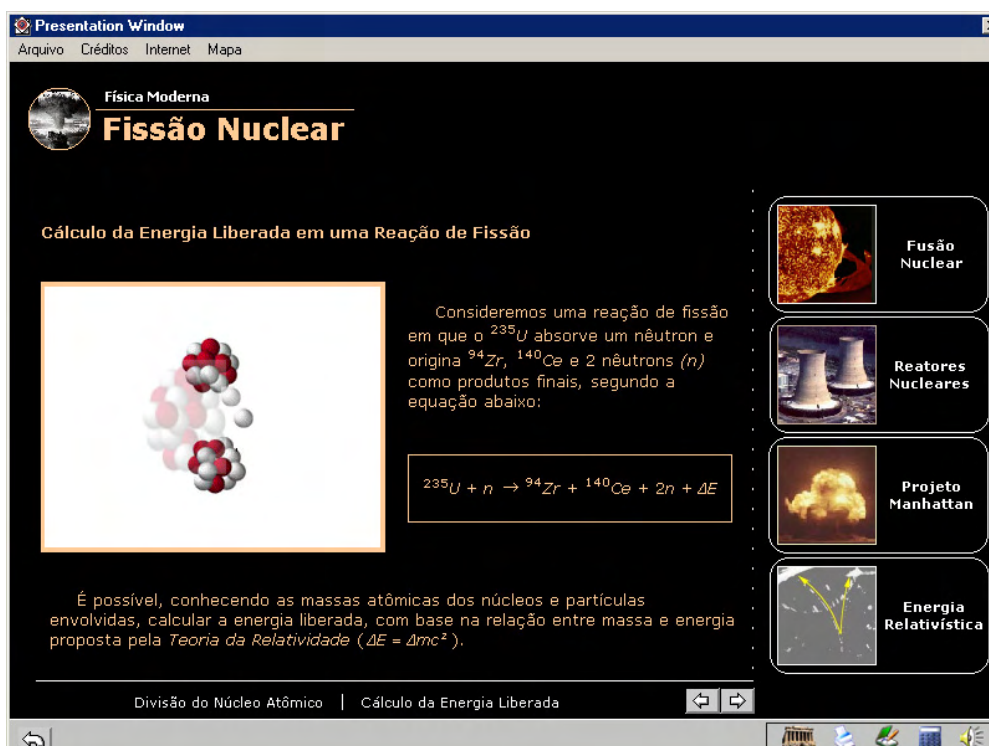


Figura 7. Tela do texto Fissão Nuclear, com animação à esquerda.

m) **Fusão Nuclear.** O objetivo desse texto é possibilitar a compreensão do conceito de fusão nuclear. A abordagem desse fenômeno é adequada após o estudo da energia relativística, já apresentada, pois permite ilustrar a relação entre massa e energia. A escolha dessa ordem fundamenta-se nos princípios da *organização sequencial* e da *derivação progressiva*, em que os exemplos específicos seguem após os conceitos gerais. O documento aqui considerado possui *links* com os textos: Fissão Nuclear; Reatores Nucleares; Energia Relativística.

n) **Radioatividade.** O objetivo desse texto é propiciar a obtenção de informações sobre diversas formas de radioatividade, incluindo os raios-X e os decaimentos alfa, beta e gama. O texto visa a permitir também a familiarização com os efeitos produzidos pela radiação nos seres humanos. O estudo da radioatividade é importante para a compreensão das aplicações e dos perigos relacionados à energia nuclear. O texto funciona enquanto *organizador prévio* para o estudo dos reatores, acidentes e armas nucleares, temas que demandam ainda o exame prévio da fissão e fusão nuclear. Possui *links* com os textos: Física Nuclear; Acidentes Radioativos; Reatores Nucleares; Armas Nucleares.

o) **Reatores Nucleares.** O objetivo desse texto é facultar o conhecimento dos principais processos envolvidos no funcionamento dos reatores nucleares, a conscientização quanto às dificuldades relacionadas ao lixo nuclear produzido por esses dispositivos e o desenvolvimento de noções sobre as implicações da geração de matéria-prima para armas nucleares a partir de sua operação. A abordagem que enfoca as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade contribui para evidenciar as aplicações práticas dos conhecimentos científicos e suas conseqüências sobre a vida das pessoas, permitindo ainda a análise de questões econômicas, políticas e ambientais. O estudo dos reatores nucleares demanda a compreensão dos fenômenos de fissão e fusão nuclear, exemplificando também a relação entre massa e energia. Por isso, esse tema foi introduzido neste ponto, obedecendo à

organização seqüencial e à *derivação progressiva*. O documento aqui considerado possui *links* com os textos: Radioatividade; Acidentes Radioativos; Fissão Nuclear; Fusão Nuclear.

p) **Acidentes Radiativos.** O objetivo desse texto é facultar o conhecimento dos principais tipos de acidentes nucleares e de casos de desastres registrados na história, buscando favorecer a conscientização quanto aos riscos existentes na utilização da energia nuclear e a necessidade de procedimentos de segurança rigorosos para manipulá-la. O estudo dos acidentes nucleares possibilita aprofundar a análise sobre as usinas nucleares e as questões associadas a esses dispositivos, além de permitir a expansão da noção quanto aos impactos sociais e ambientais que podem resultar de seu funcionamento. Desse modo, o conceito encontra-se em nível mais específico na hierarquia conceitual, sendo indicada sua introdução após a idéia de reator nuclear, pelos princípios da *organização seqüencial* e da *derivação progressiva*. O documento aqui considerado possui *links* com os textos: Radioatividade; Armas Nucleares; Reatores Nucleares.

q) **Biografia de Albert Einstein.** O objetivo desse texto é proporcionar a aquisição de informações sobre os principais fatos da vida de Albert Einstein e de suas contribuições mais relevantes para a Ciência. O estudo de biografias possibilita o contato com o lado humano do empreendimento científico, em que se evidenciam características da personalidade do cientista, seus problemas e sua visão de mundo, incluindo posturas de caráter ético, permitindo aproximar a Física um pouco mais dos estudantes. Esse tópico encontra-se em nível mais específico na hierarquia conceitual, pois acrescenta dados sobre o propositor da Teoria da Relatividade, podendo ser apresentado nesse ponto, pelo princípio da *derivação progressiva*. O documento aqui considerado possui *links* com os textos: Ciência e Ética; Projeto Manhattan; Desenvolvimento Histórico da Teoria da Relatividade; Postulados da Teoria da Relatividade Restrita. Na figura 8, apresenta-se uma tela do texto *Biografia de Albert Einstein* na qual se pode assistir a um curto filme em que o cientista fala sobre a bomba de hidrogênio.



Figura 8. Tela do texto Biografia de Albert Einstein, com um filme à esquerda.

r) **Projeto Manhattan.** O objetivo desse texto é propiciar a obtenção de informações sobre os principais fatos relativos ao desenvolvimento da bomba atômica nos EUA e sua relação com questões políticas, econômicas, sociais e éticas associadas a Ciência e Tecnologia. A História da Ciência pode contribuir para os estudantes desenvolverem melhor compreensão sobre a natureza da Ciência e suas relações com a Tecnologia e a Sociedade, incluindo questões sobre Ética e o caráter de não-neutralidade do empreendimento científico. O estudo dos conceitos de fissão nuclear, fusão nuclear e radioatividade é pré-requisito para a melhor compreensão do Projeto Manhattan. A discussão sobre a produção da bomba atômica exemplifica as implicações do entendimento sobre a relação entre massa e energia. Por envolver conceitos mais específicos, o texto foi inserido neste ponto, com base nos princípios de *organização seqüencial* e da *derivação progressiva*. Possui links com os textos: Armas Nucleares; Biografia de Albert Einstein; Ciência e Ética; Fissão Nuclear.

s) **Armas Nucleares.** O objetivo desse texto é facultar o conhecimento das principais armas nucleares disponíveis atualmente, de seu potencial destrutivo e dos efeitos biológicos oriundos de sua aplicação. Visa a levar ainda ao entendimento de seu papel enquanto instrumento de poder e à compreensão da relevância dos tratados de não-proliferação de armas atômicas. A discussão sobre armas nucleares possibilita aprofundar as questões levantadas no texto anterior, no qual se analisou o contexto histórico do aparecimento desses dispositivos, seguindo-se naturalmente após o estudo do Projeto Manhattan, pelos princípios da *organização seqüencial* e da *derivação progressiva*. O documento aqui considerado possui *links* com os textos: Fissão Nuclear; Fusão Nuclear; Projeto Manhattan; Radioatividade.

t) **Ciência e Ética.** O objetivo desse texto é permitir o entendimento de alguns conceitos de Ética e a apreensão da importância de considerá-la no desenvolvimento da pesquisa científica e nas aplicações resultantes dessa atividade. O estudo da Ética e de suas relações com a Ciência é importante para o desenvolvimento humano dos estudantes, podendo contribuir para as metas educativas de formar cidadãos críticos e conscientes das questões éticas que permeiam as ações em Sociedade. O debate proposto insere-se naturalmente após a introdução do Projeto Manhattan e do tema das armas nucleares, segundo os princípios da *organização seqüencial* e da *derivação progressiva*. O documento aqui considerado possui *links* com os textos: Biografia de Albert Einstein; Projeto Manhattan; Armas Nucleares.

A seqüência de textos mencionada não é a única possível para o acesso aos textos do *software*, pois sua estrutura hipertextual admite outros tipos de associação entre os conceitos. Entretanto, na utilização do material didático nas atividades desenvolvidas durante a pesquisa relatada neste trabalho, essa ordem serviu de referência para otimizar a construção de conceitos a partir dos princípios ausubelianos de organização programática.

Pode ser conveniente, conforme os objetivos instrucionais de um curso específico, desviar-se da seqüência principal previamente analisada e efetuar o estudo de um determinado texto ou percorrer uma série complementar de textos. Essas possibilidades são comentadas a seguir, a fim de completar a exposição dos objetivos de aprendizagem relacionados aos textos do *software*, das justificativas para sua inserção e dos *links* existentes:

a) **Desenvolvimento Histórico da Mecânica Quântica.** O objetivo desse texto é facultar a construção de uma visão histórica sobre o surgimento e desenvolvimento da Mecânica Quântica, e contribuir para a conscientização quanto ao caráter provisório e descontínuo do conhecimento científico. Esse texto pode ser acessado após o estudo do tópico *Conceitos de Física Moderna*, por exemplo. Permite dar continuidade ao processo de apresentação geral da Física Moderna, possibilitando ao estudante familiarizar-se com os conceitos, fenômenos, personalidades e contexto histórico relacionados, com um pouco mais de detalhamento. Isso é coerente com a técnica de utilização de *organizadores prévios* e o princípio da *diferenciação progressiva*. O uso de textos históricos pode contribuir para evidenciar a Ciência enquanto construção que sofre modificações com o tempo. O documento aqui considerado possui *links* com os textos: Desenvolvimento Histórico da Teoria da Relatividade; Metodologia dos Programas de Pesquisa; Conceitos de Física Moderna.

b) **Relação entre Momento e Energia Relativísticos.** O objetivo desse texto é propiciar a apreensão da relação entre o momento linear e a energia na Teoria da Relatividade, em conjunto com suas implicações. Esse texto pode ser acessado a partir do tópico *Energia Relativística*, por exemplo. O entendimento da relação entre energia e momento relativístico pode ser alcançado adequadamente após o estudo isolado de cada um desses conceitos, já apresentados, de acordo com os princípios da *organização seqüencial* e da *derivação progressiva*. O documento aqui considerado possui *links* com os textos: Momento Linear Relativístico; Energia Relativística; Teoria da Relatividade Geral.



Figura 9. Tela com animação relativa a um experimento mental.

c) **Teoria da Relatividade Geral.** O objetivo desse texto é levar à aquisição de noções sobre conceitos básicos relacionados à Teoria da Relatividade Geral, incluindo o princípio da equivalência, a curvatura do espaço-tempo e algumas de suas previsões. Pode ser acessado após o estudo da Teoria da Relatividade Restrita ou após a leitura do tópico *Desenvolvimento Histórico da Teoria da Relatividade*, por exemplo. Isso é coerente com os princípios da *organização seqüencial* e da *derivação progressiva*, pois a Relatividade Geral é considerada uma generalização da Relatividade Restrita. O documento aqui considerado possui *links* com os textos: Ondas Gravitacionais; Buracos Negros; Biografia de Albert Einstein; Desenvolvimento Histórico da Teoria da Relatividade. Na figura 9, expõe-se uma tela do texto *Teoria da Relatividade Geral* onde há uma animação concernente a um experimento mental envolvendo o princípio da equivalência e a previsão de que um raio de luz é defletido pela gravidade.

d) **Buracos Negros.** O objetivo desse texto é possibilitar o conhecimento das características principais dos buracos negros. Visa a permitir também a percepção do poder preditivo e das limitações da Teoria da Relatividade, pois os buracos negros constituem um tema ainda não plenamente compreendido. Esses objetos celestes são previstos pela Teoria da Relatividade Geral, podendo, por isso, ser abordados apropriadamente após o estudo desse tema, segundo os princípios da *organização seqüencial* e da *derivação progressiva*. O documento aqui considerado possui *links* com os textos: Teoria da Relatividade Geral; Ondas Gravitacionais; Desenvolvimento Histórico da Teoria da Relatividade.

e) **Ondas Gravitacionais.** O objetivo desse texto é favorecer o entendimento das características principais das ondas gravitacionais. Visa a permitir também a percepção do poder preditivo da Teoria da Relatividade e das dificuldades envolvidas na contrastação empírica de uma teoria, uma vez que as ondas gravitacionais não foram detectadas até o momento. O fenômeno é previsto pela Teoria da Relatividade Geral, podendo, por isso, ser introduzido apropriadamente após o estudo desse tema, segundo os princípios da *organização seqüencial* e da *derivação progressiva*. O documento aqui considerado possui *links* com os textos: Teoria da Relatividade Geral; Buracos Negros; Biografia de Albert Einstein.

f) **Textos Introdutórios aos Módulos.** Cada texto de introdução a determinado módulo tem caráter geral, procurando servir de organizador prévio para os assuntos abordados no bloco temático. Na tela introdutória a cada módulo, encontram-se *links* para acessar os textos contidos em seu interior.

Para auxiliar a orientação do usuário durante a *navegação* pelo sistema hipermídia, foi elaborado o mapa do *software* (figura 10), acessível a partir de um *menu* na parte superior da tela. Ao se percorrer de cima para baixo a tela na qual esse mapa é exibido, encontram-se ícones que representam textos contendo conceitos cada vez mais específicos. O mapa mostra graficamente a estrutura hipertextual do programa, fornece a localização atual do

usuário e possibilita que este se dirija a qualquer ponto do *software* clicando com o *mouse* sobre o ícone correspondente. Ao se posicionar o cursor sobre um ícone, são exibidos uma etiqueta com o assunto e os *links* presentes no texto associado. Esse recurso visa a facultar uma visão geral sobre o material existente no programa e as inter-relações entre as idéias tratadas.

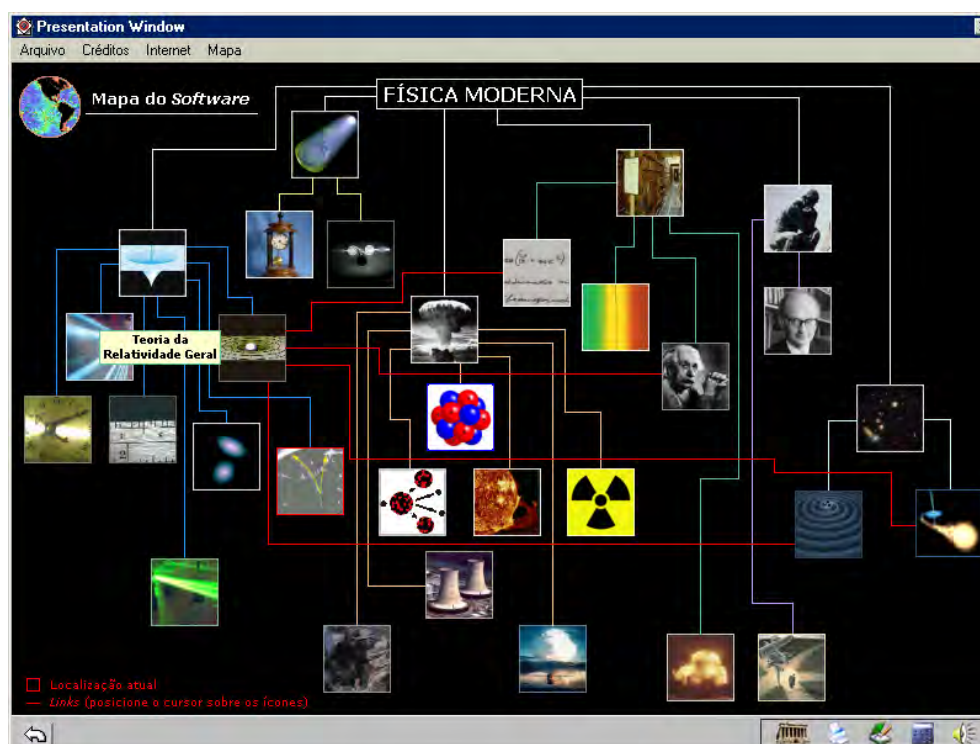


Figura 10. Mapa do software.

Uma vez implementado o *software*, segundo a estrutura exposta anteriormente, procedeu-se à revisão da programação, objetivando eliminar erros do sistema. O material foi utilizado por dois estudantes que fizeram o pré-teste e consideraram os textos compreensíveis e o ambiente de *navegação* adequado. No prosseguimento do projeto, o *software* foi avaliado por especialistas em ensino e licenciandos.

6.2 Avaliação do *software Tópicos de Física Moderna*

Para a avaliação do *software Tópicos de Física Moderna* foi elaborada uma ficha contendo 47 itens. Esse instrumento foi proposto com base na ficha de avaliação utilizada no *Programa Nacional do Livro Didático* (BRASIL, 2005), na ficha de avaliação de *softwares* desenvolvida por Athayde (1990) e nos critérios de avaliação de sistemas hipermídia educacionais considerados por Campos (1994).

Na Ficha de Avaliação do *Software Hipermídia Tópicos de Física Moderna*, reproduzida no *apêndice A*, os itens 1 a 43 encontram-se divididos em quatro grupos, abrangendo conteúdos e aspectos teórico-metodológicos, aspectos pedagógico-metodológicos, aspectos editoriais / visuais e aspectos técnicos; os itens 44 a 46 consistem em questões abertas, relacionadas a características positivas e negativas do *software* e à forma de utilizá-lo; o item 47 corresponde ao posicionamento final em relação à qualidade do *software*. Em cada um dos itens de 1 a 43, o avaliador deveria assinalar se os aspectos descritos estavam presentes no *software* integralmente ou parcialmente, ou se não foram verificados.

A ficha de avaliação resultante foi entregue a 22 estudantes de um curso de licenciatura em Física e a 21 pesquisadores da área de Ensino de Ciências, juntamente com o *software* proposto e um texto explicando a fundamentação deste.

Os licenciandos encontravam-se no sétimo semestre do curso, com duração de quatro anos, no período noturno. A avaliação do *software* constituiu uma atividade da disciplina *Prática de Ensino de Física*.

Das fichas de avaliação distribuídas, 17 foram preenchidas pelos licenciandos (77% dessa categoria de avaliador) e cinco pelos pesquisadores (24% dessa categoria de avaliador). Dentre os licenciandos, 13 eram do sexo masculino e quatro eram do sexo

feminino. Dentre os pesquisadores, três eram do sexo masculino e dois eram do sexo feminino.

O perfil dos cinco pesquisadores que avaliaram o *software* é caracterizado a seguir:

a) *Pesquisador 1*: Licenciado em Física e Doutor em Educação, com tese relativa ao uso da hipermídia no ensino de Física.

b) *Pesquisador 2*: Licenciado em Física e Doutor em Física, com tese educacional relativa à abordagem da Física Moderna no Ensino Médio.

c) *Pesquisador 3*: Licenciado em Física e Doutor em Educação, com tese relativa a estratégias educacionais construtivistas.

d) *Pesquisador 4*: Bacharel em Física e Doutor em Física, com trabalhos realizados sobre aspectos conceituais, históricos e filosóficos da Física Moderna e o seu ensino.

e) *Pesquisador 5*: Bacharel em Engenharia Elétrica e Doutor em Física, com trabalhos realizados sobre a abordagem da Física Moderna no Ensino Médio.

Embora o número de pesquisadores participantes da avaliação tenha sido reduzido, suas áreas de formação e atuação estão de algum modo relacionadas a aspectos centrais envolvidos na elaboração do *software*: a Física Moderna, a hipermídia e o construtivismo.

Na seqüência do texto, expõem-se os resultados da avaliação do *software*. Procurou-se apresentar separadamente os dados para cada categoria de avaliador pelo fato de os pesquisadores terem mais experiência e domínio dos referenciais teóricos da área de Educação para a Ciência.

6.2.1 Aspectos positivos do *software*

Dentre os aspectos *positivos* do *software*, destacados na questão 44 pelos *pesquisadores* que o avaliaram, encontram-se:

- a) Relevância do conteúdo.
- b) Clareza e correção do texto, com a exceção de algumas poucas imprecisões.
- c) Conexões evidenciadas entre Ciência e Tecnologia.
- d) Apresentação da Física como aspecto da Cultura.
- e) Ênfase na responsabilidade social das pessoas.
- f) Visual agradável, com animações e figuras que, em sua maioria, contribuem

para a compreensão do conteúdo.

- g) Fundo musical adequado.
- h) Facilidade para realizar a *navegação*.

Dentre os aspectos *positivos* do *software*, destacados na questão 44 pelos *licenciandos* que o avaliaram, encontram-se:

- a) Temas escolhidos interessantes.
- b) Tópicos bem divididos e explicados.
- c) Linguagem clara e objetiva, tornando fácil o entendimento.
- d) Apresentação de conceitos de Física Moderna de maneira objetiva e clara,

adequada ao objetivo para o qual foi criado, estabelecendo relações com a Física Clássica.

e) Questões ao final de cada texto que ajudam o aluno a refletir e avaliar seu conhecimento sobre o assunto.

f) Abordagem histórica que contribui para o entendimento dos efeitos relativísticos não observados no cotidiano.

g) Parte histórica e filosófica que, além de ajudar a formular conceitos apropriados sobre Ciência, é muito interessante.

h) Apresentação de uma visão da Ciência em constante modificação e não como um conjunto compacto de fórmulas e conceitos a serem estudados.

i) Abordagem de relações entre conceitos de Física Moderna e suas aplicações tecnológicas.

j) Boa utilização de recursos multimídia, formando um ambiente agradável de aprendizagem.

k) Animações bem elaboradas, possibilitando melhor visualização e compreensão dos fenômenos.

l) Animações que facilitam a visualização de fenômenos e fatos históricos, e presença de *links* relacionados ao assunto que se está estudando, fazendo do *software* uma boa ferramenta de ensino.

m) Recursos multimídia (fotos, animações, sons e outros) que estimulam a curiosidade do aluno sobre o tema.

n) Facilidade para o manuseio dos botões de controle do conteúdo.

o) Temas que podem ser escolhidos pelo aluno e percorridos sem muita dificuldade.

p) Contribuição aos professores no ensino da Física Moderna, pouco trabalhada no Ensino Médio.

q) Contribuição para se superar o desafio de ensinar Física Moderna no Ensino Médio.

r) Disponibilização de recursos, principalmente para a pesquisa, em volume único, de modo mais fácil que em um livro ou uma revista.

6.2.2 Aspectos negativos do *software*

Dentre os aspectos *negativos* do *software*, destacados na questão 45 pelos *pesquisadores* que o avaliaram, encontram-se:

- a) Textos pouco explicativos, com mais ênfase na divulgação científica do que no entendimento de princípios físicos.
- b) Existência de filmes mais motivadores e com maior profundidade e extensão em termos de idéias do que o *software* avaliado.
- c) Textos muito longos e dispostos linearmente.
- d) Ausência de palavras-chave ou glossários, importantes objetos de *navegação* não-linear da hipermídia.

Algumas imprecisões conceituais existentes no *software*, identificadas por dois avaliadores, foram corrigidas na versão do *software* preparada para uso em sala de aula.

Um dos pesquisadores observou a ocorrência de variação dos objetos de *navegação* não-linear nos textos da mesma unidade, alternando-se conforme relações conceituais prévias feitas pelo autor, dificultando a *navegação*. Segundo o pesquisador, isso poderia confundir o usuário e levá-lo a ter que retornar ao índice geral para se orientar. A introdução do mapa do *software* na versão para uso em sala de aula foi feita visando a minimizar problemas de orientação do usuário.

Dentre os aspectos *negativos* do *software*, destacados na questão 45 pelos *licenciandos* que o avaliaram, encontram-se:

- a) Necessidade de que os estudantes tenham conhecimentos de Mecânica e alguns outros conceitos bem estabelecidos para utilizar o *software*.
- b) Grande quantidade de assuntos.
- c) Existência de alguns textos muito longos.

d) Presença de dois textos excessivamente técnicos e complexos: sobre *radioatividade* e sobre *metodologia dos programas de pesquisa*.

e) Ausência de uma sequência de tópicos pré-estabelecida para facilitar a aprendizagem.

f) Diversidade de opções de *navegação*, que torna complicado o estabelecimento de uma sequência de leitura pelos estudantes e dificulta aos professores guiar os alunos pelo CD.

g) Áudio que se torna um pouco cansativo no decorrer da exploração do programa.

h) Dificuldade para se utilizar o *software* nas escolas, pelo fato de muitas ainda não possuírem um laboratório de informática adequado.

Um dos licenciandos apontou a inexistência de um mapa do *software* para facilitar a *navegação* na versão avaliada. Um mapa desse tipo foi incluído na versão do *software* modificada após a avaliação.

Certos pontos criticados pelos avaliadores indicaram aspectos do *software* que poderiam ser aperfeiçoados. Entretanto, algumas ressalvas podem ser feitas.

O fato de os estudantes precisarem conhecer alguns conceitos clássicos para entender os assuntos do *software* relaciona-se à escolha metodológica de expor a Física Moderna fazendo-se referência à Física Clássica. Porém, tal opção não deve ser tomada pela concepção de ensino que advoga o estudo completo da Física Clássica antes de se tratar a Moderna, pois é possível concentrar-se apenas no desenvolvimento de subsunções específicos para viabilizar o aproveitamento do *software*.

O caráter técnico do texto sobre radioatividade decorre da apresentação de diferentes tipos de radiação e de unidades de medida, efeitos biológicos, fontes e aplicações associados. Mas esse enfoque parece justificável por propiciar a aquisição de informações

relevantes para o estudante compreender um tema presente no cotidiano e com implicações para a saúde humana, com o qual poderá ter contato direto em tratamentos médicos, por exemplo.

Embora a grande quantidade de assuntos disponíveis e a diversidade de trilhas existentes tornem mais complexo o processo de preparação e realização de aulas, isso possibilita que o material seja utilizado com maior flexibilidade. Tal condição faculta a escolha de diferentes caminhos através do banco de dados, refletindo objetivos diversificados de ensino e aprendizagem definidos pelo professor. Além disso, permite aos alunos acessar conteúdos relacionados a um tema principal conforme o interesse despertado, contribuindo para a ampliação de seus conhecimentos. Sugestões de trilhas para a consecução de metas educacionais específicas, informações quanto à natureza da proposta didática do *software* e outros dados que pudessem auxiliar os professores em sua tarefa poderão posteriormente ser incluídos em um material de apoio ao uso do sistema hipermídia.

A falta de equipamentos de informática apropriados em muitos estabelecimentos de ensino não é um problema do *software* em si, conforme observou o próprio licenciando que mencionou essa dificuldade, porém algo relativo às deficiências na infra-estrutura das escolas.

6.2.3 Utilização do *software*

Considerando o modo como utilizariam o *software* nas situações de ensino e aprendizagem, na questão 46, os *pesquisadores* avaliadores fizeram comentários cujos aspectos principais se apresentam a seguir:

a) Uso individual pelo aluno, devido à grande quantidade de texto. O professor poderia sugerir trilhas, ou seja, seqüências de textos, aos alunos.

b) Num primeiro momento, estudantes e professores deveriam fazer a própria organização, de maneira individual e idiossincrática, explorando sozinhos o *software*. Num segundo momento, os estudantes e professores deveriam trocar idéias entre si e implementar a discussão racional sobre a utilização otimizada do *software*.

c) Como elemento motivador e gerador de discussões em sala de aula, após consulta dos alunos, por um tempo pré-determinado, a um tópico escolhido.

d) Como material de consulta e para reflexão privada do estudante, em sua casa, por exemplo.

e) Como material ilustrativo em sala de aula, facilitando o trabalho do professor para descrever situações típicas da Relatividade Especial.

f) Em cursos sobre História da Física ou mesmo sobre Epistemologia da Física.

g) Para a introdução de algum tópico específico.

h) Como complementação a um curso de Física Moderna e Contemporânea, na formação de professores.

Considerando o modo como utilizariam o *software* nas situações de ensino e aprendizagem, na questão 46, os *licenciandos* avaliadores fizeram comentários cujos aspectos principais se apresentam a seguir:

a) Como aulas de um tópico especial para introduzir a Física Moderna no Ensino Médio, de maneira qualitativa.

b) Como ferramenta de apoio e incentivo ao estudo de Física Moderna, principalmente por usar mídia interativa e atraente, sem excluir a participação de um tutor ou professor para eventualmente explicar com outras palavras algum conceito que venha a gerar dúvidas.

c) Uso individual em computadores ou mediante projetor *data show*.

d) Estabelecendo uma ordem seqüencial de conteúdos e dividindo cada aula em quatro partes: na primeira, seria feita uma explanação inicial sobre os objetivos da aula e o

conteúdo apresentado; a segunda seria destinada aos esclarecimentos de dúvidas e retorno ao *software*, se necessário; a terceira seria reservada para os alunos responderem às questões; a quarta para correção conjunta das questões, discussão do conteúdo e, eventualmente, novos esclarecimentos de dúvidas.

e) Fazendo-se primeiramente uma aula expositiva, seguindo-se a exploração do *software* pelos estudantes e concluindo-se com uma grande roda para a discussão e avaliação dos tópicos principais.

f) Pedindo aos alunos para pesquisar sobre um determinado tema no programa e fazer comentários em sala de aula, em debates, por exemplo.

g) Como material de apoio às aulas de Física Moderna, propondo um trabalho aos alunos em que cada grupo apresentaria através do *software* o tema pelo qual ficou responsável.

h) De modo a levar os alunos a terem outras abordagens e interpretações sobre os assuntos em questão, gerando assim comparações e discussões sobre cada um dos diferentes enfoques.

i) Como material para complementar a formação dos alunos.

j) Em pesquisas e na complementação do ensino em sala de aula, principalmente com relação à História da Ciência e a assuntos mais recentes.

k) Como base para a montagem de aulas sobre Física Moderna.

l) Transmitindo o conteúdo do *software* e explicando as situações existentes no programa.

Conforme as respostas à questão 47, dois pesquisadores usariam ou recomendariam o uso do *software* com pequenas modificações ou nenhuma alteração; dois pesquisadores usariam ou recomendariam o uso do *software* somente se fossem feitas certas modificações; um pesquisador não usaria nem recomendaria o uso do *software*. Todos os

licenciandos que utilizaram o *software* informaram que o usariam ou recomendariam seu uso com pequenas modificações ou nenhuma alteração.

Embora a maioria dos avaliadores tenha se manifestado favoravelmente ao uso do *software* no Ensino Médio, algumas respostas fornecidas à questão 46 poderiam denotar dificuldades relativas ao trabalho com o programa em sala de aula.

Certos pesquisadores sugeriram que o material fosse indicado para consulta e reflexão pessoal do aluno fora do horário de aulas, adotado em cursos de História e Epistemologia da Física ou utilizado de modo a complementar um curso de Física Moderna destinado à formação de professores.

Alguns licenciandos consideraram que o *software* poderia servir para a introdução qualitativa da Física Moderna no Ensino Médio em aulas sobre um tópico especial, constituir ferramenta de apoio e incentivo à aprendizagem, ser prescrito como material de pesquisa para algum tema a ser debatido posteriormente em sala ou ser aplicado enquanto recurso extra na educação dos alunos.

Esses usos mencionados pelos avaliadores são possibilidades associadas ao material didático, além de sua leitura e discussão na própria sala de aula do Ensino Médio, de modo a auxiliar na complementação do ensino dos estudantes ou mesmo de professores em formação inicial ou continuada. Porém, tais opiniões poderiam significar também que para alguns avaliadores o ensino de Física Moderna é algo ainda distante da realidade do Ensino Médio, a ser implementado gradualmente, em aulas especiais ou para fornecer informações suplementares. Esse entendimento acerca da utilização do *software* revela concepções que, se forem consideradas com exclusividade, acabam limitando o processo de ensino e aprendizagem dos tópicos mais atuais da Física no Ensino Médio. Tal visão, no entanto, não corresponde à dos pesquisadores cujas sugestões foram transcritas, pois estes atuam a favor da introdução efetiva da Física Moderna no ensino regular da escola de nível médio.

6.2.4 Demais itens da ficha avaliação

Os resultados obtidos nas questões numeradas de 1 a 43 são apresentados na *tabela 1*, na qual se indica o número de avaliadores que considerou cada item da ficha de avaliação atendido satisfatoriamente (*sim*), atendido parcialmente (*parcial*) e não atendido (*não*), com os respectivos percentuais. Também são indicados o número e o percentual de avaliadores que não respondeu a determinado item (*sem resposta*).

Tabela 1. Respostas às questões 1 a 43 da ficha de avaliação do software.

Itens	PESQUISADORES								LICENCIANDOS							
	Classificação								Classificação							
	Sim		Parcial		Não		Sem Resposta		Sim		Parcial		Não		Sem Resposta	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
01	3	60%	1	20%	—	—	1	20%	17	100%	—	—	—	—	—	—
02	2	40%	2	40%	—	—	1	20%	10	59%	1	6%	6	35%	—	—
03	3	60%	1	20%	—	—	1	20%	11	65%	1	6%	5	29%	—	—
04	2	40%	1	20%	—	—	2	40%	16	94%	1	6%	—	—	—	—
05	2	40%	3	60%	—	—	—	—	8	47%	9	53%	—	—	—	—
06	5	100%	—	—	—	—	—	—	17	100%	—	—	—	—	—	—
07	5	100%	—	—	—	—	—	—	17	100%	—	—	—	—	—	—
08	3	60%	2	40%	—	—	—	—	15	88%	2	12%	—	—	—	—
09	4	80%	1	20%	—	—	—	—	16	94%	1	6%	—	—	—	—
10	3	60%	2	40%	—	—	—	—	13	76%	4	24%	—	—	—	—
11	1	20%	3	60%	1	20%	—	—	14	82%	3	18%	—	—	—	—
12	1	20%	4	80%	—	—	—	—	9	53%	8	47%	—	—	—	—
13	5	100%	—	—	—	—	—	—	16	94%	1	6%	—	—	—	—
14	3	60%	2	40%	—	—	—	—	14	82%	3	18%	—	—	—	—
15	1	20%	2	40%	2	40%	—	—	5	29%	11	65%	1	6%	—	—
16	2	40%	3	60%	—	—	—	—	11	65%	4	23%	2	12%	—	—
17	4	80%	—	—	—	—	1	20%	17	100%	—	—	—	—	—	—
18	3	60%	1	20%	1	20%	—	—	17	100%	—	—	—	—	—	—
19	2	40%	1	20%	2	40%	—	—	7	41%	9	53%	1	6%	—	—
20	2	40%	2	40%	1	20%	—	—	15	88%	2	12%	—	—	—	—
21	2	40%	2	40%	1	20%	—	—	9	53%	7	41%	1	6%	—	—
22	3	60%	1	20%	1	20%	—	—	14	82%	2	12%	1	6%	—	—
23	3	60%	2	40%	—	—	—	—	15	88%	2	12%	—	—	—	—

Itens	PESQUISADORES								LICENCIANDOS							
	Classificação								Classificação							
	Sim		Parcial		Não		Sem Resposta		Sim		Parcial		Não		Sem Resposta	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
24	4	80%	—	—	—	—	1	20%	17	100%	—	—	—	—	—	—
25	5	100%	—	—	—	—	—	—	17	100%	—	—	—	—	—	—
26	3	60%	1	20%	1	20%	—	—	15	88%	1	6%	1	6%	—	—
27	2	40%	2	40%	1	20%	—	—	13	76%	4	24%	—	—	—	—
28	2	40%	3	60%	—	—	—	—	17	100%	—	—	—	—	—	—
29	2	40%	3	60%	—	—	—	—	16	94%	1	6%	—	—	—	—
30	4	80%	1	20%	—	—	—	—	16	94%	—	—	—	—	1	6%
31	5	100%	—	—	—	—	—	—	15	88%	2	12%	—	—	—	—
32	4	80%	1	20%	—	—	—	—	17	100%	—	—	—	—	—	—
33	5	100%	—	—	—	—	—	—	17	100%	—	—	—	—	—	—
34	2	40%	2	40%	1	20%	—	—	17	100%	—	—	—	—	—	—
35	3	60%	2	40%	—	—	—	—	14	82%	3	18%	—	—	—	—
36	5	100%	—	—	—	—	—	—	15	88%	2	12%	—	—	—	—
37	3	60%	2	40%	—	—	—	—	16	94%	1	6%	—	—	—	—
38	2	40%	2	40%	1	20%	—	—	16	94%	1	6%	—	—	—	—
39	4	80%	1	20%	—	—	—	—	14	82%	3	18%	—	—	—	—
40	4	80%	1	20%	—	—	—	—	12	71%	5	29%	—	—	—	—
41	3	60%	1	20%	1	20%	—	—	15	88%	2	12%	—	—	—	—
42	4	80%	—	—	1	20%	—	—	11	65%	5	29%	1	6%	—	—
43	5	100%	—	—	—	—	—	—	14	82%	3	18%	—	—	—	—

Consoante os dados expostos, nos itens 1, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 17, 18, 22, 23, 24, 25, 26, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 42 e 43 da ficha de avaliação houve concordância plena de mais de 60% dos avaliadores de cada categoria. Isso indicou que, na visão de mais da metade dos avaliadores de cada categoria:

a) Predominam no *software* abordagem conceitual e informações factualmente corretas, bem como ausência de confusão terminológica.

b) Os textos do *software* atendem às normas gramaticais; utilizam vocabulário atualizado e correto; apresentam vocabulário específico claramente explicado no texto; evitam

utilizar analogias inapropriadas, causadoras de confusão entre o significado literal e metafórico; são claros e objetivos, estimulando a leitura e a exploração crítica dos assuntos.

c) Os textos do *software* favorecem uma abordagem que privilegia as relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente.

d) Os textos do *software* favorecem o desenvolvimento de noções sobre as características da Ciência e de sua produção.

e) Evitou-se criar estereótipos e preconceitos prejudiciais à construção da cidadania.

f) O *software* apresenta aspectos que podem contribuir para a motivação dos estudantes.

g) Evita-se a apresentação de fragmentos de conteúdos sob a justificativa de que poderão vir a ser importantes no futuro.

h) A estrutura hierarquizada (títulos, subtítulos e outros) é evidenciada por meio de recursos gráficos; a diagramação é isenta de erros; a revisão é isenta de erros graves; os textos e as ilustrações são distribuídos na tela de modo adequado e equilibrado.

i) Ilustrações, animações e vídeos são coerentes com os textos; são realmente necessários, não sendo supérfluos e dispensáveis ou incentivadores de consumo ou promoção de produtos comerciais específicos; são isentos de estereótipos e preconceitos.

j) O projeto gráfico e de som do *software* cria um ambiente agradável de aprendizagem.

k) Os estudantes podem fácil e independentemente operar o *software*.

l) O *software* usa apropriadamente capacidades computacionais relevantes (animações, vídeos, *hiperlinks* e outras).

m) Pode-se passar de uma tela a outra com rapidez; é fácil retornar ao local prévio durante a *navegação*; o *software* permite que o leitor se mova livremente entre as informações, de acordo com suas necessidades e interesses.

n) O *software* utiliza marcas especiais para identificar nós e ligações (*hiperlinks*).

o) O *software* opera de modo correto, sem interrupção de suas funções durante a *navegação*.

A questão 2 obteve concordância parcial de dois pesquisadores em virtude principalmente de algumas imprecisões conceituais já corrigidas na versão final do programa. Obteve concordância plena de 2 pesquisadores e de 59% dos licenciandos, indicando a existência de poucos equívocos quanto ao conteúdo.

A questão 4 obteve concordância plena de dois pesquisadores e 94% dos licenciandos, e concordância parcial de um pesquisador e um licenciando. Dois pesquisadores não responderam à questão. Na opinião da maior parte dos avaliadores, portanto, os conteúdos do *software* estão de acordo com os *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio* (PCNEM).

Nos itens 5, 11, 12, 16, 28 e 29 houve concordância parcial de três ou quatro dos avaliadores da categoria dos *pesquisadores*. Isso evidenciou que, na visão da maior parte dos pesquisadores, o *software* conseguiu apenas parcialmente:

a) Respeitar o grau de maturidade cognitiva do estudante, considerando o desenvolvimento gradual de estruturas de pensamento.

b) Estabelecer a ligação entre princípios estudados e fenômenos conhecidos pelos estudantes.

c) Apresentar informações suficientes para a compreensão dos temas abordados.

d) Empregar metodologia que não tem como característica principal a memorização de conteúdos e termos técnicos.

e) Exibir ilustrações, animações e vídeos que transmitam idéias corretas sobre conceitos, dimensões e cores, com predomínio da indicação de escalas para a compreensão adequada dos fenômenos apresentados e discriminação de cores-fantasia.

f) Utilizar ilustrações, animações e vídeos claros e explicativos.

Os itens 5 e 12 também foram considerados apenas parcialmente atendidos por 53% e 47% dos *licenciandos*, respectivamente, reforçando a percepção dos *pesquisadores* em relação aos aspectos abordados nessas questões (tópicos *a* e *c* da listagem anterior). Os itens 11, 16, 28 e 29 foram considerados atendidos plenamente por mais de 65% dos licenciandos. Após a avaliação, foram corrigidos equívocos e imprecisões que afetavam algumas ilustrações e animações, apontados por dois pesquisadores. Com isso, o item 29 (tópico *f* da listagem anterior) poderia ser julgado como integralmente contemplado pela maior parte dos pesquisadores.

Ao comentar sobre a adequação das informações do *software* ao grau de amadurecimento cognitivo dos estudantes, um dos pesquisadores apontou a existência de partes do material didático com características mais informativas do que formativas, de caráter mais próximo ao da divulgação científica. Isso talvez possa ser atribuído à ênfase conferida ao conceito de energia relativística e algumas de suas correlações com processos nucleares, bem como à construção de noções sobre o caráter provisório do conhecimento científico, as relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente, e a Ética na Ciência, em função dos objetivos da pesquisa para a qual o programa foi projetado. Devido a essas escolhas, algumas informações foram tratadas em nível mais geral, apresentadas como complementação. Em uma versão futura, os textos poderão ser revisados para ficar com graus de aprofundamento mais próximos. Outro pesquisador considerou que os conceitos e fenômenos abordados exigem raciocínio abstrato, sendo por isso mais indicados para o segundo e terceiro anos do Ensino Médio. Tornar essas idéias acessíveis nesse nível de ensino parece ser um desafio inerente à

disciplina em questão, embora isso também se verifique em diversas áreas da Física Clássica, que apresentam, outrossim, conceitos de grande sofisticação. A intenção do autor foi a de direcionar o material para alunos do terceiro ano do Ensino Médio, que tendem a possuir mais estruturas conceituais desenvolvidas para assimilar as idéias apresentadas. Entretanto, isso não deve ser entendido como uma defesa de que os tópicos de Física Moderna sejam tratados apenas ao final do Ensino Médio, pois uma transposição didática adequada permite contemplá-los em diferentes momentos desse nível educacional.

Quase todos os pesquisadores apontaram que o programa estabeleceu apenas de modo parcial a ligação entre princípios estudados e fenômenos conhecidos pelos estudantes. Isso se deve, provavelmente, ao foco do *software* em fenômenos que, embora relevantes, tais quais os relacionados à contração das distâncias, à dilatação dos tempos e à energia relativística, não fazem parte do dia-a-dia da maioria dos estudantes, embora tenham sido fornecidos exemplos relacionados a tecnologias, a aspectos históricos e a questões sociais e ambientais, para tentar fazer pontes com a estrutura cognitiva dos alunos.

Diversos avaliadores ponderaram que os textos atendem somente parcialmente ao critério de apresentar informações suficientes para a sua compreensão. Essa limitação demanda a atuação do professor para o melhor aproveitamento dos estudos, orientando a utilização do *software*, esclarecendo dúvidas, promovendo discussões e complementando com informações necessárias, conforme as questões levantadas pelos estudantes.

Nos itens 15, 19, 20, 21, 27, 34 e 38 houve concordância parcial ou discordância de três ou quatro dos avaliadores da categoria dos *pesquisadores*. Isso evidenciou que, na visão da maior parte dos pesquisadores, o *software* não conseguiu plenamente:

a) Expor o conteúdo considerando-se a experiência prévia dos estudantes.

b) Estabelecer algum tipo de articulação entre os temas expostos, no sentido de tirar proveito de conhecimento e / ou habilidades já adquiridas pelos estudantes.

c) Facilitar aos estudantes a percepção de relações entre os assuntos abordados.

d) Sugerir diferentes análises e perspectivas para os mesmos fenômenos, de modo a desenvolver a curiosidade e o espírito crítico.

e) Apresentar os textos mais longos de modo a não desencorajar a leitura (com recursos de descanso visual).

f) Utilizar ilustrações, animações e vídeos com títulos, legendas e / ou créditos e fontes de referência que contribuam para sua compreensão.

g) Disponibilizar ferramentas adequadas para a *navegação*.

Os itens 15, 19 e 21 foram considerados apenas parcialmente atendidos por 65%, 53% e 41% dos *licenciandos*, respectivamente, reforçando a percepção dos *pesquisadores* em relação aos aspectos abordados nessas questões (tópicos *a*, *b* e *d* da listagem anterior). Os itens 20, 27, 34 e 38 foram considerados atendidos plenamente por mais de 76% dos licenciandos.

A dificuldade na exposição dos assuntos tendo em vista a experiência anterior dos estudantes poderia ser contornada empregando-se organizadores prévios antes de se iniciar a utilização do *software*, como sugeriu um dos pesquisadores. Essa seria uma estratégia adequada para suprir eventuais lacunas conceituais dos estudantes, identificadas pelo professor em sua atuação e aplicável de modo flexível, conforme as necessidades de cada indivíduo.

Um aspecto criticado por alguns avaliadores foi a existência de textos longos, que poderiam desmotivar parte dos estudantes. O uso de ilustrações e animações, a subdivisão do texto em blocos menores, acessíveis por *links* exibidos no rodapé da tela, e a apresentação de temas relacionados a questões atuais foram estratégias empregadas para tentar diminuir esse efeito. Embora exija mais esforço dos estudantes, considera-se que isso traz o aspecto benéfico de valorizar a leitura, a interpretação e o debate de textos, capacidades importantes para a continuidade dos estudos pessoais, mesmo após a conclusão do ensino formal.

A partir das respostas ao instrumento de pesquisa, constatou-se que, segundo a maior parte dos avaliadores, de ambas as categorias, o *software* proposto atende plena ou parcialmente aos critérios de avaliação numerados de 1 a 43, englobando conteúdos e aspectos teórico-metodológicos, aspectos pedagógico-metodológicos, aspectos editoriais / visuais e aspectos técnicos. Desse modo, apesar dos pontos a serem aperfeiçoados, apontados diretamente na questão 45, o *software* em análise apresenta, na visão dos avaliadores, características capazes de contribuir para o processo de ensino e aprendizagem de Física Moderna. Essa conclusão foi reforçada a partir das considerações realizadas nas questões 44 e 46, e pelo posicionamento favorável ao uso do *software* pela maioria dos avaliadores, explicitado na questão 47.

6.3 Aprendizagem com o apoio da hipermídia

Para investigar o processo de ensino e aprendizagem com o suporte da hipermídia, o próprio pesquisador ministrou a estudantes do Ensino Médio um curso introdutório com a utilização do *software Tópicos de Física Moderna*.

Buscou-se investigar o desenvolvimento das seguintes idéias pelos estudantes:

- a) A equivalência entre massa e energia.
- b) O caráter descontínuo da evolução do conhecimento e sua provisoriedade.
- c) As relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente.
- d) O papel da Ética em Ciência.

Além desses aspectos conceituais, foram analisados a interação dos estudantes com o sistema hipermídia e sua opinião quanto ao curso e em relação ao *software*. Na avaliação dos resultados, embora os conteúdos conceituais tenham sido considerados mais

pormenorizadamente, procurou-se dar atenção também à influência do curso e do *software* sobre a motivação dos estudantes e, ainda, a indícios de aprendizagem de conteúdos procedimentais e atitudinais.

Para o registro de dados durante o curso, utilizou-se a seguinte metodologia:

a) As aulas foram filmadas.

b) Um diário descrevendo as atividades realizadas em sala de aula e contendo observações, impressões e análises do professor-pesquisador foi elaborado, a fim de possibilitar a anotação de informações que não fossem captadas na filmagem.

c) Um instrumento de pesquisa contendo um conjunto de questões para avaliar o entendimento dos estudantes quanto aos conceitos investigados foi respondido antes do início do curso e logo após seu término. Esse instrumento, denominado *Questionário sobre conceitos científicos e Ciência* encontra-se reproduzido no *apêndice B*.

d) Foram coletadas as respostas por escrito dos alunos a algumas questões que constituem parte do próprio *software* utilizado para a realização do curso, visando a reunir material adicional para a análise das concepções em construção dos estudantes. Essas perguntas, reproduzidas no *apêndice C*, foram respondidas individualmente pelos estudantes após períodos de explicações, leituras e debates.

e) Foi utilizado um questionário para o levantamento da opinião dos estudantes quanto ao curso e ao *software*, adaptado dos trabalhos de Athayde (1990) e de Machado e Santos (2004). Esse instrumento de pesquisa, denominado *Questionário de Opinião dos Estudantes sobre o Uso da Hipermídia no Curso de Física*, foi incluído no *apêndice D*.

f) Os estudantes foram entrevistados, ao final do curso, com o intuito de aprofundar o conhecimento de sua opinião quanto ao curso e ao *software* e para se obter esclarecimentos adicionais sobre sua aprendizagem. Essas entrevistas foram filmadas. O roteiro para a entrevista encontra-se reproduzido no *apêndice E*.

6.3.1 Realização do módulo didático com o *software*

O curso introdutório à Física Moderna realizou-se de 03/11 a 28/11/2005, com aulas ocorrendo à noite, de 19 h às 21 h. Esse horário foi escolhido pelos próprios estudantes, que também assistiam às aulas regulares do Ensino Médio no período matutino. O módulo didático teve duração de 20 horas, com a realização de 10 encontros de duas horas cada um, duas ou três vezes por semana.

A turma constituiu-se inicialmente de 10 estudantes que estavam completando o terceiro ano do Ensino Médio em uma escola pública. Os alunos foram incentivados a matricular-se no curso pelo professor de Física encarregado das aulas regulares, com o qual pareciam manter bom relacionamento. A participação no curso não era atividade obrigatória. Os alunos inscreveram-se movidos basicamente pelo interesse em aprofundar seus conhecimentos, pois não receberiam uma nota na disciplina regular de Física em virtude de terem tomado parte no curso de Física Moderna.

Dentre os estudantes matriculados, dois compareceram a apenas uma aula e outro a somente três aulas, no início do curso. Logo, concluíram o curso sete estudantes, que serão considerados neste trabalho para fins de análise do uso da hipermídia no ensino de Física Moderna. Segundo o docente responsável pela turma regular, esses alunos estavam entre aqueles com melhor desempenho em sua disciplina.

O modo pelo qual a turma foi constituída provavelmente resultou no envolvimento de estudantes com atitudes mais positivas em relação ao estudo da Ciência e com maior motivação para a aprendizagem, quando comparado com uma classe típica.

Os estudantes serão designados com a utilização dos símbolos E₁, E₂, E₃, E₄, E₅, E₆ e E₇, para que suas identidades sejam preservadas. Dos sete estudantes, quatro são do sexo masculino (E₁, E₂, E₆ e E₇) e três são do sexo feminino (E₃, E₄ e E₅).

Dialogando com os alunos, foi possível obter informações quanto às idéias que possuíam sobre a continuidade de seus estudos após a conclusão do Ensino Médio. Somente o estudante E₇ não pretendia fazer logo o exame para ingresso em um curso superior. O estudante E₁ tinha planos para cursar Ciência da Computação, embora o curso de Física também o atraísse. O estudante E₂ interessava-se por Administração de Empresas, a estudante E₃ por Ciências Biológicas, a estudante E₄ por Engenharia Mecânica, a estudante E₅ por Fisioterapia e o estudante E₆ por Engenharia Elétrica. Assim, embora a turma fosse reduzida, englobava alunos com diferentes inclinações do ponto de vista intelectual, conferindo certa heterogeneidade ao grupo quanto a esse aspecto, semelhante à encontrada em uma classe típica.

No primeiro encontro do curso, foi solicitado aos estudantes que respondessem ao *Questionário sobre conceitos científicos e Ciência*. Além de permitir que fossem evidenciados conhecimentos prévios dos estudantes relacionados às noções centrais que se visava a desenvolver com a utilização do *software*, essas atividades tinham o objetivo de iniciar a mobilização de subsunçores para favorecer a aprendizagem significativa.

Objetivando facultar a construção de conceitos e possibilitar aos estudantes a explicitação do entendimento que estavam adquirindo, as demais aulas foram desenvolvidas de acordo com a seguinte seqüência didática:

- a) Explanação inicial do professor.
- b) Exploração de um tópico do sistema hipermídia pelos alunos.
- c) Debate das questões propostas no *software* em dupla e com o professor.
- d) Debate das questões envolvendo toda a turma.
- e) Resposta individual às questões e entrega do material ao professor.

A disposição dos estudantes na sala de aula foi feita de modo a existirem duas pessoas utilizando cada computador. Tal orientação teve o objetivo de favorecer o trabalho

conjunto e a troca de idéias entre os estudantes durante as atividades, procurando contemplar aspectos motivacionais e de aprendizagem. Com a desistência de três alunos, um dos estudantes acabou ficando sozinho em um computador, embora eventualmente dialogasse com colegas próximos.

Os textos trabalhados nas aulas e a ordem de apresentação destes, estabelecida com base nos princípios da *Teoria da Aprendizagem* de Ausubel, seguiram a seqüência principal descrita no item 6.1 deste capítulo. Alguns textos existentes no *software* não foram abordados devido à limitação de tempo imposta na realização do curso introdutório.

No último encontro do curso, foi solicitado aos estudantes que respondessem novamente ao *Questionário sobre conceitos científicos e Ciência*. Essa atividade teve o objetivo de evidenciar conhecimentos finais dos estudantes quanto às noções centrais cujo desenvolvimento com a utilização do *software* estava sendo pesquisado e avaliar o processo de construção de conceitos dos estudantes.

A seguir, serão apresentadas as principais atividades e ocorrências durante as aulas, com alguns comentários sobre os pontos mais relevantes. Na tabela 2, mostra-se em quais encontros os alunos estiveram presentes.

Tabela 2. *Presença dos estudantes no curso.*

		Encontro									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Estudante	E ₁	X	X	X		X	X	X		X	X
	E ₂	X	X	X	X	X	X	X		X	X
	E ₃		X	X	X	X	X	X	X	X	X
	E ₄	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	E ₅	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	E ₆	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	E ₇	X	X		X	X	X		X	X	X

Primeiro Encontro (03/11/2005, quinta-feira)

Inicialmente os alunos buscaram responder ao *Questionário sobre conceitos científicos e Ciência*. Alguns estudantes não preencheram o questionário, enquanto outros esboçaram idéias em tópicos sobre os quais tinham algum conhecimento ou alguma base para refletir e fazer inferências. As respostas, reproduzidas na seção 6.3.2 deste trabalho, evidenciaram que os estudantes tinham poucas informações sobre os assuntos a serem tratados no curso. Após essa atividade, o professor explicou brevemente o funcionamento do *software*, incluindo o uso do mapa de *navegação* nele contido.

Em seguida, fez uma introdução ao curso, fornecendo uma idéia geral dos temas que seriam abordados. Estabeleceu, então, uma distinção entre *Física Clássica* e *Física Moderna*, expondo os limites dos modelos clássicos e enfatizando a necessidade de se utilizar a *Teoria da Relatividade* no estudo de corpos que se movem a altas velocidades, próximas daquela da luz, e de se empregar a *Mecânica Quântica* na descrição do mundo microscópico.

Foram indicados para leitura os textos *Visão Inicial*, *Conceitos de Física Clássica* e *Conceitos de Física Moderna*. Os estudantes deveriam debater e entregar respondidas a questão 4 do segundo texto mencionado e as questões 1, 2 e 10 do último.

O docente procurou interagir com as duplas de estudantes fazendo comentários relativos a certos pontos que estavam estudando e ficando aberto às perguntas formuladas pelos alunos. Algumas figuras e animações do *software* serviram de ponto de apoio para o professor discutir com cada dupla de estudantes os conceitos centrais que estas ilustravam. A animação mostrando a propagação de uma onda eletromagnética, por exemplo, auxiliou os estudantes E_2 e E_4 a visualizar o conceito, novo para eles. Diagramas bidimensionais ilustrando a curvatura do espaço também foram úteis no esclarecimento dos alunos.

Houve maior participação espontânea dos estudantes quando estes começaram a trabalhar com as questões propostas ao final dos textos. Os alunos buscaram debater as

perguntas com os colegas e com o docente, esforçando-se para respondê-las a partir do texto e da troca de idéias.

Os novos significados conferidos pela *Teoria da Relatividade* a conceitos tradicionais tais quais espaço, tempo, massa, energia e gravitação instigaram de modo geral a curiosidade e causaram certa perplexidade por desafiar o que os estudantes já haviam estudado e o próprio senso comum.

Alguns alunos acharam mais natural o fato de um objeto encurtar quando seu comprimento era medido em um referencial no qual se movimentava, em comparação com a diferença verificada na medida do tempo próprio registrado no referencial de repouso e do tempo dilatado aferido no referencial em movimento em relação a este. Dentre outros exemplos, o professor comentou durante a aula que era preciso levar a dilatação dos tempos em conta nos projetos de GPS (Posicionamento Global por Satélite), a fim de evidenciar a relação do tema com questões práticas. A estudante E₄ disse que refletiria mais sobre a dilatação dos tempos após a aula. Os estudantes E₁ e E₅ manifestaram o desejo de saber de que modo Einstein chegara à suas conclusões. O docente disse que isso seria aprofundado ao longo dos encontros.

Ao final da aula, os estudantes não pareciam cansados, demonstrando motivação para continuar o estudo. Indagados sobre a pertinência da metodologia adotada nas aulas, os estudantes responderam afirmativamente. Não houve tempo para fazer a discussão final das questões propostas com a turma toda e essa atividade foi deixada para o próximo encontro.

Segundo Encontro (04/11/2005, sexta-feira)

A aula foi iniciada com os comentários dos alunos, envolvendo a turma toda, sobre as questões analisadas no encontro anterior. Os estudantes informaram que ficaram bastante intrigados com o fenômeno da dilatação dos tempos, tentando entender sua razão.

Ao comentarem a quarta questão do texto *Conceitos de Física Clássica*, referente às dificuldades enfrentadas pela Física Clássica ao final do século XIX, os alunos concordaram que esta enfrentava problemas, porém não conseguiram citar exemplos específicos. É provável que isso tenha ocorrido pelo fato de fenômenos pouco familiares aos alunos, tais como a radiação de corpo negro, o efeito fotoelétrico e as linhas espectrais, terem sido apresentados de modo muito sucinto nos textos lidos, impedindo sua assimilação de modo significativo. O estudante E₁ apontou que havia limitações em processos envolvendo altas velocidades e escalas microscópicas.

Na discussão da primeira questão do texto *Conceitos de Física Moderna*, sobre as diferenças entre as concepções de espaço e tempo existentes na Física Clássica e na Física Moderna, alguns estudantes citaram a questão da dilatação dos tempos. Embora tenham sentido dificuldade em se lembrar do efeito da contração das distâncias, alguns estudantes recordaram-se quando o professor indagou sobre o comprimento de objetos em movimento.

Os estudantes recorreram a seguir sobre a segunda questão do texto *Conceitos de Física Moderna*, relativa à implicação da equivalência entre massa e energia estabelecida pela Física Moderna. Alguns explicitaram o conceito enunciando que quanto maior a massa de um corpo, maior a energia associada, sendo a recíproca verdadeira. Não associaram o princípio a aplicações. O professor comentou, então, brevemente, sobre a liberação de energia associada à diminuição de massa na reação de fissão do urânio e as aplicações desse fenômeno em reatores nucleares e bombas atômicas.

Na discussão dessa questão, o estudante E₁ formulou espontaneamente um modelo no qual relacionava a dilatação de um objeto ao aumento de massa verificado quando este ganha energia térmica. Ao elaborar essa idéia, o aluno deixou subentendido que a ampliação do volume ocupado pelo corpo era uma consequência do incremento de sua quantidade de matéria, evidenciando não discriminar claramente esse conceito e o de massa

inercial. O docente explicou que a dilatação devido ao aumento da temperatura do objeto poderia ser entendida classicamente em função da maior agitação de seus átomos ao receber energia. Esclareceu que o acréscimo de massa previsto pela Teoria da Relatividade nesses casos é, em geral, muito pequeno para ser medido. Desse modo, procurou enfraquecer a concepção de que as dimensões do corpo se ampliavam devido ao crescimento de sua quantidade de matéria. Uma abordagem explícita do professor às diferenças entre os conceitos de quantidade de matéria e massa inercial teria sido adequada para auxiliar na melhoria da discriminabilidade das idéias, porém não foi realizada.

A última questão comentada foi a de número dez do texto *Conceitos de Física Moderna*, sobre a possibilidade de que um dia todos os mistérios do Universo sejam descobertos e a Ciência deixe de progredir. A maioria dos alunos ponderou que sempre haverá algo a descobrir e a Ciência nunca chegará ao fim. Entretanto, o estudante E₆ argumentou que tudo tem um limite, incluindo a Ciência. A discussão dessa questão mostrou que há temas sobre os quais nem sempre é possível estabelecer um consenso, embora tenha havido concordância de que a Ciência tende a evoluir, embora não se saiba seu limite.

Após o debate, o docente solicitou que os estudantes lessem os textos *Desenvolvimento Histórico da Teoria da Relatividade* e respondessem às questões 5, 7, 8, 12, 16 e 17. A seguir, deveriam estudar o texto *Metodologia dos Programas de Pesquisa* e responder a todas as seis questões nele propostas.

Durante a leitura do texto histórico, surgiram questões relativas aos conceitos de éter e interferômetro. Um questionamento da estudante E₃ sobre a igualdade entre massa inercial e gravitacional pôde ser esclarecido de modo mais adequado com o apoio de uma animação ilustrando o princípio da equivalência, disponível no texto *Teoria da Relatividade Geral*, na qual se comparavam os efeitos devido à gravidade e à aceleração uniforme de um referencial.

Uma concepção alternativa foi evidenciada quando os estudantes E_2 e E_4 , ao verem uma ilustração mostrando uma sequência de réguas cujo comprimento era cada vez menor, em função de sua velocidade maior, indagaram se isso era aplicável a outros corpos. O professor teve a oportunidade de esclarecer a questão, salientando que qualquer corpo estava sujeito a esse efeito. Tal fato sugeriu a conveniência de se acrescentar algum comentário na legenda da figura, informando sobre a generalidade do fenômeno.

Os estudantes pareceram achar difíceis algumas idéias do texto sobre o desenvolvimento histórico da Teoria da Relatividade. A maior dificuldade foi compreender as razões que levaram Einstein a propor suas idéias, que envolvem considerações teóricas sobre a natureza das leis da Mecânica e do Eletromagnetismo, e sua forma em diferentes referenciais. Outro fator que dificultou o entendimento foi o desconhecimento dos estudantes de idéias clássicas tais como a ação de um campo magnético sobre uma carga elétrica em movimento ou o fenômeno ondulatório da interferência, o que demandou esclarecimentos adicionais por parte do professor, em nível geral e qualitativo, a fim de prover subsunções para a aprendizagem.

Apesar das dificuldades inerentes aos assuntos estudados, a estudante E_4 declarou que no encontro de hoje já estava começando a entender melhor as idéias, pelo fato de voltar a revê-las de outro modo. Esse comentário é evidência favorável à forma como o princípio da diferenciação progressiva foi empregado na estruturação do *software*, pois as idéias foram vistas de modo mais genérico no encontro anterior e na presente aula passaram a ser examinadas novamente com um pouco mais de detalhamento, embora ainda de modo essencialmente qualitativo.

A estudante E_5 perguntou durante a aula porque não se estudava mais Física Moderna no colégio, se suas teorias explicavam mais aspectos do mundo. Teve tendência a considerar a Física Clássica ultrapassada e a sentir-se desmotivada para estudá-la na escola. O

docente concordou sobre a importância de se introduzir temas de Física Moderna no Ensino Médio, mas acrescentou que a Física Clássica ainda mantinha alguma importância, sendo útil em diversos campos da Engenharia, por exemplo. Tal ocorrência parece sinalizar que os temas da Física Moderna, além de despertarem o interesse, tendem a ser considerados relevantes pelos estudantes devido à sua atualidade.

Os alunos conseguiram durante este encontro estudar apenas o primeiro texto indicado, sem chegar a finalizar as questões propostas.

Terceiro Encontro (07/11/2005, segunda-feira)

As atividades não completadas no encontro anterior foram retomadas. Os alunos buscaram discutir com o professor as questões sobre as quais tinham dúvidas.

A estudante E_3 indagou sobre o significado da precessão do periélio de Mercúrio e pôde entendê-la melhor quando o docente explicou o fenômeno com o apoio da animação disponível no *software*.

Em determinado momento, o estudante E_6 disse que sabia da importância da parte teórica, mas a considerava algo enfadonho. Comentou que não tinha o hábito de ler e mostrou-se interessado em lidar com os cálculos da Teoria da Relatividade. Esse desejo foi manifestado também por outros alunos. Provavelmente a falta do costume de ler causou um pouco de resistência em alguns estudantes, ao serem incentivados a explorar o material contido no *software*. Entretanto, isso constituiu também oportunidade para desenvolver habilidades relativas à leitura e interpretação de textos, conteúdos procedimentais relevantes para a continuidade dos estudos pessoais nos próximos níveis de ensino e pelo restante da vida. O fato de os alunos serem mais exigidos quanto à leitura não representou, porém, barreira significativa ao desenvolvimento do curso.

Quando todos os estudantes terminaram de ler o texto sobre o desenvolvimento histórico da Teoria da Relatividade e de responder às questões indicadas, foi realizado um debate com a turma toda.

As razões lógicas para se propor a Teoria da Relatividade configuraram-se como uma dificuldade ao entendimento pelos estudantes. Apesar disso, estes pareceram ter adquirido uma noção geral a respeito, como evidenciaram seus comentários referentes à questão sete, sobre as contradições resolvidas por Einstein ao criar a Teoria da Relatividade Restrita. Alguns alunos citaram que essa teoria resolvia incoerências existentes entre a Mecânica e o Eletromagnetismo, embora nem todos tenham considerado o fato de a primeira ser válida em qualquer referencial inercial e a segunda não, na Física Clássica. A possibilidade de explicar o experimento de Michelson e Morley não foi mencionada nos debates, embora tenha sido registrada nas respostas escritas.

Na discussão da questão 12, relativa às implicações da idéia de equivalência entre massa e energia, alguns estudantes conseguiram expor o conceito, citando as bombas atômicas como exemplo de aplicação relacionada. O estudante E₆ relacionou a equivalência massa-energia com a fusão, embora tenha confundido o fenômeno com uma tecnologia.

Na abordagem da questão 17, sobre a forma como as idéias da Física evoluem, a estudante E₃ considerou que não houve ruptura ao se passar da Mecânica de Newton para a de Einstein, mas apenas um aperfeiçoamento, evidenciando uma concepção de desenvolvimento cumulativo linear da Ciência. Os demais alunos concordaram com a idéia de ruptura, mencionando como exemplo a substituição da teoria de Newton pela de Einstein. Desse modo, verificou-se, após o estudo da História da Ciência, que a maioria dos estudantes pareceu se identificar com uma visão sobre a evolução do conhecimento marcado por rupturas e descontinuidades ao longo do tempo, em conformidade com a Epistemologia contemporânea.

Ao final deste encontro, após ter lido o texto *Metodologia dos Programas de Pesquisa* e respondido às questões propostas, a estudante E₄ relatou que esta havia sido a aula que melhor entendera até o momento. Essa declaração sinaliza que a aluna julgou os textos dessa aula acessíveis à sua compreensão. Entretanto, não pode isoladamente ser interpretada como um indicador seguro da apreensão da essência das idéias estudadas.

A maior parte dos alunos não conseguiu terminar a leitura do texto referente aos programas de pesquisa neste encontro.

Quarto Encontro (09/11/2005, quarta-feira)

Os estudantes continuaram a leitura do texto *Metodologia dos Programas de Pesquisa* e o trabalho com as questões propostas ao final.

A estudante E₃ questionou sobre a diferença entre núcleo firme e cinturão protetor e também a respeito do significado de hipótese *ad hoc*, recebendo explicações do professor a respeito. Após o estudo do texto com idéias de Lakatos, essa aluna começou a se indagar se mesmo as teorias da Física Moderna não poderiam ser modificadas algum dia, o que representou um fortalecimento da noção de que a Ciência é algo em evolução.

No debate com a turma toda, ao considerar a primeira questão do último texto estudado, alguns alunos expressaram a concepção de que a Mecânica de Newton não seria um programa de pesquisa, pois não estaria em desenvolvimento, ao contrário da Teoria da Relatividade. Esse entendimento equivocado pode ter sido produzido porque a teoria de Newton é mais antiga e foi suplantada pela de Einstein, causando a impressão de não mais estar em andamento. O fato de essa teoria ainda servir de base para estudos no campo da Engenharia, dentre outras áreas, foi mencionado visando a desfazer essa noção, juntamente com a ponderação de que a teoria newtoniana predominava quando a abordagem relativística foi apresentada.

A exposição de idéias relacionadas à questão 5 do texto, sobre programas de pesquisa progressivos ou regressivos, evidenciou que a maior parte dos estudantes compreendeu a importância de uma teoria fazer novas previsões corroboradas para poder predominar. Isso mostra também que o *software* parece ter fornecido alguns elementos para evitar a construção de uma visão *indutivista* do método científico.

Após o debate, o professor fez breve introdução à Teoria da Relatividade, explicitando a diferença entre Relatividade Restrita e Geral. Apresentou os postulados da Relatividade Restrita e comentou que a partir desses pressupostos é possível deduzir conseqüências tais como a dilatação dos tempos, a contração das distâncias e a equivalência massa-energia.

Os alunos passaram então à leitura dos textos *Introdução ao Módulo Teoria da Relatividade*, *Postulados da Teoria da Relatividade Restrita* e *Dilatação dos Tempos*. O docente solicitou que os dois primeiros problemas do texto sobre a dilatação dos tempos fossem resolvidos.

Durante o estudo, atendendo a uma das duplas de alunos, o professor forneceu explicação sobre como se chegava à constatação de que a medida do tempo em referenciais diferentes poderia variar, com base nos postulados da Teoria da Relatividade. Para isso, foi considerada a animação mostrando a reflexão da luz entre dois espelhos, vista a partir de referenciais distintos. No primeiro, os espelhos estavam em repouso e, no segundo, movimentavam-se em linha reta com velocidade constante. A animação auxiliou na visualização do que ocorria, pois a trajetória em cada referencial não possuía o mesmo comprimento, implicando intervalos de tempo diferentes para o percurso, uma vez que a velocidade de propagação da luz era a mesma em qualquer caso. Essa explicação despertou o interesse dos demais estudantes, que também acabaram acompanhando atentamente e informaram ter compreendido os aspectos principais do processo. O esclarecimento realizado com o apoio da animação tornava a conclusão sobre a dilatação dos tempos algo bastante

lógico, embora alguns alunos tenham tido dificuldade em fazer a reconciliação integrativa e perceber que do ponto de vista clássico isso não seria natural, pois a velocidade de luz não poderia ser a mesma nos dois referenciais utilizados. A demanda por explicações que evidenciassem a lógica da dilatação dos tempos indicou a pertinência de se incluir, em uma próxima versão do *software*, a demonstração desse fenômeno a partir dos postulados da Teoria da Relatividade, utilizando-se de noções matemáticas conhecidas pelos estudantes.

Ao iniciarem o trabalho com as questões propostas, apesar de haver exemplos detalhadamente explicados no texto, os alunos pediram ao professor que resolvesse o primeiro problema no quadro, pois estavam mais acostumados a essa metodologia. Provavelmente tinham a expectativa de que o docente resolveria um exercício semelhante a cada questão apresentada ao final dos textos, ao menos quando procedimentos matemáticos estivessem envolvidos.

Tal forma de ensinar, desde que se ressalte o sentido de cada etapa realizada, pode contribuir para o estudante assimilar padrões de solução de problemas, aos quais é possível recorrer para tratar questões similares ou mesmo para encontrar caminhos visando à superação de novos desafios. Entretanto, é preciso estar atento para que essa estratégia não conduza à aprendizagem mecânica, caso se estimule o aluno apenas a memorizar padrões de solução e aplicá-los sem raciocinar sobre o significado de cada passo do processo.

Buscando favorecer o desenvolvimento cognitivo dos estudantes, o professor acedeu em deslindar no quadro a primeira questão, discutindo inicialmente o enunciado, a situação física envolvida e as variáveis relevantes existentes. Então, escreveu uma equação que poderia relacionar as variáveis, examinando o significado de cada termo na expressão matemática. Finalmente, executou os cálculos comentando cada etapa e procurou analisar a resposta obtida, confrontando-a com o resultado esperado em uma abordagem mais qualitativa. Em diversos momentos, o docente indagou se havia dúvidas e forneceu esclarecimentos a partir de solicitações dos alunos.

Ao final da aula, a estudante E_4 considerou que não era muito difícil efetuar os cálculos necessários para solucionar os problemas indicados.

Quinto Encontro (11/11/2005, sexta-feira)

Os alunos retomaram o segundo problema do texto sobre a dilatação dos tempos, não finalizado no encontro anterior, e prosseguiram com a leitura do texto *Contração das Distâncias* e a resolução do primeiro problema sobre esse tema.

A simulação de viagem a uma velocidade próxima à da luz despertou o interesse dos estudantes e possibilitou uma discussão sobre as diferenças entre o que se mede e o que se vê quando um objeto se move rapidamente.

Ao abordar os problemas, a maioria dos alunos já demonstrava alguma familiaridade com os conceitos, em função das discussões progressivas realizadas desde o início do curso, revelando possuir subsunçores para se dedicar a aspectos mais específicos do conteúdo. As concepções de tempo e espaço – distintas das noções clássicas – cujas medidas poderiam variar conforme o referencial em que eram tomadas, tratadas num primeiro momento qualitativamente e depois quantitativamente, já pareciam integrar a estrutura cognitiva dos estudantes. Estes também já possuíam idéias sobre como resolver problemas de natureza semelhante à dos propostos, após terem examinado a primeira questão sobre dilatação dos tempos – acompanhando as explicações do professor – e estudado os exemplos disponíveis no texto.

Os estudantes E_4 , E_5 e E_6 tiveram mais facilidade para compreender as questões e desenvolver os cálculos. Os estudantes E_3 e E_7 , embora com um pouco de dificuldade, também conseguiram obter soluções e entender as idéias. O estudante E_2 não estudou a contração das distâncias, por ter se distraído, e teve mais dificuldade no segundo problema sobre dilatação dos tempos, embora também tenha conseguido compreendê-lo e solucioná-lo.

As ocorrências sugeriram que o nível matemático do *software* está adequado ao Ensino Médio, com grau intermediário de dificuldade.

Os estudantes E_4 e E_6 espontaneamente buscaram auxiliar outros alunos no entendimento de detalhes dos problemas que estavam sendo resolvidos, colaborando para a compreensão dos colegas. Esse tipo de comportamento pareceu ter sido favorecido pela metodologia de trabalho adotada, em que os estudantes eram incentivados a trocar idéias entre si.

O estudante E_1 , que faltara ao encontro anterior e trabalhava sozinho neste, limitou-se a anotar a solução da primeira questão do texto *Dilatação dos Tempos* e permaneceu distraído no restante da aula, sem se concentrar nas atividades indicadas no início. Os estudantes estavam mais dispersivos neste encontro, tendo passado uma parte do tempo conversando sobre assuntos não relacionados ao tema. Também não se sentiram motivados, após terem completado as atividades indicadas, a explorar outros textos do *software*. É possível que fatores externos tenham influenciado essa atitude, tal como o fato de ser sexta-feira à noite, próxima a um período de feriado prolongado (não haveria aula na segunda-feira e na terça-feira), além do cansaço dos alunos. De qualquer modo, isso mostrou que o *software* utilizado não constitui por si só garantia de motivação contínua para os estudantes, embora possua vários elementos que a estimulem.

Apesar do exposto, os alunos esforçaram-se para apreender os temas propostos e a maior parte conseguiu alcançar alguma compreensão sobre o assunto, em nível introdutório, como evidenciaram as questões solucionadas e os comentários realizados durante a aula.

Sexto Encontro (16/11/2005, quarta-feira)

O texto *Momento Linear Relativístico* foi excluído da programação devido ao pouco tempo disponível, tendo-se em vista que isso não acarretaria problemas para o entendimento dos próximos assuntos.

A aula iniciou-se com uma introdução do professor ao tema energia, abordando algumas de suas modalidades e o princípio de conservação associado ao conceito, buscando contribuir para a mobilização de subsunçores dos alunos. As transformações de energia na usina hidrelétrica de Itaipu foram utilizadas para exemplificar a idéia. O docente mencionou o papel fundamental do Sol como fonte principal de energia da Terra e comentou sobre as reações de fusão do hidrogênio que ocorriam em seu interior. Nem todos os estudantes se lembravam de ter estudado o conceito de energia durante o curso regular de Física. Alguns já tinham ouvido falar de energia potencial, porém não sabiam defini-la.

O conceito de equivalência massa-energia foi reapresentado e o professor comentou que essa idéia fora introduzida pela Teoria da Relatividade, não existindo correspondente na Física Clássica. Ao comentar que a equação $E_0 = mc^2$ era famosa, o estudante E₂ disse que a desconhecia antes do curso.

Os alunos foram orientados a estudar o texto *Energia Relativística* e a responder às duas questões propostas ao final. Em seguida, deveriam ler o texto *Física Nuclear*, que constituía um organizador prévio para auxiliar na aprendizagem dos próximos assuntos.

O primeiro texto foi lido rapidamente e os problemas foram resolvidos. A questão de número um demandava explicar o equívoco existente na afirmação de que massa poderia ser convertida em energia. Os estudantes afirmaram ter compreendido as idéias e suas dificuldades concentraram-se nos cálculos e no uso da calculadora científica. Esse fato, no entanto, não permite afirmar que houve a assimilação de todos os aspectos do complexo conceito de equivalência massa-energia, pois, como será mostrado adiante, algumas limitações foram constatadas. Os alunos com maior desenvoltura novamente procuraram auxiliar os outros, manifestando solidariedade. Isso sinalizou que durante o curso pode ter havido aprendizagens de ordem atitudinal. Apesar de a realização das operações matemáticas terem demandado esforço, isso não impediu, de modo geral, o aproveitamento dos estudos.

O texto *Física Nuclear* foi visto na parte final da aula. As estudantes E₃ e E₅ questionaram sobre o motivo de a radiação ser considerada um perigo à saúde e receberam alguns esclarecimentos gerais a respeito.

Os alunos demonstraram interesse pelos temas tratados e dedicaram-se às atividades propostas durante toda a aula. Ao final, o docente expôs brevemente a diferença entre reações químicas e nucleares e definiu sucintamente as radiações alfa, beta e gama.

Sétimo Encontro (18/11/2005, sexta-feira)

Na seqüência, os alunos deveriam estudar os textos *Fissão Nuclear* e *Fusão Nuclear*, e também resolver um problema relativo a cada tema. Já habituado com a forma de trabalho, cada estudante foi iniciando a leitura logo ao chegar na sala de aula, enquanto ainda aguardava os demais. Tal fato sugere a ocorrência de aprendizagem de um conteúdo procedimental, pois mesmo o estudante E₆, que afirmara anteriormente não possuir o hábito de ler, dedicava-se, pela própria iniciativa, à exploração dos textos e à reflexão sobre as questões associadas.

Em conversa com o estudante E₆, o docente indagou se este estava compreendendo bem os temas. Ele respondeu que as explicações do professor eram importantes para poder entender melhor. Essa interação e as perguntas feitas de tempos em tempos pelos alunos sobre os conteúdos estudados forneceram indícios de que as orientações do professor eram necessárias para a aprendizagem com a utilização do *software*.

O significado do prefixo M (mega) e da unidade eV (elétron-volt) foram pontos questionados pelos estudantes. O professor foi mais solicitado quando os alunos depararam com cálculos do exemplo resolvido no texto sobre fissão e ao trabalharem com o problema relacionado a esse tema. Foi preciso discutir item a item esse problema para poderem apreender o que era pedido e encaminhar a solução. Todos conseguiram solucionar a questão,

embora os estudantes E_1 e E_2 tenham demorado mais. O estudante E_2 chegou a sentir-se desanimado, porém, com o apoio do professor, superou os obstáculos.

O docente procurou enfatizar, em interação com cada dupla de estudantes, que na reação de fissão nuclear a massa dos produtos é menor que a dos reagentes e a energia associada a essa diferença é liberada.

Na parte final da aula, todos conseguiram ler o texto sobre fusão nuclear e resolver o problema proposto, com a exceção do estudante E_1 , que trabalhou sozinho. Como o raciocínio necessário para compreender o exemplo resolvido e o problema solicitado era semelhante ao que fora visto um pouco antes, os alunos não tiveram dificuldades. A estudante E_4 afirmou claramente que considerou mais fácil resolver a questão sobre fusão devido ao entendimento adquirido no texto anterior, um sinal do desenvolvimento de sua estrutura cognitiva.

Alguns alunos detiveram-se nas animações ilustrando a fissão e a fusão, que parecem ter ajudado a visualizar os fenômenos. O professor questionou sobre a diferença entre fissão e fusão, e os estudantes E_5 e E_6 expuseram as distinções com suas próprias palavras, denotando ter assimilado os conceitos de modo significativo. Essa diferença foi depois enfatizada pelo professor a cada uma das duplas de alunos. Os estudantes, de modo geral, trabalharam com empenho e pareceram ter assimilado bem os assuntos da aula.

Devido ao pouco tempo disponível para a conclusão do curso, o texto *Biografia de Albert Einstein* foi indicado para leitura em casa.

Oitavo Encontro (21/11/2005, segunda-feira)

Enquanto aguardavam os demais chegarem, os estudantes E_4 e E_6 exploraram o texto *Radioatividade*, seguindo sugestão do professor. A estudante E_4 expôs então o caso de sua mãe, que necessitou ingerir iodo radioativo em um tratamento de câncer de tireóide. Recordou-se

que na época não podia se aproximar dela devido à radioatividade. Esse episódio revelou conhecimentos prévios da aluna quanto a um tema do *software*, mostrando a existência de pontos de contato entre algumas de suas noções obtidas no cotidiano e o material estudado.

O docente perguntou logo no início da aula aos estudantes E₄ e E₆ se costumavam explicar os assuntos aos colegas em suas atividades escolares do dia-a-dia. Disseram que às vezes emprestavam o caderno, porém não se dedicavam a explanações. Isso reforçou a observação de que o modo de trabalho em duplas adotado neste curso favoreceu a troca de informações entre os estudantes e contribuiu para a aprendizagem não só de conceitos e procedimentos, mas também de atitudes tais quais a solidariedade e a valorização das idéias dos colegas.

Neste encontro, os estudantes deveriam trabalhar com os textos *Reatores Nucleares* e *Acidente Radioativos*, e responder a todas as oito questões daquele e as duas últimas deste. Somente houve tempo para a conclusão do primeiro assunto. Os alunos conseguiram formular respostas com suas próprias palavras após discutir o conteúdo com o professor, denotando reflexão e assimilação de conceitos de modo significativo. Esse processo ocorreu de modo lento e gradual, com alguns estudantes fazendo reformulações das respostas por iniciativa própria, até alcançar uma versão que consideraram satisfatória.

Essa ocorrência e outras observadas em encontros anteriores forneceram evidências de que as questões existentes no final dos textos auxiliaram os estudantes a aprofundar o entendimento, motivando discussões entre estes e com o professor, direcionando a atenção a pontos-chave do texto e favorecendo a aprendizagem significativa de conceitos.

O docente perguntou, em determinado momento, a cada dupla de alunos separadamente, sobre o princípio físico associado ao funcionamento dos reatores. Não conseguiram de imediato estabelecer uma conexão do tema da presente aula com as idéias estudadas no encontro anterior, relativas à aplicação da equivalência massa-energia no cálculo

da energia liberada em reações de fissão e fusão. Quando o professor mencionou o nome do conceito, os estudantes E₄ e E₆ recordaram-se, mas foi preciso perguntar o que ocorria quando a massa do sistema variava para esses alunos perceberem a ligação desse assunto com o funcionamento dos reatores. As estudantes E₃ e E₅ tiveram mais dificuldade para associar as idéias. Entendiam que massa e energia estavam relacionadas, mas o docente precisou expor novamente, de modo sucinto, as idéias do último encontro. O estudante E₇ havia faltado na aula anterior e, por isso, não teve meios para chegar a essa conexão entre os conceitos. Houve dificuldades para acompanhar a evolução do entendimento desse aluno em particular, pois este não realizou perguntas ao professor, quase não tomou parte nos debates e entregou poucas respostas escritas às questões propostas em sala de aula.

A estudante E₅ ficou curiosa para saber como se enriquecia o urânio, processo não mencionado no texto. O professor comentou brevemente sobre um dos procedimentos possíveis, a centrifugação, tecnologia que o Brasil possui.

Na abordagem da questão 7 do texto *Reatores Nucleares*, os alunos não viram de imediato a relação entre usinas nucleares e questões militares. Após discussões com o docente, perceberam que o fato de uma usina produzir plutônio, utilizável em armas nucleares, poderia ter implicações bélicas.

As estudantes E₄ e E₅ acharam difícil, a princípio, formular uma opinião pessoal na questão 8, a favor ou contra o investimento do Brasil em usinas nucleares, devido aos vários fatores envolvidos.

O problema ocasionado pelos rejeitos radioativos das usinas foi logo percebido por todos. O professor fez a observação de que usinas hidrelétricas estavam sujeitas ao regime de chuvas, algo não tão influente sobre o funcionamento de usinas nucleares. A possibilidade de se pesquisar fontes alternativas de energia, tais quais a solar e o hidrogênio, com riscos

menores que a nuclear, também foi citada pelo docente nas discussões com os subgrupos. Levantou-se o problema de que o combustível para a fissão também se esgotaria em breve.

No debate final envolvendo a turma toda, esses argumentos foram utilizados pelos estudantes. A estudante E₄ posicionou-se contra o investimento maior do Brasil em usinas nucleares, devido aos riscos do lixo nuclear e de possíveis dificuldades diplomáticas em função de aspectos militares, os quais poderiam despertar rivalidade e pressões de outros países. Mas se manteve a favor de manter as usinas existentes, para fins experimentais. A estudante E₃ manifestou preferência pelo investimento em fontes alternativas de energia, principalmente a solar. O estudante E₆ considerou que o Brasil deveria construir usinas nucleares e investir em armamentos nucleares para alcançar a supremacia na América do Sul. O professor indagou se isso não causaria dificuldades de relação com os vizinhos e forte resistência da comunidade internacional, como no caso da Coreia do Norte e do Irã, sem obter resposta – fato que denotou reflexão do aluno a esse respeito.

A partir das idéias expostas nas discussões, foi possível constatar o desenvolvimento da capacidade de argumentação da maior parte dos estudantes após a realização das atividades com o apoio do *software*. A análise aprofundada dos impactos relativos ao uso de reatores nucleares demandaria mais conhecimento que o propiciado neste curso introdutório, mas, apesar disso, percebeu-se um aumento do grau de conscientização da maioria dos alunos quanto ao tema, abrangendo aspectos científicos, tecnológicos, sociais e ambientais.

Nono Encontro (23/11/2005, quarta-feira)

Para que os alunos ausentes tomassem contato com as idéias abordadas no encontro anterior, o professor voltou a promover a discussão sobre as usinas nucleares. A estudante E₄ recordou-se da existência de dois tipos de reatores, de fissão e de fusão. A estudante E₅ expôs que um nêutron poderia provocar a fissão do urânio e gerar mais dois

nêutrons. Provavelmente devido à animação mostrando a fissão, a aluna acabou formando a concepção de que sempre seriam formados dois nêutrons, mas foi lembrada pelo docente de que poderiam ser gerados de um a três nêutrons em reações típicas. Isso indicou que poderia ser relevante incluir essa observação na legenda da animação. No caso da fusão, as estudantes E₃ e E₅ falaram sobre a união de átomos de hidrogênio.

O professor questionou novamente sobre o princípio físico que explica a liberação de energia nessas reações. Não houve resposta imediata. Ao mencionar o termo equivalência massa-energia, alguns estudantes o relacionaram com a idéia de que quando aumenta a energia de um corpo, sua massa também sofre um incremento. Quando o docente indagou sobre o que ocorreria se a massa diminuísse, concluíram corretamente que a energia associada também seria reduzida. Ao perguntar sobre o que ocorreria com essa energia, novamente não houve resposta. O professor lembrou então que essa energia seria liberada no reator e permitira mover suas turbinas. Ainda neste encontro, apesar das atividades realizadas anteriormente, verificou-se uma certa dificuldade de os estudantes estabelecerem a relação da equivalência massa-energia com os fenômenos de fissão e fusão e com a operação dos reatores nucleares, evidenciando um limite na aprendizagem significativa nesse caso.

Na questão da possível ligação de usinas nucleares com objetivos militares, os estudantes E₄ e E₆ lembraram-se da produção de material para armas nucleares nos reatores, sem contudo mencionar o plutônio.

Ao considerar vantagens e desvantagens das usinas nucleares, ressurgiram os argumentos de que estas não eram tão vulneráveis a períodos de estiagem, mas davam origem ao lixo nuclear. A energia solar foi apontada como alternativa para o futuro por uma estudante.

Após o debate, os alunos iniciaram a leitura do texto *Acidentes Radioativos* e o exame das perguntas indicadas. Ficaram impressionados com o fato de algumas vítimas do acidente de Goiânia terem sido enterradas em caixões de chumbo, para bloquear a radiação de

seus corpos. A estudante E₄ exclamou que fora uma grande irresponsabilidade a clínica culpada pelo incidente ter deixado abandonado um equipamento contendo material radioativo.

Durante o trabalho, as estudantes E₃ e E₅ perguntaram o que significava mSv. O professor forneceu alguma idéia, ilustrando com uma tabela mostrando os danos causados por doses crescentes de radiação, disponível no texto *Radioatividade*, cuja leitura por todos não foi possível devido ao pouco tempo disponível. Embora pudesse ter contribuído para a formação de subsunçores e enriquecer as associações de idéias, sua exclusão do curso não representou um grande obstáculo ao entendimento dos estudantes.

Na análise da quarta questão sobre acidentes radioativos, os estudantes E₄ e E₆ consideraram provável a existência de uma relação entre o câncer de tiróide da brasileira que vivera na Bulgária e o acidente de Chernobyl, pois ela estava na área afetada pela radiação na época e seu tumor era semelhante ao de outras pessoas vitimadas pela tragédia.

Ao comentar a quinta questão, sobre o projeto de armazenamento de resíduos radioativos na montanha de Yucca, nos Estados Unidos, o estudante E₆ concluiu que não havia forma perfeitamente segura de armazenar esse tipo de lixo por um longo período de tempo. Em sua opinião, as melhores opções seriam não produzi-lo ou enviá-lo ao espaço sideral. Surgiu um debate entre os alunos sobre a importância desse tema, uma vez que não estariam mais vivendo quando houvesse algum problema, daqui a muitos anos. Alguns estudantes argumentaram que era preciso pensar nas gerações futuras.

Conforme se infere de seus argumentos, as discussões favoreceram um maior nível de conscientização dos alunos sobre a necessidade de se lidar cuidadosamente com materiais radioativos, um tema de importância social e ambiental.

Na seqüência da aula, os alunos passaram a ler o texto *Projeto Manhattan* e buscaram responder às cinco questões propostas. Durante essa atividade, o estudante E₂ ficou bastante revoltado com as mortes causadas pelas bombas atômicas lançadas no Japão, porém

revelou opinião favorável ao desenvolvimento desse tipo de armamento pelo Brasil, para se opor a possíveis interferências externas. Ao se lembrar das pressões internacionais sofridas pela Coreia do Norte, que busca ampliar seu arsenal, o estudante hesitou em sustentar tal visão. A estudante E₄ fez a observação de que o Brasil poderia passar a ser visto como um país com ambições de dominar outras nações, de modo semelhante à percepção que muitos têm dos Estados Unidos.

Alguns estudantes mostraram-se espantados com o fato de Einstein ter assinado uma carta incentivando o governo estadunidense a construir bombas atômicas. Isso revelou uma possível visão de neutralidade relativa aos cientistas e à própria Ciência, que começava a ser desfeita.

A estudante E₄ teve dificuldade em compreender a quinta questão relativa ao Projeto Manhattan, sobre quando e como a população poderia interferir em questões científicas e tecnológicas. O docente mencionou a pressão da opinião pública sobre os governos e o poder do voto, citando alguns exemplos da história, tais quais as manifestações para o fim da Guerra do Vietnã e a retirada das tropas espanholas do Iraque em 2004. O obstáculo inicial sentido pela estudante pareceu refletir a pouca ênfase dada geralmente a essa possibilidade na educação formal e nas próprias práticas políticas no Brasil.

Os temas desta aula, de caráter social, político e ambiental despertaram a atenção dos alunos e foram considerados instigantes, tal como evidencia o comentário feito pela estudante E₄ em certo momento, de que achou os assuntos tratados interessantes. Com base nos argumentos utilizados pelos estudantes nos debates, constatou-se que as atividades realizadas com o apoio do *software* contribuíram para o desenvolvimento de suas idéias sobre as questões relacionadas.

A discussão com a turma toda dos temas estudados teve de ser deixada para o último encontro.

Décimo Encontro (25/11/2005, sexta-feira)

Os textos *Armas Nucleares* e *Ciência & Ética* foram indicados para leitura. Os estudantes deveriam refletir e responder às questões 4 e 8 sobre armas e às questões 3 e 5 sobre Ética.

Durante as atividades, o professor perguntou aos alunos se já haviam pensado sobre o tema das armas nucleares. Alguns possuíam uma idéia a respeito, porém revelaram não saber que era algo tão destrutivo. Os filmes e imagens mostrando explosões nucleares contribuíram para a formação dessa noção. O estudante E₁ ficou impressionado com as quantias gastas em armamentos. A estudante E₄ comentou que o dinheiro investido em armas poderia ser aplicado em algo mais útil. Houve alunos que perceberam o poder de intimidação das nações possuidoras de armas nucleares. Verificou-se que o texto correspondente ampliou o entendimento dos participantes do curso sobre o assunto.

A estudante E₅ considerou o texto sobre Ética aborrecido, tendo se expressado quanto a isso em duas oportunidades. Por outro lado, a última questão desse texto, sobre as posturas do físico Joseph Rotblat – defensor do desarmamento nuclear e ganhador do Prêmio Nobel da Paz – chamou a atenção da estudante E₄, que classificou como interessantes as atitudes desse pesquisador.

No debate envolvendo a turma toda, foram discutidas questões do texto *Projeto Manhattan*, visto no encontro anterior. Os estudantes E₂ e E₄ concluíram que a razão principal para terem jogado as bombas atômicas sobre o Japão não se devia à necessidade de abreviar a guerra, como se defendia oficialmente, mas, sobretudo, ao desejo de intimidar a União Soviética e também para justificar os enormes gastos efetivados durante o projeto. O estudante E₂ relatou que havia ficado pensando sobre a história da bomba atômica no período entre as aulas, procurando entender o porquê da participação de Einstein. Foi possível

perceber que o estudante adquiriu outra visão sobre a relação da Ciência e dos cientistas com questões políticas e sociais.

Na discussão da terceira pergunta do texto *Armas Nucleares*, os alunos apontaram que alguns cientistas se opuseram à bomba-H principalmente devido ao seu enorme poder destrutivo. A estudante E₄ ponderou que tal dispositivo foi considerado uma arma genocida. O docente indagou sobre a importância de acordos para o desarmamento e, embora não tenha sido negada, os estudantes acharam difícil que a humanidade chegasse um dia a destruir todas as armas nucleares existentes no planeta, revelando certo grau de consciência sobre a complexidade da questão.

Ao analisarem a última pergunta do texto sobre armas nucleares, os estudantes expressaram entendimento sobre as razões para a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) realizar inspeções na usina de enriquecimento de urânio de Resende, no Brasil. Isso visava a garantir que a tecnologia dominada pelo país não seria usada para a produção de armas nucleares.

Sobre a responsabilidade dos cientistas em relação ao conhecimento por eles criado e sua utilização, uma questão do texto sobre Ética, o estudante E₆ ponderou que dependeria do contexto. Em sua visão, quem desenvolve armamentos, por exemplo, sabe que isso terá uso militar. Tal condição seria diferente daquele pesquisador que criou algo inicialmente sem aplicações destrutivas, porém utilizado desse modo posteriormente. Mas, de qualquer forma, concluiu que seria importante o cientista ter um posicionamento ético sobre o uso dos conhecimentos. Todos concordaram prontamente com esse último ponto.

Os estudantes não demonstraram dificuldade no entendimento do conteúdo abordado neste encontro. Mostraram-se motivados e interessados em discutir um tema atual como o das armas nucleares. Os textos explorados levaram-nos a refletir sobre aspectos éticos do conhecimento científico e tecnológico, e a responsabilidade social dos cientistas.

6.3.2 Respostas ao *Questionário sobre Conceitos Científicos e Ciência*

Nesta seção, são apresentadas e analisadas as respostas ao *Questionário sobre Conceitos Científicos e Ciência* dos sete estudantes que participaram do curso até o final. Após cada questão, apresenta-se uma tabela contendo as concepções de cada estudante antes e depois do curso, para facilitar a comparação das idéias expressadas.

Questão 1

A questão 1 apresentou o seguinte enunciado:

Você considera que o conhecimento científico muda com o tempo? Uma teoria física, uma vez estabelecida, pode ser superada por outras? Justifique sua resposta.

As respostas dos estudantes a essa questão, antes e depois do curso, foram transcritas na tabela 3.

Tabela 3. Respostas à questão 1 do instrumento de avaliação dos estudantes.

Questão	Estudante	Pré-teste	Pós-teste
1	E ₁	[Não respondeu].	Sim. Uma teoria física pode sim ser superada e até mesmo aperfeiçoada por outras. Exemplo: as teorias de Newton aperfeiçoadas por Einstein.
	E ₂	Eu considero que pode mudar, porque com o passar dos anos vão se descobrindo novas fórmulas.	Sim, a Física está sempre mudando, com o passar dos anos foram estabelecidas outras formas para algumas teorias, como a teoria de Newton, e Einstein chegou e mostrou que poderia haver dilatação no tempo, essa é minha opinião, que algumas teorias podem ser superadas por outras.
	E ₃	Dependendo do modo de vista do “observador” ela pode mudar, porém não mudar completamente e sim aperfeiçoá-la.	Sim, superada seria muito “forte”, mas melhorada e aperfeiçoada sim.

Questão	Estudante	Pré-teste	Pós-teste
1	E ₄	Sim, porque com o passar do tempo a tecnologia avança e novas coisas são descobertas.	Muda sim, porque com o passar do tempo novas tecnologias vão surgindo e assim as teorias são aperfeiçoadas. Einstein aperfeiçoou as teorias de Newton, por exemplo.
	E ₅	Sim, pois todos os dias novas coisas são descobertas.	Claro, quanto mais se estuda, mais coisas são descobertas.
	E ₆	[Não respondeu].	Sim, pois uma fórmula uma vez criada pode ser substituída por outra que apresenta resultado mais exato. Sim, pois Einstein criou uma e ela foi comprovada posteriormente.
	E ₇	[Não respondeu].	Sim, porque a cada dia podem apresentar finalidades mais surpreendentes.

A questão 1 foi formulada para avaliar as concepções dos estudantes sobre a evolução da Ciência, buscando revelar se admitiam a possibilidade de mudança nos conhecimentos científicos estabelecidos e se identificavam a existência de rupturas nesse processo, com a superação de um programa de pesquisa por outro.

Examinando-se a tabela 3, verifica-se que, inicialmente, os estudantes E₁, E₆ e E₇ não conseguiram expressar uma visão a respeito do assunto. Os estudantes E₂, E₃, E₄ e E₅, por outro lado, já possuíam antes do curso a idéia de que os conhecimentos científicos mudam com o tempo, em função de novas descobertas. Sobre a natureza dessa mudança, a estudante E₃ evidenciou uma concepção mais próxima da noção de evolução por acumulação, sem ocorrência de rupturas. Os estudantes E₂, E₄ e E₅ concordaram com a idéia de que uma teoria pode ser superada por outras, porém não justificaram sua resposta em relação a esse aspecto.

Após a conclusão do curso, observou-se alguma evolução nas concepções da maior parte dos estudantes, apresentadas na questão 1. Apenas as estudantes E₃ e E₅ expressaram respostas basicamente idênticas às do início. Todos admitiram que os conhecimentos científicos mudam com o tempo. Os estudantes E₁ e E₄ exemplificaram

citando as teorias de Newton e Einstein. Porém, consideraram que as teorias de Newton foram aperfeiçoadas por Einstein, ao invés de suplantadas, evidenciando concepção mais próxima da noção de evolução por acumulação, sem ocorrência de rupturas, tal qual a estudante E₃. Os estudantes E₂ e E₆, por sua vez, denotaram um entendimento de que rupturas ocorrem, citando o exemplo das teorias de Einstein. O estudante E₇ concordou com a idéia de que uma teoria pode ser superada por outras, porém não justificou sua resposta em relação a esse aspecto. O estudante E₆ expressou ponto de vista compatível com a noção de que as teorias são inventadas e podem ser justificadas posteriormente, ao invés de serem obtidas de modo indutivo e diretamente de observações, ao mencionar que Einstein criou algo comprovado apenas posteriormente.

A estudante E₄ correlacionou a evolução científica à ocorrência de progressos tecnológicos tanto no questionário inicial quanto no final. Embora tenha apresentado uma percepção de que Ciência e Tecnologia se relacionam, em sua visão estas não parecem ser interdependentes, pois o avanço da Ciência subordina-se ao aperfeiçoamento da Tecnologia.

As respostas à questão 1 evidenciam que a maioria dos alunos enriqueceu um pouco suas concepções epistemológicas sobre Ciência, seja por passar a percebê-la como algo dinâmico, em modificação, ou ainda, quando já existia essa visão, por se tornar capaz de justificar esse entendimento com base na história das idéias científicas. Entretanto, apenas dois estudantes conseguiram esboçar a noção de progresso não-linear, no qual uma teoria pode suplantear outras. A concordância de quase todos os alunos com o fato de existirem descontinuidades na evolução da Ciência, no debate realizado no terceiro encontro do curso, contrasta com os discursos registrados na primeira pergunta do instrumento de avaliação. Isso indica que a aprendizagem nesse caso não foi realmente significativa para a maior parte dos estudantes, tendo havido uma limitação em seu desenvolvimento conceitual relativo a esse ponto.

Questão 2

A questão 2 apresentou o seguinte enunciado:

Em laboratório, pode ser observado um evento denominado formação de par, no qual um raio gama origina um elétron e um pósitron (antipartícula do elétron). Considerando que o elétron e o pósitron possuem mesma massa, de $9,11 \times 10^{-31}$ Kg, qual seria a energia mínima necessária ao raio gama para criar esse par de partículas? Sabe-se que um raio gama se propaga no vácuo à velocidade da luz, de $2,99 \times 10^8$ m/s. Explique o princípio físico utilizado para resolver o problema.

As respostas dos estudantes a essa questão, antes e depois do curso, foram transcritas na tabela 4.

Tabela 4. Respostas à questão 2 do instrumento de avaliação dos estudantes.

Questão	Estudante	Pré-teste	Pós-teste
2	E ₁	[Não respondeu].	$E_0 = M \cdot c^2$ $E_0 = 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 2,99 \cdot 10^8$ $E_0 = 2,72 \cdot 10^{-22}$
	E ₂	[Não respondeu].	$E_0 = mc^2$ $E_0 = 1,822 \cdot 10^{-30} \cdot 9 \cdot 10^{16}$ $E_0 = 1,6398 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ O princípio físico é que a massa vezes a velocidade gera a energia.
	E ₃	[Não respondeu].	$m = 9,11 \cdot 10^{-31}$ $c = 3 \cdot 10^8$ $E = mc^2$ $E = 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2$ $E = 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^{16}$ $E = 1,822 \cdot 10^{-30} \cdot 9 \cdot 10^{16}$ $\{E = 1,6398 \cdot 10^{-13} \text{ J}\}$ Quando há aumento de <u>m</u> há aumento de <u>E</u> e assim inversamente no decaimento.
	E ₄	[Não respondeu].	$E_0 = m \cdot c^2$ $E_0 = 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot (2,99 \cdot 10^8)^2$ $E_0 = 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 8,9401 \cdot 10^{16}$ $E_0 = 8,144311 \cdot 10^{-14}$ Quanto maior a massa maior a energia.

Questão	Estudante	Pré-teste	Pós-teste
2	E ₅	[Não respondeu].	$E_0 = m \cdot c^2$ $E_0 = 9,11 \times 10^{-31} + 9,11 \times 10^{-31} \times 2,99 \times 10^8$ $E_0 = 1,822 \times 10^{-30} \times 8,9401 \times 10^{16}$ $E_0 = 1,62888 \times 10^{-13} \text{ J}$ Teoria da relatividade, quanto maior a massa, maior a energia.
	E ₆	[Não respondeu].	$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ $E = \frac{18,22 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{\sqrt{1 - \frac{0}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}}}$ $E = \frac{54,66 \cdot 10^8}{\sqrt{1 - 0}}$ $E = 54,66 \cdot 10^8$ Relatividade.
	E ₇	[Não respondeu].	[Não respondeu].

A questão 2 foi formulada para avaliar o entendimento dos estudantes quanto à equivalência massa-energia e sua aplicação a um contexto distinto daquele da Física Nuclear, mais enfatizada durante o curso, buscando indícios da ocorrência de aprendizagem significativa.

Examinando-se a tabela 4, verifica-se que, inicialmente, os estudantes não conseguiram responder a essa pergunta, demonstrando desconhecer o conceito envolvido e sua utilização.

Após o curso, apenas o estudante E₇ não apresentou algum tipo de progresso em relação a esse ponto. Os demais conseguiram ao menos associar a expressão matemática da equivalência massa-energia ou da energia relativística à situação descrita no enunciado, identificando corretamente a grandeza correspondente a cada um de seus termos. O estudante E₆ foi o único a partir da fórmula da energia relativística, adaptando-a para o caso de partículas em repouso.

Entretanto, alguns equívocos podem ser identificados. Os estudantes E_1 e E_4 consideraram nos cálculos a massa de apenas uma partícula, indicando dificuldade na interpretação do enunciado da questão. Os estudantes E_1 e E_6 também cometeram erros de cálculo, provavelmente devido à falta de atenção.

Na explicação do princípio utilizado na solução do problema, os estudantes E_3 , E_4 e E_5 expressaram a noção de que quanto maior a massa de um corpo, maior a energia a este associada. Desse modo, manifestaram o entendimento de que à massa está associada uma certa quantidade de energia, em conformidade com o conceito de equivalência massa-energia. A estudante E_5 ainda correlacionou apropriadamente essa idéia à Teoria da Relatividade. Os estudantes E_1 , E_2 e E_6 não souberam explicar o conceito de equivalência massa-energia. O estudante E_6 tão-somente associou o princípio empregado no problema à Teoria da Relatividade. O estudante E_2 apenas tentou traduzir em palavras a equação utilizada, não demonstrando entendimento mais aprofundado do conceito, além de sua operacionalização matemática.

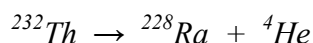
O emprego da formulação matemática da equivalência massa-energia na resolução de um problema inexplorado durante o curso, por quase todos os alunos, denota algum grau de aprendizagem significativa, refletindo o estabelecimento de conexões não-arbitrárias e não-literais desse conceito com a estrutura cognitiva. O fato de os estudantes E_1 e E_2 terem deixado de explicar o princípio adotado na obtenção dessa solução revela, no entanto, uma limitação do nível de elaboração desse conceito. Uma ressalva poderia ser feita em relação ao estudante E_6 , que expôs essa noção na questão 3, embora por algum motivo não o tenha feito nesse ponto.

Questão 3

A questão 3 apresentou o seguinte enunciado:

O ^{232}Th (tório-232) é um elemento abundante no granito. Por ser radioativo, o ^{232}Th decai emitindo uma partícula alfa (^4He) e originando ^{228}Ra (rádio-228), com meia-vida

de $1,41 \times 10^{10}$ anos. Esse decaimento é o primeiro de uma série que termina quando é formado um isótopo estável do chumbo. A energia liberada nesses decaimentos é responsável por parte do aquecimento da Terra. Sabendo que $1 \text{ u} = 1,66054 \times 10^{-27} \text{ Kg}$ e que a massa atômica do ^{232}Th é de 232,038051 u, a do ^{228}Ra é de 228,031064 u, e a do ^4He é de 4,00260 u, determine a energia liberada no decaimento do tório, descrito pela equação abaixo:



Explique o princípio físico utilizado para resolver o problema.

As respostas dos estudantes a essa questão, antes e depois do curso, foram transcritas na tabela 5.

Tabela 5. Respostas à questão 3 do instrumento de avaliação dos estudantes.

Questão	Estudante	Pré-teste	Pós-teste
3	E ₁	[Não respondeu].	$232,038051 = 228,031064 + 4,00260$ $= 2,3203364 \cdot 10^2$ $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$ $\Delta E = 4,411 \cdot 10^{-3} \cdot (3 \cdot 10^8)^2$ $\Delta E = 4,411 \cdot 10^{-3} \cdot 9 \cdot 10^{16}$ $\Delta E = 3,9699 \cdot 10^{14}$
	E ₂	[Não respondeu].	$(232,038051) - (228,031064 + 4,00260)$ $(232,038051) - (232,033664) = 0,004387$ $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$ $\Delta E = 4,387 \cdot 10^{-3} \cdot 9 \cdot 10^{16}$ $\Delta E = 3,94483 \cdot 10^{14} \times 1,66054 \cdot 10^{-27}$ $\Delta E = 6,556310082 \cdot 10^{-13} \text{ Kg}$ A diferença da massa é que se transforma em energia.
	E ₃	[Não respondeu].	$232,038051 - 228,031064 + 4,00260$ $232,038051 - 232,033664$ $4,387 \cdot 10^3$ $E_0 = m \cdot c^2$ $E_0 = 4,387 \cdot 10^3 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} \cdot (2,99 \cdot 10^8)^2$ $E_0 = 7,2847889 \cdot 10^{-24} \cdot 8,9401 \cdot 10^{16}$ $E_0 = 6,9954395 \cdot 10^{-7} \text{ J}$

Questão	Estudante	Pré-teste	Pós-teste
3	E ₄	[Não respondeu].	$232,03051 \rightarrow 228,031064 + 4,00260$ $232,038051 \rightarrow 232,033664$ $0,004387 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27}$ $7,2847 \cdot 10^{-30}$ $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$ $\Delta E = 7,2847 \cdot 10^{-30} \cdot 8 \cdot 10^8$ $\Delta E = 5,82776 \cdot 10^{-21}$ Quanto maior a massa maior a energia.
	E ₅	[Não respondeu].	$232,038051 - 226,031064 + 4,00260$ $232,036051 - 232,033664 = 0,004387$ $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$ $\Delta E = 7,2847889 \cdot 10^{-30} \cdot 8,9401 \cdot 10^{16}$ $\Delta E = 6,51267 \cdot 10^{-13}$
	E ₆	[Não respondeu].	$^{232}\text{Th} \rightarrow 232,038051 \text{ u}$ $^{228}\text{Ra} \rightarrow 228,031064 \text{ u}$ $^4\text{He} \rightarrow 4,00260 \text{ u}$ $\frac{0,004387 \cdot u}{1,66054 \cdot 10^{-27}} = 2,6419 \cdot 10^{24} \text{ Kg}$ $\Delta E = 2,6419 \cdot 10^{24} \cdot 3 \cdot 10^8$ $\Delta E = 7,9257 \cdot 10^{24}$ Relatividade = quanto mais massa, mais energia, ou seja, uma é proporcional à outra.
	E ₇	[Não respondeu].	[Não respondeu].

A questão 3 foi formulada para avaliar o entendimento dos estudantes quanto à equivalência massa-energia e sua aplicação a outro tipo de fenômeno nuclear que não fosse uma reação de fissão do urânio ou de fusão do hidrogênio, mais enfatizadas durante o curso, buscando indícios da ocorrência de aprendizagem significativa.

Examinando-se a tabela 5, verifica-se que, inicialmente, os estudantes não conseguiram responder a essa pergunta, demonstrando ignorar o conceito envolvido e seu emprego.

Terminado o curso, apenas o estudante E₇ não mostrou progresso em relação a esse item. Os demais conseguiram associar a expressão matemática da equivalência massa-

energia, ou uma equação derivada desta, à situação descrita no enunciado, identificando apropriadamente a grandeza correspondente a cada um de seus termos.

Porém, os estudantes E_1 , E_3 , E_4 e E_6 cometeram erros de cálculo. Com exceção talvez do equívoco na conversão de unidades verificado nas contas do estudante E_6 e do esquecimento quanto a esse procedimento por parte do aluno E_1 , os demais erros numéricos provavelmente ocorreram por desatenção. O estudante E_2 , por sua vez, enganou-se ao utilizar a unidade quilograma para expressar energia, provavelmente por distração, visto ter respondido corretamente à questão anterior.

Na explicação do princípio utilizado na solução do problema, os estudantes E_4 e E_6 expressaram a noção de que quanto maior a massa de um corpo, maior a energia a este associada. Isso evidenciou o entendimento de que à massa está associada uma certa quantidade de energia, em consonância com o conceito de equivalência massa-energia, relacionado ao problema. O estudante E_6 ainda correlacionou corretamente essas idéias à Teoria da Relatividade.

O estudante E_2 reconheceu que a energia liberada no processo está associada à diferença de massa encontrada ao se analisar os núcleos existentes antes e depois do decaimento, em concordância com o conceito de equivalência massa-energia. Entretanto, enunciou esse entendimento na forma da concepção alternativa de que massa pode ser convertida em energia, demonstrando deficiências quanto à reconciliação integrativa, pois não observou que a equivalência entre os conceitos implica a impossibilidade de se falar em uma transformação nesse caso. Os estudantes E_1 , E_3 e E_5 não abordaram o conceito de equivalência massa-energia. Isso chama a atenção no caso dos estudantes E_3 e E_5 , que o haviam feito na pergunta anterior.

O uso da formulação matemática da equivalência massa-energia ou sua variante na resolução de uma questão não-explorada durante o curso, por quase todos os alunos,

denota algum grau de aprendizagem significativa, refletindo o estabelecimento de associações intencionais e substanciais desse conceito com a estrutura cognitiva. O fato de alguns alunos terem deixado de explicar o significado dessa equivalência e nenhum ter exposto adequadamente que a energia liberada no processo está associada à diferença de massa entre os núcleos observados antes e depois do decaimento revela, porém, uma limitação no nível de elaboração desse conceito.

Questão 4

A questão 4 apresentou o seguinte enunciado:

*Conforme o exposto em reportagem da revista **Veja** de 05.11.2003, com o título “Explosão Nuclear; alguns países ainda resistem, mas há uma nova onda de construção de reatores”, na Europa existe grande resistência da opinião pública, de modo geral, à instalação de novas usinas nucleares, sobretudo entre os ambientalistas. Na Inglaterra e na Alemanha há até mesmos planos para o fechamento de usinas. Entretanto, há dúvidas se isso será possível. Em vários locais, incluindo países do Leste Europeu, o Japão, a Índia e a China, novos reatores nucleares continuam a ser erguidos.*

a) Comente esses fatos considerando os aspectos positivos e negativos das usinas nucleares.

b) Qual o princípio fundamental da Física que se relaciona ao funcionamento dos reatores nucleares?

Essa questão foi formulada para avaliar o conhecimento dos estudantes sobre relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente, considerando o caso da energia nuclear, um tema da atualidade. As respostas dos estudantes à questão, antes e depois do curso, foram transcritas nas tabelas 6 e 7.

Tabela 6. Respostas à questão 4a do instrumento de avaliação dos estudantes.

Questão	Estudante	Pré-teste	Pós-teste
4a	E ₁	[Não respondeu].	Seria muito difícil o fechamento desses reatores de usinas nucleares, pois temos seus lados positivos e negativos. No positivo, os reatores são usados para a criação de energia, porém para a criação de tal energia seria preciso explosões controladas de bombas atômicas, caso isso saia do controle poderia ocorrer explosões em grande escala, fazendo com que ocorram vazamentos de radiação prejudicando até cidades.
	E ₂	[Não respondeu].	Os aspectos positivos, são que podem trazer benefícios na parte de energia elétrica e outros, mas os negativos são que podem acontecer muitos acidentes.
	E ₃	Positivos: defender-se de um possível ataque; intimidar países inimigos. Negativos: impacto no Ambiente; morte de várias pessoas; um grande “pesadelo” para os países que não possuem.	Pelo lado positivo, as usinas nucleares seriam uma ótima solução para a escassez de água daqui a alguns anos. Pelo lado negativo, com o aumento do urânio, eleva-se o plutônio, o que pode gerar as armas nucleares e conseqüentemente as guerras. Para os ambientalistas, é algo extremamente ruim, pois atinge o solo e causa problemas nos lençóis freáticos.
	E ₄	[Não respondeu].	<u>Positivo</u> : as usinas nucleares utilizam pouca água, portanto se houver uma grande seca elas seriam uma das soluções do problema de energia. <u>Contra</u> : as usinas nucleares produzem muito lixo que faz mal para a saúde. Através das usinas nucleares podem ser feitas bombas atômicas.
	E ₅	[Não respondeu].	No caso de uma seca, uma usina nuclear pode gerar energia para abastecer a população. Porém usinas nucleares produzem muito lixo atômico, e ainda não existe uma maneira para se desfazer deste lixo. Armas nucleares também são um grande problema, pois fazem grandes destruições.
	E ₆	[Não respondeu].	Positivo: para a produção de energia elétrica. Negativo: grande produção de lixo.
	E ₇	[Não respondeu].	[Não respondeu].

Analisando-se a tabela 6, constata-se que, inicialmente, quase todos os estudantes deixaram de responder ao primeiro item da questão 4, mostrando pouca conscientização quanto ao tema e suas relações. A estudante E₃, a única que tentou responder à pergunta, parece ter feito uma certa confusão entre os conceitos de usina e arma nuclear. Ao mencionar a possibilidade de as usinas causarem impacto ambiental, não explica como isso pode ocorrer e, portanto, não acrescenta muito mais informação além do que já estava implícito no enunciado da pergunta.

Após o curso, apenas o estudante E₇ não mostrou progresso em relação a esse item. Os demais alunos expuseram argumentos relacionando pontos positivos e negativos das usinas nucleares, em que aparecem aspectos sociais e ambientais da questão. O fornecimento de energia para consumo é mencionado pelos estudantes E₁, E₂, E₄, E₅ e E₆. O fato de o funcionamento das usinas nucleares não depender diretamente do regime de chuvas ou de um grande volume de água é um fator que transparece nas respostas dos alunos E₃, E₄ e E₅. O problema representado pelo lixo nuclear é apontado pelos estudantes E₄, E₅ e E₆. Sem utilizar esse termo, a aluna E₃ também demonstra consciência sobre as implicações dos resíduos radioativos. O risco de graves acidentes envolvendo reatores nucleares é indicado pelos estudantes E₁ e E₂. O perigo de vazamento de radiação é mencionado explicitamente por E₁. A relação entre reatores e armas nucleares é citada pelas alunas E₃, E₄ e E₅. A aluna E₃, em particular, lembrou-se de que um produto gerado pelos reatores, com aplicações em armas e implicações militares, é o plutônio.

Apesar de revelar o conhecimento de que existem similaridades entre a geração de energia em bombas atômicas e reatores nucleares, o aluno E₁ realizou certa confusão entre os processos, pois o nível de enriquecimento do urânio em reatores não é alto o suficiente para estes explodirem tais quais bombas. O fato de esse aluno ter estado ausente na aula sobre reatores pode ter contribuído para a formação dessa concepção, prejudicando a reconciliação integrativa.

Tabela 7. Respostas à questão 4b do instrumento de avaliação dos estudantes.

Questão	Estudante	Pré-teste	Pós-teste
4b	E ₁	[Não respondeu].	[Não respondeu].
	E ₂	[Não respondeu].	Fissão.
	E ₃	[Não respondeu].	Fissão. Se dá através da reação em cadeia, aumentando progressivamente o número de nêutrons.
	E ₄	[Não respondeu].	Reação de fissão: onde um nêutron colide com um átomo, este se parte e libera mais dois nêutrons que colidem com outros e assim sucessivamente.
	E ₅	[Não respondeu].	A teoria da relatividade, é usada a reação em cadeia, que origina a fissão. A fissão é quando um nêutron entra no átomo liberando de 1 a 3 nêutrons.
	E ₆	[Não respondeu].	Fissão.
	E ₇	[Não respondeu].	[Não respondeu].

Analisando-se a tabela 7, constata-se que, inicialmente, nenhum estudante conseguiu responder ao segundo item da questão 4, mostrando desconhecimento quanto à forma de funcionamento dos reatores nucleares.

No período posterior ao curso, apenas os estudantes E₁ e E₇ não exibiram algum tipo de progresso em relação a esse aspecto. Os demais associaram corretamente a fissão nuclear ao funcionamento dos reatores comerciais. As estudantes E₃, E₄ e E₅ mencionaram também a ocorrência de reações em cadeia e procuraram explaná-la com base na liberação de nêutrons na fissão. A aluna E₅ recordou-se de que a Teoria da Relatividade fornece explicações para esse mecanismo, porém, assim como os demais alunos, não chegou a descrever a liberação de energia nos reatores com base na equivalência massa-energia.

As respostas aos itens da questão 4 mostram que os alunos – com a exceção do estudante E₇ – lograram algum sucesso em estabelecer relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente na abordagem dos reatores nucleares. A rede de associações elaboradas

pelos estudantes, traduzidas em suas próprias palavras, sinaliza que a aprendizagem realizada foi significativa.

Questão 5

A questão 5 apresentou o seguinte enunciado:

Em 1945, ao final da Segunda Guerra Mundial, foram lançadas duas bombas atômicas sobre o Japão: uma sobre a cidade de Hiroshima e outra sobre Nagasaki, causando a morte de milhares de pessoas.

a) Os cientistas foram responsáveis por esse acontecimento? Explique.

b) É importante que cientistas reflitam e se posicionem em relação a questões com implicações sociais e políticas? E a população em geral? Justifique suas respostas.

c) Qual o princípio fundamental da Física relacionado a essas bombas?

d) O tema das bombas atômicas ainda é importante na atualidade? Por quê?

Essa questão foi formulada para avaliar o conhecimento dos estudantes sobre relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, incluindo aspectos éticos e políticos, considerando o caso das armas nucleares, um tema relevante nos dias atuais. As respostas dos estudantes aos quatro itens da questão 5, antes e depois do curso, foram transcritas nas tabelas 8, 9, 10 e 11.

Tabela 8. Respostas à questão 5a do instrumento de avaliação dos estudantes.

Questão	Estudante	Pré-teste	Pós-teste
5a	E ₁	[Não respondeu].	[Não respondeu].
	E ₂	Sim, porque Einstein deu os princípios da bomba atômica, e assim os demais foram a desenvolvendo melhor.	Em parte, porque os cientistas criaram as bombas, mas quem aplicou foram os militares americanos.

Questão	Estudante	Pré-teste	Pós-teste
5a	E ₃	[Não respondeu].	Sim, pois eles têm conhecimento do enriquecimento do urânio → plutônio → bombas atômicas.
	E ₄	De certa forma sim, porque foram cientistas que criaram a bomba atômica.	De certa forma sim, porque foram eles que criaram as bombas atômicas.
	E ₅	[Não respondeu].	Sim, pois eles criaram essas bombas, sem pensar no grande estrago que elas fariam.
	E ₆	[Não respondeu].	Sim, pois foram eles que criaram as bombas.
	E ₇	[Não respondeu].	Responsáveis eles não foram porque eles teriam que responder aos seus atos, por ter matado milhares de pessoas.

Analisando-se a tabela 8, observa-se que, inicialmente, a maioria dos estudantes não conseguiu responder ao primeiro item da questão 5. Os estudantes E₂ e E₄, por outro lado, já possuíam antes do curso a idéia de que os cientistas foram responsáveis em algum grau pelas implicações das armas nucleares, em virtude de as terem desenvolvido. Esses alunos revelaram, assim, um entendimento compatível com o de que os cientistas não possuem uma condição especial de neutralidade.

Após o término do curso, contatou-se alguma evolução nas concepções da maioria dos estudantes em relação a esse item, aproximando-se da visão de que os pesquisadores não são neutros. Somente o estudante E₁ continuou sem expor idéia alguma. A aluna E₄ manteve suas noções basicamente inalteradas. O estudante E₂ modificou um pouco sua resposta, considerando que os cientistas foram em parte responsáveis pelos acontecimentos envolvendo as bombas nucleares, pelo fato de as terem criado, mas passou a considerar também a participação dos militares. Os estudantes E₃, E₅ e E₆ também atribuíram responsabilidade aos cientistas pelas conseqüências advindas da produção de armas nucleares, uma vez que estes as

originaram. A estudante E₃ mencionou inclusive o conhecimento dos pesquisadores sobre o processo de enriquecimento do urânio e sobre o uso do plutônio para fins militares. Apesar de ter responsabilizado os pesquisadores, a estudante E₅ afirmou que os cientistas não previram os possíveis danos causados por esse tipo de arma, quando na verdade sabiam de seu potencial destrutivo e alguns até mesmo apoiaram seu uso no Japão.

O estudante E₇, apesar de ter respondido à questão, parece tê-la interpretado de modo restrito, sem levar em conta aspectos éticos, inferindo que se os cientistas não foram condenados é porque não foram responsáveis.

Tabela 9. Respostas à questão 5b do instrumento de avaliação dos estudantes.

Questão	Estudante	Pré-teste	Pós-teste
5b	E ₁	[Não respondeu].	Sim. É sempre bom que os cientistas se posicionem e reflitam para que suas descobertas não acabem em genocídio por meio de guerras políticas. A população em geral tem que ter a sua opinião sobre tais aplicações de armas ou descobertas feitas por cientistas.
	E ₂	Sim, porque os cientistas fazem as bombas, mas quem determina onde será usado é o governo, como foi na Segunda Guerra Mundial.	Acho que todos devem refletir, para que as bombas nucleares sejam paradas de fábrica, porque isso pode afetar e muito a humanidade.
	E ₃	[Não respondeu].	Sim, pois essas bombas trazem grandes consequências para a população, abrangendo termos sociais e políticos. Sociais: devido ao fato de radiação, problemas no solo. Políticos: questões entre países, quem tem maior arsenal nuclear.
	E ₄	Sim. Todos têm que se preocupar, porque alguns inventos podem causar sérios problemas, como causaram as bombas atômicas.	Sim, porque todos nós podemos ser afetados pelos inventos dos cientistas.
	E ₅	[Não respondeu].	Todos têm que ter consciência que bombas trazem grandes conflitos sociais e políticos. Elas podem “acabar” com uma nação.
	E ₆	[Não respondeu].	[Não respondeu].

Questão	Estudante	Pré-teste	Pós-teste
5b	E ₇	[Não respondeu].	[Não respondeu].

Analisando-se a tabela 9, constata-se que, a princípio, a maior parte dos estudantes não respondeu ao segundo item da questão 5. Os estudantes E₂ e E₄, contudo, já manifestavam antes do curso a idéia de que o posicionamento de cientistas e da população em geral frente a assuntos com implicações sociais e políticas, como o das armas nucleares, é relevante. Para a aluna E₄, isso é preciso porque os inventos podem trazer repercussões indesejáveis para todos. O aluno E₂ procurou justificar sua resposta argumentando que cabe aos governos determinar o uso dos armamentos. Embora esse aluno não tenha desenvolvido a idéia, deixa implícito, devido à resposta positiva à questão, que o posicionamento de especialistas e dos demais cidadãos pode repercutir sobre as decisões governamentais.

No período posterior ao curso, houve evolução das idéias da maioria dos estudantes. Apenas os estudantes E₆ e E₇ continuaram sem responder à questão, enquanto que a estudante E₄ manteve suas concepções basicamente inalteradas.

O aluno E₂ modificou um pouco sua resposta, deixando claro que os cientistas e as demais pessoas podem exercer impacto sobre o desarmamento mundial, uma vez que tenham consciência sobre os riscos de uma guerra nuclear.

Os estudantes E₁, E₃ e E₅ também admitiram a importância de os cientistas e demais cidadãos estarem conscientes das conseqüências sociais e políticas relativas às armas nucleares ou a outras aplicações científicas e tecnológicas.

O aluno E₁ expressou ainda a idéia de que essa maior conscientização dos cientistas poderia evitar o uso de suas descobertas em conflitos bélicos. Ao citar a possibilidade de genocídio, revelou conhecer o poder de destruição das atuais armas nucleares.

A aluna E₃ buscou embasar sua resposta mencionando alguns dos problemas relacionados à produção de armas, tais como os riscos de contaminação radioativa e a capacidade de intimidação dos países com maior arsenal.

A aluna E₅, ao procurar fundamentar sua resposta, evidenciou estar ciente da força deletéria das armas nucleares e das tensões políticas relacionadas ao seu desenvolvimento.

Tabela 10. Respostas à questão 5c do instrumento de avaliação dos estudantes.

Questão	Estudante	Pré-teste	Pós-teste
5c	E ₁	[Não respondeu].	Fissão: ocorre a divisão das partículas ocasionando o aumento de energia.
	E ₂	[Não respondeu].	As primeiras armas nucleares foram feitas durante a Segunda Guerra Mundial pelos cientistas envolvidos no Projeto Manhattan. Depois foram aperfeiçoando com o tempo, criando a poderosa bomba de hidrogênio e a bomba de nêutrons.
	E ₃	[Não respondeu].	Através da energia de fissão há liberação de nêutrons, e este vai aumentando conforme a reação. Conforme vai aumentando a massa da reação aumenta também a energia, havendo liberação de energia.
	E ₄	[Não respondeu].	As idéias do Einstein sobre os reatores de fissão e fusão.
	E ₅	[Não respondeu].	A fissão faz com que as bombas liberem energia.
	E ₆	[Não respondeu].	Fusão.
	E ₇	[Não respondeu].	[Não respondeu].

Analisando-se a tabela 10, constata-se que, inicialmente, nenhum estudante conseguiu responder ao terceiro item da questão 5, mostrando desconhecimento quanto à forma de funcionamento das bombas nucleares.

Após a conclusão do curso, a maioria dos estudantes exibiu algum progresso quanto a esse ponto. Os estudantes E₁, E₃, E₄ e E₅ associaram apropriadamente a fissão ao funcionamento das bombas atômicas lançadas sobre o Japão. A estudante E₃ expôs também algum entendimento sobre a reação em cadeia, apesar de não ter sido bem sucedida em utilizar a equivalência massa-energia para explicar a liberação de energia nesse caso. Os demais alunos também não empregaram esse conceito para aprofundar suas explicações.

Embora tenha realizado breve comentário sobre o histórico das armas nucleares, fazendo a distinção dos três principais tipos de dispositivos dessa natureza, o estudante E₂ não soube explicar o princípio envolvido na operação das bombas atômicas.

Os estudantes E₄ e E₆ mencionaram a fusão como processo relacionado às bombas nucleares, o que só seria adequado no caso da bomba de hidrogênio. Embora a aluna E₄ tenha se referido à possibilidade de se entender o funcionamento dessas armas com base nas idéias de Einstein, evidenciou certa confusão entre bombas e reatores, tecnologias com alguns princípios semelhantes, porém não idênticos. Tal fato pode indicar algum problema quanto à reconciliação integrativa em relação a esses conceitos.

Tabela 11. *Respostas à questão 5d do instrumento de avaliação dos estudantes.*

Questão	Estudante	Pré-teste	Pós-teste
5d	E ₁	[Não respondeu].	Sim, com o avanço da tecnologia as bombas estão ficando com muito mais potência e todos têm que ter em mente as suas aplicações. É o modo em que elas não serão aplicadas, visando sempre a comunicação entre os governos para o não-uso de tais armas, tanto os países com mais tecnologia nuclear quanto os com menos.
	E ₂	Muito importante, pois se cada vez aumentam as armas nucleares, o mundo pode correr o risco de ser acabado.	Sim, é muito importante porque existem várias bombas ainda, e cada vez mais isso pode aumentar, e isso é um risco para toda a humanidade.

Questão	Estudante	Pré-teste	Pós-teste
5d	E ₃	Sim, porque várias pessoas não têm conhecimento dos processos de uma bomba atômica, é importante para saber as vantagens e desvantagens de se ter uma usina nuclear.	Sim, pois há grandes possibilidades de se estourar uma “guerra nuclear”. E envolve principalmente países que estão em conflito no Oriente Médio.
	E ₄	Sim, porque até hoje pessoas sofrem com as seqüelas que as bombas causaram e também porque alguns países ainda possuem bombas.	É muito importante, porque vários países possuem bombas atômicas e elas foram o suposto motivo da guerra entre os EUA e o Iraque.
	E ₅	[Não respondeu].	Sim, assim como ocorreu aquela grande destruição no Japão por causa de bombas atômicas, pode por causa de alguma guerra acontecer de novo e talvez bem pior.
	E ₆	[Não respondeu].	Porque se elas forem usadas de forma errada podem causar a morte de muitas pessoas.
	E ₇	[Não respondeu].	Não. Porque a finalidade das bombas atômicas é para fins militares.

Analisando-se a tabela 11, constata-se que, a princípio, os estudantes E₁, E₅, E₆ e E₇ não conseguiram responder ao quarto item da questão 5. Os estudantes E₂ e E₄, no entanto, já apresentavam antes do curso a noção de que o tema das armas nucleares é relevante na atualidade. O aluno E₂ evidenciou ter alguma idéia sobre os riscos que as armas nucleares representam para a continuidade da humanidade. A aluna E₄ revelou conhecer que as bombas de Hiroshima e Nagasaki deixaram seqüelas verificadas até hoje nas pessoas e também se mostrou informada sobre o fato de ainda existirem países possuidores de armas nucleares. A estudante E₃, embora tenha concordado quanto à importância desse tema, parece ter confundido os conceitos de arma e usina nuclear, tal qual acontecera na questão 4.

Após o curso, a maior parte dos estudantes apresentou algum progresso em suas concepções relativas ao item em análise. Somente o estudante E₂ manteve idéias essencialmente idênticas às que possuía no início. Quase todos demonstraram estar cientes de que as armas nucleares constituem um assunto ainda atual e de importância social. Os

estudantes E₁, E₂, E₅ e E₆ consideraram em sua argumentação o potencial destrutivo das armas nucleares. As alunas E₃ e E₅ mencionaram a possibilidade de ocorrência de uma guerra nuclear. O estudante E₁ refletiu a preocupação de que é relevante as pessoas estarem mais conscientes sobre o tema das bombas atômicas para se garantir a prevalência do diálogo e da paz entre as nações. As alunas E₃ e E₄ estabeleceram uma relação entre os atuais conflitos no Oriente Médio e as armas nucleares, algo veiculado freqüentemente na mídia.

O estudante E₇ foi o único a não admitir que a questão das armas nucleares ainda possui relevância hoje em dia, pelo fato de serem destinadas ao uso militar. Desse modo, não percebeu a relação do assunto com aspectos estratégicos e geopolíticos mesmo quando não se está em guerra.

As respostas aos itens da questão 5 mostram que a maior parte dos alunos obteve certo êxito em estabelecer relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, na abordagem do tema das armas nucleares, incluindo alguns de seus aspectos políticos. Suas reflexões denotam também o amadurecimento de questões de ordem ética, concernentes à responsabilidade dos cientistas e da população frente às aplicações científicas. A teia de interconexões construídas pelos estudantes, traduzidas em suas próprias palavras, sinaliza que a aprendizagem realizada foi significativa.

6.3.3 Opinião dos estudantes sobre o uso da hipermídia no curso de Física

Logo após a conclusão do curso realizado com o *software Tópicos de Física Moderna*, os participantes preencheram o *Questionário de Opinião dos Estudantes sobre o uso da Hipermídia no Curso de Física*. A constatação de que duas questões não estavam bem formuladas levou à eliminação posterior de dois itens desse instrumento de pesquisa. No

apêndice D, foram reproduzidos apenas os 32 itens efetivamente considerados neste trabalho.

A partir das respostas ao questionário, foi possível elaborar a tabela 12.

Tabela 12. Respostas ao questionário de opinião dos estudantes.

Item	Polaridade	CONCORDO		SOU INDIFERENTE		DISCORDO		NÃO RESPONDEU	
		N	%	N	%	N	%	N	%
01	—	0	0	0	0	7	100%	0	0
02	+	7	100%	0	0	0	0	0	0
03	+	6	86%	1	14%	0	0	0	0
04	—	0	0	0	0	7	100%	0	0
05	+	7	100%	0	0	0	0	0	0
06	—	0	0	0	0	7	100%	0	0
07	—	1	14%	2	29%	4	57%	0	0
08	—	0	0	1	14%	6	86%	0	0
09	—	7	100%	0	0	0	0	0	0
10	—	0	0	0	0	7	100%	0	0
11	+	7	100%	0	0	0	0	0	0
12	+	6	86%	1	14%	0	0	0	0
13	+	7	100%	0	0	0	0	0	0
14	+	6	86%	1	14%	0	0	0	0
15		1	14%	4	57%	2	29%	0	0
16	—	0	0	1	14%	6	86%	0	0
17	—	0	0	0	0	7	100%	0	0
18	—	0	0	0	0	7	100%	0	0
19	+	7	100%	0	0	0	0	0	0
20	+	5	71%	2	29%	0	0	0	0
21	—	0	0	0	0	6	86%	1	14%
22	+	7	100%	0	0	0	0	0	0
23	—	0	0	0	0	7	100%	0	0
24	+	6	86%	1	14%	0	0	0	0
25	—	1	14%	0	0	6	86%	0	0
26	+	7	100%	0	0	0	0	0	0
27	—	0	0	1	14%	6	86%	0	0
28	+	7	100%	0	0	0	0	0	0
29	—	0	0	0	0	7	100%	0	0
30	+	7	100%	0	0	0	0	0	0
31	—	0	0	0	0	7	100%	0	0
32		7	100%	0	0	0	0	0	0

Para cada item, levou-se em conta o número de alunos (N) que assinalou cada uma das opções: *Concordo*, *Sou Indiferente* ou *Discordo*, ou que não respondeu à questão, incluindo as respectivas porcentagens (%).

A polaridade de cada questão foi indicada na segunda coluna. Quando positiva, a concordância com a questão expressa uma opinião favorável ao *software* e sua utilização, e a discordância expressa uma opinião desfavorável. Quando negativa, a concordância com a questão expressa uma opinião desfavorável ao *software* e sua utilização, e a discordância expressa uma opinião favorável.

A polaridade da questão 2, por exemplo, é positiva, pois se o estudante concordar com a afirmação “os exemplos mostrados no *software* de Física ajudam-me a raciocinar”, estará manifestando uma opinião favorável ao programa e seu uso e, se discordar, estará se posicionando de modo desfavorável. A polaridade da questão 6, por outro lado, é negativa, pois se o aluno concordar com a sentença “nas aulas de Física com computador não se aprende nada”, estará manifestando uma opinião desfavorável ao programa e seu uso e, se discordar, estará se posicionando de modo favorável.

A ausência de polaridade no caso dos itens 15 e 32 significa que a concordância ou discordância com essas questões não expressa opinião nem favorável nem desfavorável ao *software* e sua utilização.

Em uma análise da tabela 12, excluindo-se os itens 15 e 32, que são neutros, pode-se constatar que nos 30 itens restantes mais da metade dos estudantes registrou respostas favoráveis ao programa. Em 28 itens, mais de 86% dos estudantes apresentaram um posicionamento favorável ao *software*. No item 20, 71% dos estudantes expressaram opinião favorável ao *software*.

A questão 7, contendo a afirmação de que as aulas de Física no computador são monótonas, foi a que registrou menor percentual de estudantes favoráveis ao programa, com

um índice de 57%. Dois estudantes mostraram-se indiferentes em relação ao teor dessa pergunta. Um aluno concordou com a asserção. Isso evidencia que nem todos os estudantes sentiram-se motivados somente pelo fato de utilizar o computador para estudar Física. Porém, é preciso comparar esse resultado com o índice de concordância de 86% alcançado na questão 3, na qual se afirmava que usar o computador para aprender Física é motivador. Essa discrepância nas respostas parece indicar que alguns estudantes interpretaram de maneira distinta esses itens, diferenciando a forma de o professor conduzir as aulas do modo como se sentiam em relação à possibilidade de usar o computador para aprender.

A questão 15 continha a idéia de que seria possível aprender sozinho os conteúdos do *software*. Somente um estudante concordou com essa afirmação. Dois discordaram e quatro mostraram-se indiferentes. Entretanto, conforme foi assinalado na questão 32, todos os estudantes consideraram importante a presença do professor para o entendimento do conteúdo apresentado no *software* de Física. Desse modo, na opinião dos alunos, o *software* é um recurso didático melhor aproveitado quando há um professor para orientar as atividades e esclarecer dúvidas.

A análise de fatores favoráveis e desfavoráveis do *software* envolveu três categorias distintas, nas quais podem ser agrupados os itens do instrumento de pesquisa:

1) Possibilidade de aprendizagem com o apoio do *software*. A essa categoria relacionam-se os itens: 2, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 28, 29, 30 e 31.

2) Aspectos motivacionais do *software*. A essa categoria relacionam-se os itens: 3, 7, 12, 14 e 24.

3) Aspectos técnicos do *software*, relacionados à sua estrutura e ao seu funcionamento. A essa categoria relacionam-se os itens: 1, 5, 21, 25, 26 e 27.

De acordo com a tabela 12, os alunos expuseram, de modo geral, opinião favorável sobre as possibilidades de aprendizagem com o *software* empregado e também em

relação a seus aspectos motivacionais e técnicos. Portanto, na avaliação da maior parte dos estudantes:

a) o *software* possui textos compreensíveis, com conteúdos bem explicados; possibilita ampliar o conhecimento sobre a Física; contribui para se aprender a raciocinar; favorece a assimilação dos conceitos; apresenta questões relevantes ao final dos textos, que estimulam a reflexão; permite desenvolver uma visão de como a Ciência evolui, mostrando que as idéias da Física mudam com o tempo; permite ver a relação da Física com a Tecnologia e a Sociedade; leva a pensar sobre a importância da Ética no desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia; exhibe imagens, animações e filmes que facilitam a aprendizagem.

b) o *software* constitui recurso motivador; ter aulas no computador não é monótono, trata-se de uma boa maneira de aprender e desperta a atenção; poder estudar o conteúdo no computador torna as aulas de Física interessantes.

c) o *software* possui bom projeto gráfico; permite fácil *navegação* por seu conteúdo; possui *links* pertinentes; não causa problemas significativos de desorientação; auxilia a ver as relações entre os conceitos; possibilita localizar os assuntos sem dificuldade.

As respostas predominantemente favoráveis dos estudantes nesta análise permitem concluir que o uso da hipermídia foi considerado relevante para a aprendizagem de Física Moderna.

6.3.4 Entrevistas com os estudantes participantes do curso

Dos sete estudantes que completaram o curso sobre tópicos de Física Moderna, seis foram entrevistados após o término das aulas. Um dos estudantes não compareceu no dia em que as entrevistas foram realizadas e depois não foi mais possível contatá-lo.

A partir das opiniões e comentários emitidos pelos alunos, pôde-se obter subsídios importantes para a avaliação do processo de ensino e aprendizagem de conceitos de Física Moderna e sobre Ciência com o apoio do *software* hipermídia especialmente implementado para essa finalidade.

Durante as entrevistas, os estudantes fizeram considerações sobre os temas que lhes pareceram mais notáveis e sobre os quais alcançaram melhor entendimento. Também se manifestaram sobre as características do curso ministrado e do *software* empregado que se lhes afiguraram mais satisfatórias ou insatisfatórias. Em particular, ponderaram se o material utilizado favoreceu ou não a percepção de relações entre os vários assuntos estudados. Sopesaram ainda se os elementos de mídia componentes do *software* tiveram alguma relevância para a compreensão das idéias apresentadas. A pertinência do *software* e da metodologia de ensino adotada constituiu-se em outro aspecto sobre os quais os alunos se pronunciaram.

Nos extratos de entrevistas reproduzidos para fundamentar as análises realizadas a seguir, o símbolo (...) indica a omissão de pequenos trechos, desnecessários para o entendimento das idéias expostas. Acréscimos de palavras ou comentários efetuados na edição do texto, para facilitar a compreensão, foram indicados entre colchetes.

Aprendizagem de conceitos

Questionados sobre o que conseguiram assimilar durante o curso, vários estudantes disseram ter aprendido muito:

“Bom, na verdade, eu acho que aprendi bastante coisa que... se eu estivesse no Ensino Médio, eu não aprenderia. Bem mais avançado. Gostei muito. Foi muito bom, acho”
(E₁).

“O que eu consegui aprender? Ah, eu aprendi bastante coisa. Tinha coisa que eu não tinha nem noção, só ouvi falar. E agora pelo menos eu sei por onde começa, como que funciona... Alguma coisa assim” (E₂).

“O que eu aprendi? Ah! Muita coisa. Sempre eu ouvi falar do Einstein, das idéias dele, mas nunca tinha visto nada assim aprofundado, detalhadamente assim. Sabe? Sempre algo muito... só falava assim: “Ah, porque as bombas...”. Né? Mas... nada mais detalhado assim. Né?” (E₄).

“O que eu consegui aprender? Muita coisa que eu não aprendo na escola” (E₅).

Desses comentários, pode ser inferido que os alunos julgaram ter obtido, de modo geral, um bom aproveitamento do curso realizado com o apoio do *software*.

Temas destacados pelos estudantes

Ao buscarem informar os assuntos que entenderam melhor ou mais lhes chamaram a atenção, os estudantes destacaram os reatores nucleares e as armas nucleares, questões atuais, nas quais aspectos científicos e tecnológicos se encontram em conexão com os de caráter social e ambiental. O fenômeno da dilatação dos tempos, implicação da Teoria da Relatividade que desafia as concepções tradicionais e o senso comum, também foi ressaltado no discurso dos estudantes. Esses pontos são ilustrados abaixo:

“É... Sobre as ameaças nucleares. Sobre as bombas nucleares (...). Mas fora aquela do relógio, dos tempos, a questão de dilatação do tempo. Foi muito bom também” (E₁).

“Ah, o que me chamou mais a atenção foi... ali da bomba atômica e a dilatação dos tempos também. Foi legal assim... foi o que prendeu mais a minha atenção” (E₂).

“(...) Eu gostei desses reatores, essas coisas de bombas. Eu achei interessante isso daí” (E₃).

“Ah, me chamou mais a atenção ali o negócio das bombas atômicas, da radioatividade. Foi, acho, o que me... chamou mais a atenção. Você sabe que é algo que todo mundo fala (...). Está mais... atual. Não [apenas] atual, mas que... todo mundo já ouviu falar. Né? Então, me chamou mais a atenção assim. E eu também não fazia idéia de como funcionava uma usina nuclear, nunca tinha nem noção assim de como funcionava” (E₄).

“Ah, uma coisa que eu acho que eu sempre vou lembrar, acho que todo mundo vai lembrar, é aquele negócio da dilatação dos tempos” (E₄).

“Ah, eu gostei do negócio lá das usinas nucleares. Aquele negócio lá do lixo radioativo. Tem aqueles problemas e tal. As vantagens dela [da usina]. Isso aí eu achei maneiro” (E₅).

“Ah, a parada lá das bombas atômicas também, aquela bomba de hidrogênio, que faz altos estragos. Também é bem legal” (E₅).

“Mais sobre... a teoria de Einstein lá... a dilatação do tempo, a fissão e fusão. Mas mais aquele [assunto] da dilatação mesmo, que foi o que eu peguei mais” (E₆).

“Ah! (...) Aquele... das bombas, da guerra, da Ciência. O mais é isso. Os acidentes envolvendo a bomba atômica. É isso” (E₆).

Indagada sobre o motivo de a dilatação dos tempos ter despertado tanto a curiosidade da turma, a estudante E₄ fez a seguinte reflexão:

“Ah, porque é uma coisa assim que você nem imagina. Né? Porque... para nós o tempo vai passar igual... em todo lugar. Né? E vem com essa estória... da rapidez e tal, alguma coisa assim, que muda tudo os tempos. E aí acho que chamou a atenção do povo. Porque aquilo foi o que a gente mais debateu fora do curso, foi isso” (E₄).

Essa razão também foi levantada pelo estudante E₂, que justificou ainda seu interesse pelo tópico das armas nucleares em função dos debates de natureza ética gerados pelo tema:

“É... No começo, a dilatação achei... eu achei legal assim porque dá diferente quando o corpo se move. E da bomba atômica porque isso aí pode gerar... como é que eu posso te explicar... uma polêmica no mundo. Né? Porque isso pode acabar... Ajuda a área militar mas atrapalha a população (...)” (E₂).

Além de apontarem características do conteúdo capazes de motivar os estudantes, esses depoimentos constituem indícios de que o material utilizado os auxiliou na percepção das relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente. Os temas científicos atuais e com facetas tecnológicas, sociais, ambientais e éticas, possuidores de elementos mais próximos da realidade dos aprendizes, parecem ter apresentado boa *relacionabilidade* intencional e substancial e, desse modo, favorecido a aprendizagem significativa, pois foram bastante mencionados nos relatos livres feitos pelos alunos.

Dificuldades de aprendizagem

Na avaliação das dificuldades de aprendizagem experienciadas durante o curso, foram indicados aspectos inerentes à própria matéria estudada e ao preparo insuficiente proporcionado pelo ensino anterior para o estudo dos temas de Física Moderna tratados. Isso aparece nos seguintes dizeres:

“Ah, eu achei difícil toda a matéria assim, porque o que a gente estuda no colégio é bem diferente do que a gente estava vendo aqui. E o ensino que a gente aprende no colégio é bem inferior. Daí fica meio perdido um pouco... Eu, principalmente, tinha que aprofundar mais assim. Para aprender mais. Porque acho que tudo foi meio... difícil assim. Né? Porque acho que no colégio aqui nunca tinha visto nem nada parecido. Acho que é por isso” (E₂).

“(...) acho que tive um pouco de dificuldade porque eu nunca tinha visto... isso assim. E a nossa Física do colégio é muito básica. Sabe? É o básico do básico que a gente aprende. E chega ali é uma coisa bem mais complexa, bem mais... complicada. Mas... foi

bom. (...) Mas a dificuldade maior foi a que a gente não tinha uma base tão boa. (...) É boa para eu estudar em colégio normal assim. Agora... para ver uma coisa mais difícil assim, fica meio...” (E₄).

“Eu achei que pelo fato de nosso estudo ser meio fundamental, foi meio difícil de pegar no começo, mas depois foi tranquilo” (E₆).

Pode-se inferir das declarações que os estudantes sentiram um desconforto pelo fato de terem entrado em contato com uma nova metodologia de ensino e aprendizagem, a qual constituiu um embaraço inicial. A dificuldade atribuída à matéria é indício de que os alunos possuíam, a princípio, poucos subsunçores apropriados para o estudo do material contido no *software*.

Embora não tenha achado o assunto fácil, para a estudante E₄ isso não a impediu de alcançar um bom aproveitamento do curso:

“(...) acho que deu para trabalhar direito. No começo foi um pouco mais complicado para você se adaptar com a idéia. Mas depois não, deu para trabalhar sossegado assim. Foi... foi bom” (E₄).

Quando perguntado se faltou algo no curso que o auxiliasse a acompanhar melhor o assunto, o estudante E₂ ponderou que, apesar dos empecilhos com os quais deparou, teve os recursos necessários para progredir conceitualmente:

“Ah, eu acho que tudo me ajudou, para eu crescer, saber um pouco mais da Física. Acho que faltar... eu assim me olhando... para eu analisar assim, eu acho que não faltou nada, porque eu aprendi muita coisa” (E₂).

Obstáculos de ordem matemática, em particular, foram citados por dois estudantes:

“Ah, em termos de aprendizagem, eu pedalei um pouco nas fórmulas, no caso. Eu não estava acostumado com as fórmulas avançadas. Acho que foi um pouco mais de dificuldade. Mas ficou bem legal também, depois que pega” (E₁).

“Ah, acho que mais assim... lá nos cálculos assim... que eu me perdi um pouquinho. Mas depois fui pegando o fio da meada” (E₃).

Conforme se observa nos extratos apresentados, os alunos consideraram, de modo geral, que as dificuldades enfrentadas puderam ser superadas e não impossibilitaram o entendimento dos assuntos. Isso sugere que durante o curso foram desenvolvidos ao menos alguns conceitos subsunçores capazes de auxiliar a aprendizagem subsequente. Além disso, esses dados mostram que a matemática exigida, necessária para o aprofundamento dos conceitos, não foi inadequada ao Ensino Médio.

Alguns alunos mencionaram que as explicações fornecidas pelo professor foram importantes para a compreensão dos conceitos. Esse aspecto aparece nos trechos transcritos a seguir:

“Apesar de que o que faz mesmo [a diferença] é a explicação, para você conseguir absorver tudo ali o que está dizendo” (E₂).

“Sozinho é difícil entender, mas quando o senhor começa a explicar, daí já fica mais fácil. Só a gente lendo, principalmente na matéria do começo, a gente ficava meio assim... Né? Mas aí dava uma explicação básica e daí já ia naturalmente o resto” (E₅).

“Eu acho que para você pegar bem a matéria, a sua explicação ajudou muito. É lógico que (...) lendo, a gente entende, mas com a sua explicação ficou bem mais fácil” (E₆).

“Tem certos trechos do software que a gente fica meio... a gente não entende bem. Né? Mas daí vem o senhor e explica... e ficou bem fácil” (E₆).

Tais afirmações evidenciam que a orientação de um professor é necessária para otimizar a utilização do *software* proposto, pois, além de auxiliar a esclarecer pontos mais

difíceis, este pode propor atividades para explicitar as concepções dos alunos e introduzir organizadores prévios adicionais, adequados às peculiaridades de cada indivíduo, a fim de direcionar apropriadamente as etapas futuras da aprendizagem.

Aspectos satisfatórios do curso

A interatividade entre os participantes, a realização de debates, a possibilidade de aprender novos assuntos, o uso do computador como ferramenta de ensino e aprendizagem, as questões propostas para discussão dos conteúdos e as explicações do professor foram aspectos positivos do curso salientados pelos alunos. Isso está refletido nas seguintes declarações:

“Eu achei legal. Achei legal as aulas. Bastante interativas. O professor explica bem. Os alunos debatem o assunto. Achei legal, cara. Gostei” (E₁).

“Ah, eu acho que tudo assim para mim funcionou bem, porque eu só aprendi. Não tem nada que eu falasse: ‘Aí eu já sabia’. (...) Agora... alguma coisa que eu tenha visto que não foi legal, acho que não tem nada, porque para mim tudo foi só um aprendizado” (E₂).

“O que foi bom... [foi] o aprendizado nos computadores e... com a explicação do senhor, daí deu para fixar bastante coisa, tem coisa que eu nem tinha idéia... os exercícios assim...” (E₃).

O valor atribuído pela estudante E₃ aos exercícios e à interação com o professor, em conjunto com a avaliação de ter conseguido boa retenção do conteúdo examinado, são indicações de que as questões formuladas ao final dos textos e os debates tiveram efeito benéfico na assimilação e consolidação dos conceitos.

A estudante E₄ reforçou a idéia de que o trabalho no computador auxilia os estudos, pelo fato de contribuir para a fixação da atenção:

“É bem mais interessante trabalhar mexendo no computador, porque já chama a atenção” (E₄).

Isso pode ser arrolado como característica da informática educativa – com suporte da hipermídia – favorável à aprendizagem, pois a manutenção da concentração sobre um tema é condição importante para sua apreensão.

A oportunidade de ter maior interação com os colegas também foi um ponto positivo do curso ressaltado pela estudante E₅, para quem esse tipo de metodologia favorece o entendimento dos assuntos:

“(...) Geralmente é cada um na sua e Deus por todos. Ali daí a gente troca uma idéia. Mostra o que achou de interessante para o outro. Se você não entende, daí tu pergunta para a pessoa que entendeu. É mais legal” (E₅).

O comentário da estudante E₅ fornece evidência de que a forma de trabalhar adotada no curso fomentou a aprendizagem de conteúdos atitudinais. Nesse caso, a valorização do intercâmbio de idéias e da solidariedade entre as pessoas.

Aspectos insatisfatórios do curso

Apesar de terem avaliado favoravelmente o curso, os estudantes não deixaram de indicar aspectos que poderiam ser melhorados. A carga horária do curso, em particular, foi algo criticado por alguns estudantes, conforme se pode constatar pelos comentários transcritos a seguir.

“Eu acho que tinha que ter mais tempo. Foi muito pouco tempo para ver tanta coisa (...) Daria para ser um pouco mais. Para trabalhar com mais calma, (...) para a cabeça ir se organizando. Eu acho que foi a única coisa, que era pouco tempo, mas no mais eu acho que foi bom. (...) A única coisa é que tinha que ter mais tempo” (E₄).

“Se tivesse um pouco mais de tempo seria um pouco melhor para aprender, para pegar melhor” (E₆).

O desejo de dispor de mais tempo para explorar e discutir idéias é compreensível, sobretudo diante de assuntos novos e desafiadores tais como os estudados durante o curso. No entanto, a avaliação geral positiva quanto à aprendizagem é indício de que o ritmo imprimido às atividades pedagógicas não impediu a consolidação dos principais conceitos.

A quantidade de leitura exigida no curso também foi algo que desagradou ou cansou alguns alunos:

“Ah, eu achava as aulas legal. Mas era ruim que tinha que ler um monte de coisa. Mas era maneiro” (E₅).

“Foi meio cansativo porque tinha que ler bastante” (E₄).

Esse fato deve ter ocorrido principalmente devido à metodologia de trabalho que incentivou os estudantes a lerem os materiais do programa antes de fazerem questionamentos e debates. A estudante E₄ não atribuiu tal situação a uma extensão excessiva de cada um dos textos, pois, quando inquirida a esse respeito, considerou que estes estavam adequados, dizendo: *“Não, eu acho que estava bom sim” (E₄).*

Ainda que tenha exigido mais esforço dos alunos, a opção por uma abordagem valorizadora da leitura teve a vantagem de permitir o desenvolvimento da habilidade de apreender idéias a partir de textos, um conteúdo procedimental.

Aspectos satisfatórios do software

Bom projeto gráfico, uso apropriado de vídeos e animações, adequação das ilustrações, clareza do texto, apresentação de exemplos relevantes e facilidade para realizar a *navegação* figuram entre as características do *software* reconhecidas como positivas pelos estudantes. Isso pode ser aferido com base em diversas passagens das entrevistas:

“Olha... eu gostei muito... das traduções no caso, das aberturas de página, vídeos, algumas... (...) simulações também, o emprego do vídeo. Podemos dizer que eu gostei bastante do software. É bem diferente também (E₁)”.

“Com certeza os vídeos. O vídeo eu acho que explica bem... tudo como funciona” (E₂).

“Achei legal as animações” (E₃).

“Eu acho que... para mim, estava tudo bem assim, porque em toda página tinha um desenho ou alguma coisa que ajudava a explicar o que você estava lendo. Porque às vezes você lê e você não entende. Agora você vê uma imagem, já facilita. Né? Tinha aqueles esqueminhas, tal” (E₄).

“Ah, eu acho assim... ele é bem explicadinho. (...) Todo o trabalho dele é bem feitinho. É tudo bem explicadinho, não tem dificuldade nenhuma para você mexer. É só você clicar lá... pá!... abre” (E₅).

“Eu gostei muito dos exemplos, das fotos. É... de todo o software eu gostei bem” (E₆).

“Eu gostei muito das fotos, da legenda que existe em cada foto, que explica. (...) O visual dele é bem interessante” (E₆).

Esses comentários sugerem que o uso da hipermídia possibilitou a criação de um ambiente agradável de aprendizagem, no qual os diferentes elementos de mídia e os recursos hipertextuais apoiaram a exploração da informação e a assimilação dos conceitos.

Aspectos insatisfatórios do software

Ao serem indagados sobre aspectos insatisfatórios do *software*, a maioria dos estudantes não os conseguiu citar, tendendo a considerar bem elaborado esse recurso instrucional. Eis alguns comentários nesse sentido:

“Acho que está bom. Acho que está” (E₃).

“Eu acho que estava bom. Também não tenho o que reclamar. Eu acho que dá para trabalhar direitinho... o programa” (E₄).

“Acho que não tem nada assim que dificulte não” (E₅).

“Não tem... Acho que não tem nada assim a modificar nele” (E₆).

Apenas o estudante E₁ levantou um aspecto que, em sua opinião, poderia ser aperfeiçoado, relativo à opção de se usar o teclado para acessar o *software*:

“Em termos do software, acho que a única coisa que deveria ser melhorado um pouco é... o manuseio do teclado. Porque vai muito o mouse. E daí (...) às vezes estraga o mouse e o cara fica sem usar o software por causa do teclado. É a única coisa que eu achei que poderia ser melhorado no caso. Mais... assim... o teclado” (E₁).

É possível que a falta de experiência com outros *softwares* educacionais tenha dificultado aos estudantes a avaliação crítica do material didático. Isso pode ser inferido a partir da seguinte observação do estudante E₂:

“Ixe! Professor, eu nunca vi nenhum outro e acho que eu não tenho nem como comparar assim. Para mim está bom, não tem nem porque reclamar. É que eu nunca vi outro. Né? Eu só vi esse daí e não tem como comparar assim... (...) Para mim está ótimo” (E₂).

Apesar de os alunos não disporem de critérios de aferição amadurecidos, a ausência de críticas significativas indica que, para os estudantes, a qualidade do programa estava satisfatória.

Percepção de relações entre os temas do hipertexto

Os estudantes declararam que o *software* utilizado favoreceu a percepção de relações entre os assuntos apresentados. A facilidade para *navegar* pelos documentos do sistema hipermídia foi um fator associado a isso:

“Ah, com certeza, porque... é bem diferente de você estar com um livro. Fica tudo mais fácil, mais rápido. E a explicação é melhor, porque é mais fácil entender do que você ficar lendo um livro” (E₂).

“Aí é meio difícil falar assim. Mas uma coisa ajuda a outra. Né? Às vezes você não lembrava de uma coisa assim de um lado, daí tu ia rapidinho lá dar uma olhadinha, daí voltava” (E₅).

Em particular, a estudante E₄ referiu-se ao mapa do *software*, instrumento de navegação exibindo graficamente os assuntos contidos no programa e as inter-relações entre estes:

“Ah, eu acho que ajudou. Porque é bem mais prático assim... mais fácil de entender assim... o que está interligado uma coisa com a outra. Até que aquele esqueminha daquele mapa lá, eu achava interessante” (E₄).

Na condição de exemplos do tipo de ligações conceituais que o hipertexto ajudou a ver, por meio de seus *links*, a estudante E₄ citou alguns envolvendo Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente, incluindo questões de natureza ética:

“Ah, eu acho que o mais recente... o que está mais claro... (...) O negócio da Ética, da população e a Sociedade... alguma coisa assim... interligado com as bombas atômicas, com as idéias dos cientistas, que alguns são contra e outros a favor. Vários assuntos vão interligando com outros... Daí o das usinas nucleares... Entendeu? O que afeta a saúde, o que... traz de bom e traz de ruim. Os textos estão interligados sim” (E₄).

O estudante E₂, por sua vez, exemplificou essa questão salientando a apreensão das diferenças entre a Física Clássica e a Moderna que alcançou mediante a exploração do hipertexto. Em suas palavras:

“Ah, como... a Física Clássica e depois a vinda da Física Moderna, comparando as duas? Ah, eu achei muito interessante, porque você fica sabendo como era e daí agora fica

sabendo uma coisa que foi provada, a diferença, como se fosse um debate entre as duas. Eu achei legal” (E₂).

A ponderação do estudante E₂ também sinaliza que a opção de ensino de conceitos de Física Moderna fazendo-se referência às noções clássicas – cotejando-se alguns de seus fundamentos e acrescentando-se discussões históricas e filosóficas – favoreceu a reconciliação integrativa, ao propiciar melhor discriminação desses dois conjuntos de idéias.

Os estudantes E₃ e E₆ expressaram o fato de os recursos do *software* os terem ajudado a perceber as ligações entre as idéias com os seguintes termos:

“Isso é um fato interessante, porque cada tema, um liga o outro assim sem dificuldade nenhuma. Você vai pegando um e já vem a idéia do outro seguinte” (E₆).

“Ah, tinha... textos que a gente lia que dava uma pincelada do que ia falar mais para frente. Daí, ia complementando, complementando, e uma coisa vai ligando na outra assim” (E₃).

Esses depoimentos parecem indicar que a utilização dos princípios da derivação progressiva, da organização seqüencial e da reconciliação integrativa na estruturação do *software* e das atividades didáticas – orientando a redação dos textos, a configuração dos *links* do hipertexto e a escolha de trilhas pelo hiperdocumento – teve um efeito benéfico para a aprendizagem. A aluna E₅ fez uma declaração que reforçou esse ponto:

“No começo a gente lia e era tudo grego... a gente não entendia nada. Agora, para o final, as coisas já vão ficando mais claras até (...) Eu acho que a gente já vai tendo uma base assim. Sabe? Ai depois o desenvolver é mais fácil até” (E₅).

As reflexões dos alunos sobre o modo como sua aprendizagem se desenrolou sugerem que o *software* auxiliou no desenvolvimento de subsunçores apropriados para a assimilação dos assuntos tratados. O estabelecimento de associações relevantes pelos alunos

entre as idéias estudadas, por sua vez, pode ser entendido como evidência de ocorrência de aprendizagem significativa.

Influência da multimídia sobre a aprendizagem

Os alunos avaliaram que a diversidade de elementos de mídia – imagens, animações, vídeos e outros – presentes no *software* forneceram um suporte valioso à aprendizagem, contribuindo para a fixação da atenção, favorecendo a elaboração do raciocínio e tornando mais fácil a visualização e interpretação dos fenômenos. A seguir são transcritas algumas idéias dos estudantes sobre isso:

“É... ajudou bastante, porque se fosse no papel, ia ser uma coisa meio difícil de se compreender. Né? Como ali no software tem várias simulações, gráficos, também tem fotos, vídeos... Nossa! Melhorou em cem por cento... [com] o uso do computador, no caso” (E₁).

“(...) Ajudou bastante. Porque como eu já havia dito... melhora cem por cento, [com] as animações. Porque na hora que você está no papel ali, você não imagina que é daquele jeito. Pode estar escrito, você pode imaginar de um jeito bem diferente, mas na hora que você vê assim, achei bem melhor. Bem melhor mesmo” (E₁).

“(...) só em teoria, assim lendo, a gente fica meio assim... que não entende assim, mas daí quando vê a animaçãozinha, já dá uma clareada” (E₃).

“Ah! Com certeza. Eu acho que... que nem aquele [assunto] da usina nuclear. Lendo, eu não entendi o que era. Agora, olhando o desenhinho e o senhor explicando como que funciona, já é outra coisa, já dá para você ter uma base melhor. Porque às vezes fala uma coisa e fica difícil imaginar como que é. E tendo uma imagem, não. Né? Facilita bastante o raciocínio” (E₄).

“Chamou até mais a nossa atenção... para o assunto, porque às vezes você está cansado de ler e aí vem uma coisa diferente. Você já [pensa]: ‘Opa! Prestar atenção!’ (...)” (E₄).

“Ah! Com certeza. É mais legal até de você entender. Principalmente aquele lá da fissão, do coisinho [nêutron] que aparecia assim e chup! Aquele ali era massa!” (E₅) [A estudante fez, durante sua fala, um gesto indicando uma colisão e depois a divisão do alvo].

“Ah, ajudou bastante. Foi o que mais chamou a atenção no software. (...) as imagens e os vídeos. (...) Foi o que foi mais legal no software” (E₆).

Apesar de ainda conservar uma idéia clássica a respeito do fóton, tratando-o enquanto “bolinha”, o estudante E₂ também revela ter sido ajudado pelos recursos multimídia empregados no *software*. Eis seus dizeres:

“Acho que foi o fundamental. Para mim, uma das coisas que mais me chamou a atenção foi a dilatação dos tempos. Daí, aquele quadro que mostra a bolinha subindo e descendo, e a outra em movimento eu achei... acho que foi legal. Eu estava meio confuso nessa parte aí, porque acontece a dilatação, e o videozinho lá me ajudou a entender melhor o porquê disso, o porquê daquilo” (E₂).

A concepção alternativa do estudante E₂ quanto ao fóton indicou a pertinência de se incluir algumas observações sobre a natureza desse ente físico na legenda da animação mencionada.

A partir dos pontos de vista arrolados, pode-se inferir que, na opinião dos alunos, a utilização da multimídia trouxe benefícios para o entendimento dos conceitos expostos. Ao serem empregados para firmar a atenção, apoiar o raciocínio e auxiliar a visualização e interpretação dos fenômenos, os elementos de mídia podem colaborar para a ocorrência de aprendizagem significativa por tenderem a estimular o estabelecimento de relações

intencionais entre os conceitos a serem assimilados e a estrutura cognitiva, além de facultar maior discriminabilidade destes em relação aos subsunçores existentes.

Adequação do *software* ao terceiro ano do Ensino Médio

Ao serem interrogados se, com base na experiência vivenciada, pensavam que o *software* de Física Moderna era adequado ao terceiro ano do Ensino Médio, os estudantes responderam afirmativamente. Algumas razões fornecidas para justificar essa visão foram a relativa facilidade para se aprender seus conteúdos, o apoio proporcionado pela multimídia e o diferencial em relação à metodologia tradicional. Estas foram algumas asserções dos alunos:

“Eu gostei. Nós acompanhamos. Todo mundo... acho que os que se interessaram não tiveram muita dificuldade. Foi bom. Acho que a maioria conseguiu pegar certinho” (E₁).

“Ah, esse programa aí ia ajudar muito porque é diferente. No colégio, é só no quadro assim... (...) o programa ajuda, porque tem imagens, tem vídeos” (E₂).

“Ah, eu acho que dá sim [para usar]. Até mesmo porque é mais interessante do que essas aulas que a gente tem normalmente, só [com] quadro e caderno. É bem melhor você trabalhar ali no computador. Você ver coisa diferente assim. Sair daquela rotina. É bem melhor. Você aprende mais até. Se você me perguntar alguma coisinha de Física que eu estudo na escola, eu não sei responder nada. Agora... daqui a gente já tem uma base assim mais ou menos. Né?” (E₅).

O comentário da estudante E₅ pode ser entendido como uma indicação de que, após o curso, considera ter passado a dispor de novos conceitos para abordar os assuntos estudados. Isso sugere que diversas idéias foram assimiladas e algum grau de aprendizagem significativa ocorreu. Reforça essa conclusão a avaliação da aluna de que sua fixação do conhecimento foi maior no curso com a hipermídia do que em outros cursos de Física do qual

participara, pois a maior retenção das idéias em geral é característica da aprendizagem significativa.

Segundo o estudante E₆, no terceiro ano do Ensino Médio os alunos já possuiriam noções que os habilitariam ao estudo dos conceitos do *software*:

“O que a gente aprendeu no terceiro ano já é uma introdução ao software. Né? A gente já vai com alguma idéia. A gente já entra com alguma... com idéias sobre...” (E₆).

Essa afirmação é consistente com a idéia de que no terceiro ano do Ensino Médio os alunos já contam com pelo menos alguns conceitos subsunçores para obter aproveitamento do estudo do material apresentado no *software*.

A estudante E₄ também concordou que haveria condições de o *software* de Física Moderna ser adotado no final do Ensino Médio:

“Eu acho que tem. Eu acho que tem sim. Só que... tem que nos outros dois anos, no primeiro e no segundo ano... já dar uma introduçãozinha... Para não chegar assim: ‘Está aí a atividade’...” (E₄).

Porém, conforme acrescentou essa aluna, o ensino dos temas de Física Moderna poderia ser feito não só ao final dessa série, mas também ao longo da primeira e da segunda. A aluna E₃ também considerou que o estudo desses tópicos desde o início do terceiro ano poderia otimizar a aprendizagem:

“Sim, só que têm... que começar mais cedo... as aulas, no começo do ano, para entender bastante... pegar mais coisas” (E₃).

As observações feitas pelas estudantes E₃ e E₄ apontam para a pertinência de se tratar conceitos de Física Moderna em várias oportunidades ao longo das três séries do Ensino Médio. A exposição a essas idéias durante um período mais estendido de tempo poderia permitir um desenvolvimento mais gradual dos conceitos de Física Moderna e uma consolidação melhor destes.

Embora o *software Tópicos de Física Moderna* tenha sido aplicado em uma turma que já estava concluindo o terceiro ano do Ensino Médio, essa foi apenas uma opção, dentre outras, feita na pesquisa descrita neste trabalho. Não significa a concordância com o ponto de vista de que a Física Moderna só pode ser ensinada após um estudo completo da Física Clássica. O uso de organizadores prévios adequados e a exploração de diferentes conjuntos de trilhas pelo *software* podem possibilitar o desenvolvimento de aulas em diversos momentos do curso de Física do Ensino Médio.

Essa e outras perspectivas para futuros projetos envolvendo o uso da hipermídia no ensino de Física Moderna serão examinadas brevemente no capítulo final, onde também serão reunidas as principais conclusões obtidas na investigação realizada e apresentadas algumas recomendações.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho trata da construção de conceitos de Física Moderna e sobre a natureza da Ciência – incluindo suas dimensões tecnológica, social, ambiental, histórica e filosófica – com o apoio da hipermídia.

A pesquisa envolveu a implementação, aplicação e avaliação de um *software* educacional, com fundamentação na Teoria da Aprendizagem de Ausubel, em princípios para a elaboração de sistemas hipermídia e em perspectivas da Educação para a Ciência, dentre as quais o enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) e as abordagens considerando a inserção da História da Ciência, Filosofia da Ciência e Física Moderna no Ensino Médio.

O potencial dessa proposta didática para o processo de ensino e aprendizagem foi aferido com base na análise realizada por pesquisadores do Ensino de Física e licenciandos em Física – futuros professores da escola de nível médio – e a partir de dados obtidos em um curso de introdução à Física Moderna do qual participaram estudantes do terceiro ano do Ensino Médio.

Verificou-se uma correlação entre várias características do *software* hipermídia planejadas em seu projeto e percebidas em sua avaliação, embora nem todos os aspectos almejados tenham sido alcançados plenamente.

As informações reunidas mediante o emprego de diferentes instrumentos e métodos de investigação, provenientes de pesquisadores, licenciandos e estudantes do Ensino Médio, levaram à constatação de que, de modo geral, a versão do sistema hipermídia utilizada no curso-piloto:

- a) Apresenta textos bem escritos, compreensíveis e conceitualmente corretos.
- b) Favorece a leitura crítica do conteúdo.

c) Contempla noções sobre a natureza da Ciência, abrangendo sua inter-relação com a Tecnologia e a Sociedade.

d) Congrega diferentes elementos de mídia para criar um ambiente agradável de aprendizagem.

e) Emprega ilustrações, animações e vídeos para favorecer a compreensão dos conceitos.

f) Possui recursos capazes de tornar a aprendizagem motivadora.

g) Pode ser operado com facilidade, possibilitando a exploração do conteúdo sem produzir problemas apreciáveis de desorientação e sem exibir erros de funcionamento.

A potencialidade da hipermídia para a abordagem da Física Moderna evidenciada na avaliação de pesquisadores e licenciandos confirmou-se durante o curso-piloto realizado com estudantes do Ensino Médio. A partir das observações em sala de aula e das opiniões dos alunos, registradas em questionários e entrevistas, foi possível verificar que:

a) O uso do computador foi fator de motivação.

b) A variedade de elementos de mídia auxiliou a fixar a atenção sobre o conteúdo e favoreceu a visualização e interpretação dos fenômenos, facilitando ainda o raciocínio.

c) O hipertexto estruturado em conformidade com princípios ausubelianos contribuiu para a percepção da relação entre os conceitos e colaborou no desenvolvimento de subsunçores para dar suporte à aprendizagem subsequente.

Conforme se apurou, a oportunidade de participar de aulas interagindo com o computador foi valorizada pelos estudantes, em virtude de o emprego da máquina ter apoiado a aprendizagem e constituído um diferencial em relação às aulas tradicionais.

O emprego da multimídia para representar o conteúdo em diferentes formatos pode ter implicado maior facilidade para a efetivação de conexões intencionais, isto é,

não-arbitrárias, entre os conceitos a serem assimilados e a estrutura cognitiva, facultando também a melhoria da discriminabilidade destes em relação aos subsunçores presentes.

A contribuição da exploração do hipertexto para o estabelecimento de significados pelos alunos pode ser associada ao fato de os *links* inseridos para constituir sua estrutura terem permitido o percurso de trilhas pelo hiperdocumento nas quais as idéias são progressivamente diferenciadas, com facilidade de navegação para idas e vindas ao longo da hierarquia conceitual, além de terem propiciado acesso a conceitos correlatos situados em um nível similar de generalidade e inclusividade.

Devido à diversidade de temas desenvolvidos no *software*, optou-se por focalizar, na investigação, a construção de um conjunto selecionado de significados. Isso possibilitou a constatação de que a proposta didática discutida neste trabalho favoreceu a evolução das concepções da maior parte dos estudantes quanto aos seguintes pontos:

- a) O conceito de equivalência massa-energia e suas implicações.
- b) As relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, incluindo aspectos ambientais e políticos.
- c) O papel da Ética no desenvolvimento e aplicação dos conhecimentos científicos.
- d) O progresso da Ciência ao longo do tempo.

Com efeito, a proposta didática para o ensino de Física Moderna com o uso da hipermídia, organizada segundo pressupostos construtivistas, em um enfoque CTS no qual elementos de História e Filosofia foram considerados, possibilitou a grande parte dos alunos a assimilação de idéias básicas sobre a equivalência entre massa e energia, abrangendo conhecimentos quanto à sua formulação matemática e sua aplicação a fenômenos tais quais as reações nucleares e a formação de pares.

Permitiu também a percepção da ligação entre o fenômeno físico da fissão nuclear e a tecnologia dos reatores nucleares, além de maior entendimento de seu potencial para a produção de energia elétrica, dos riscos associados aos resíduos radioativos e de sua capacidade de gerar matéria-prima para armamentos.

Facultou ainda a percepção da conexão das reações nucleares de fissão e fusão com a tecnologia das armas nucleares, além de melhor compreensão da força destrutiva desses artefatos, do poder de intimidação das nações que os possuem e das questões éticas relativas à sua produção e utilização.

Constatou-se que quase todos os estudantes desenvolveram ponderações sobre a responsabilidade dos cientistas e da população diante de questões científicas e tecnológicas com repercussões sociais e ambientais, e ampliaram sua conscientização quanto à não-neutralidade social da Ciência e dos pesquisadores.

A proposta didática favoreceu também a consolidação pelos alunos da noção de que as idéias da Física sofrem transformações profundas, exemplificadas pelo caso das idéias relativísticas adotadas em detrimento das concepções clássicas.

A rede de associações de idéias estabelecidas pelos estudantes e expressadas segundo suas próprias palavras denotaram a ocorrência da aprendizagem significativa de conceitos.

Uma limitação na aprendizagem significativa foi observada na dificuldade dos alunos em explicar a liberação de energia em certas reações nucleares a partir da equivalência massa-energia e relacionar essa noção diretamente a dispositivos tecnológicos tais quais os reatores nucleares e as armas nucleares. O entendimento de que a evolução das teorias científicas envolve rupturas e descontinuidades, com a substituição de um programa de pesquisa por outro, também constituiu um aspecto no qual a aprendizagem significativa foi pouco satisfatória.

As observações das atividades realizadas e as informações fornecidas pelos estudantes indicaram que certas opções metodológicas para o ensino de Física Moderna adotadas no *software* e no curso introdutório trouxeram alguma contribuição para a aprendizagem.

A estruturação do material didático e do curso segundo os princípios da organização seqüencial e diferenciação progressiva parece ter apoiado o desenvolvimento de subsunçores para a construção conceitual. Alguns estudantes fizeram comentários que sugerem mais explicitamente ter sido benéfica a metodologia na qual uma visão geral do conteúdo é propiciada e depois se passa a rever os conceitos com grau crescente de detalhamento. Isso permitiu à maior parte dos alunos superar as dificuldades iniciais manifestadas ao entrarem em contato com a Física Moderna, adquirir desenvoltura na resolução de problemas e alcançar a aprendizagem significativa de conceitos.

A apresentação de tópicos da Física Moderna fazendo-se referência à Física Clássica – tanto pelo cotejo entre pressupostos e idéias dessas duas disciplinas, quanto pela abordagem do desenvolvimento histórico da Teoria da Relatividade – foi relevante para favorecer a percepção da Ciência como algo dinâmico, em evolução, além de estimular a reconciliação integrativa, permitindo melhor discriminação de similitudes e diferenças entre os conceitos. A apreciação da transição da Física Clássica para a Moderna valendo-se da noção epistemológica de programas de pesquisa também parece ter beneficiado os alunos de modo similar.

A ênfase em aspectos qualitativos, limitando-se o uso da Matemática, revelou-se adequada, pois os cálculos constituíram um obstáculo para muitos estudantes, embora não tenham impedido o aproveitamento do curso.

A inclusão no material didático de conceitos relativísticos desafiadores e de temas atuais, relacionados a questões tecnológicas, sociais e ambientais, evidenciou-se apropriada

do ponto de vista motivacional, pois assuntos como a dilatação dos tempos, os reatores nucleares e as armas nucleares instigaram a curiosidade dos estudantes.

As questões propostas ao final dos textos estudados ajudaram a direcionar a atenção para idéias-chave, estimulando a interação entre os alunos e destes com o professor, e contribuindo para a assimilação e consolidação de conceitos. Isso foi particularmente notado no caso das perguntas mais problematizadoras, que forneceram um estímulo maior ao aprofundamento da reflexão, à elaboração de idéias e à geração de debates esclarecedores, favorecendo a aprendizagem significativa.

Houve evidências de que as atividades de leitura e discussão realizadas durante o curso concorreram para a aprendizagem dessas modalidades de conteúdo procedimental, pois alunos declaradamente não possuidores do hábito de ler dedicaram-se a isso, passando a explorar o material espontaneamente, logo ao chegar na sala de aula, e a participar dos debates das idéias obtidas dessa forma.

Foram encontrados indícios de que o incentivo ao estudo do conteúdo do *software* por duplas de estudantes e ao intercâmbio de informações entre estes favoreceu a aprendizagem de conteúdos atitudinais, pois alguns alunos procuraram auxiliar os demais colegas, demonstrando solidariedade, e valorizaram a oportunidade de trocar idéias para obter melhor entendimento da matéria. Conforme informaram os estudantes, isso não ocorria habitualmente em seu ensino regular.

De modo geral, apesar de algumas limitações verificadas, pode-se assumir que o sistema hipermídia *Tópicos de Física Moderna*, na forma como foi utilizado no curso descrito, atingiu seus principais objetivos, de contribuir para a construção de conceitos científicos e sobre a natureza da Ciência por estudantes do Ensino Médio. Os benefícios constatados no processo de ensino e aprendizagem com o emprego dessa proposta didática representaram evidências favoráveis ao uso conjugado da hipermídia com os princípios

construtivistas de Ausubel, em associação com a abordagem CTS e considerando-se questões históricas e filosóficas, assim como conteúdos procedimentais e atitudinais.

Os resultados obtidos revelaram também o interesse dos alunos pela temática da Física Moderna e pelas inter-relações desta com questões tecnológicas, sociais, ambientais, históricas, políticas e éticas, explicitando ainda a capacidade dos estudantes de assimilar, ao menos em nível introdutório, alguns conceitos fundamentais dessa disciplina.

Embora a pesquisa tenha sugerido que a proposta didática examinada apresenta elementos promissores para a ação didática no Ensino Médio, as conclusões atingidas devem ser sopesadas tendo-se em vista certas peculiaridades das escolhas metodológicas adotadas.

A aferição da aprendizagem foi realizada em condições atípicas, em uma turma com número reduzido de alunos, tendo aulas em um curso não-regular que não lhes renderia algum tipo de nota. Desse modo, os estudantes que participaram do curso-piloto eram particularmente motivados, pois se inscreveram movidos basicamente pela vontade de ampliar conhecimentos e se preparar melhor para futuros estudos. Além disso, o curso foi ministrado pelo próprio pesquisador, autor do *software* hipermídia.

A obtenção de dados mais abrangentes quanto às possibilidades de ensino e aprendizagem com a utilização do sistema hipermídia analisado demanda a continuidade das pesquisas em outros contextos, nos quais este seja testado em turmas típicas do Ensino Médio, de modo integrado ao currículo da escola, envolvendo também outros professores além do próprio pesquisador.

Em futuras investigações, seria interessante também promover avaliações mais completas e aprofundadas quanto ao entendimento conseguido pelos estudantes dos conceitos focados no presente trabalho. Por exemplo, não se sabe até que ponto os estudantes compreenderam que o aumento do conteúdo energético de um corpo traduz-se em aumento de sua massa inercial, e não da quantidade de matéria. A confecção de mapas conceituais pelos

alunos, não contemplada na pesquisa descrita nesta tese, poderia ser uma estratégia útil para se descobrir mais detalhes sobre a organização do conteúdo em sua estrutura cognitiva.

Devido ao foco da investigação em um número pequeno de significados, vários conceitos contidos no *software* deixaram de ter sua construção pelos estudantes aferida de modo mais minucioso, tais quais a dilatação dos tempos, a contração das distâncias e a radioatividade, dentre outras. Esses pontos poderiam ser retomados em novos projetos.

Apesar de o *software* para o ensino de Física Moderna ter sido contrastado em um curso-piloto promovido ao final do terceiro ano do Ensino Médio, existem outras opções para se explorar seu conteúdo. A escolha de trilhas pelo *software* com objetivos pedagógicos específicos, as quais podem ser trabalhadas em diferentes momentos do Ensino Médio, é uma estratégia que pode ser colocada em prática em outras pesquisas e também constituir alternativas para a realização de atividades no ensino regular.

Por exemplo, caso se pretenda que os alunos se tornem capazes de diferenciar a Física Moderna da Física Clássica, adquirindo uma visão geral de seus pressupostos e conceitos fundamentais, pode ser adequado estudar os textos da seguinte trilha: *Introdução ao Módulo Visão Inicial* → *Conceitos de Física Clássica* → *Conceitos de Física Moderna*.

Se a meta pedagógica principal for o desenvolvimento de noções sobre o modo como a Ciência evolui com o tempo, o percurso pelos alunos da trilha indicada a seguir poderá ser pertinente: *Desenvolvimento Histórico da Teoria da Relatividade* → *Desenvolvimento Histórico da Mecânica Quântica* → *Metodologia dos Programas de Pesquisa*.

Tendo-se o propósito de propiciar a percepção de relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, com seus aspectos ambientais, a seguinte trilha pode ser indicada: *Física Nuclear* → *Energia Relativística* → *Fissão Nuclear* → *Fusão Nuclear* → *Radioatividade* → *Reatores Nucleares* → *Acidentes Nucleares*.

Pretendendo-se conduzir os alunos à análise de relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, e desencadear reflexões de ordem ética, a trilha especificada a seguir pode ser conveniente: *Biografia de Albert Einstein* → *Projeto Manhattan* → *Armas Nucleares* → *Ciência e Ética*.

Outras combinações de textos podem ser concebidas conforme a construção conceitual que se queira empreender. A flexibilidade da hipermídia para o acesso não-linear a documentos facilita esse tipo de composição. A implementação dessa diretriz, no entanto, pode demandar a introdução de organizadores prévios para viabilizar a compreensão dos materiais a serem estudados, de modo apropriado à realidade dos estudantes com os quais se interage. Conforme o projeto, pequenas alterações podem ser feitas no *software*, introduzindo-se novos *hyperlinks* ou documentos para a melhor implementação do plano didático delineado.

A experiência com a proposta didática examinada neste trabalho torna possível recomendar que se invista no desenvolvimento e na avaliação de novos materiais em formato hipermídia estruturados segundo princípios similares, incluindo-se orientações para seu uso didático, com o aprofundamento de tópicos de Física Moderna e outros assuntos. Esses produtos pedagógicos poderiam ser arquitetados para uso em aulas presenciais ou, ainda, para atender a cursos de educação à distância, intermediados pela *Internet*. A consecução de tal desiderato seria favorecida por equipes interdisciplinares englobando pesquisadores, professores do Ensino Médio, programadores e especialistas em *design*.

O aperfeiçoamento de instrumentos para a avaliação de sistemas hipermídia voltados ao ensino de Ciências é também um ponto que merece maior atenção por parte dos pesquisadores. Tais ferramentas facultam uma visão mais acurada das características desses *softwares* didáticos, fornecendo subsídios para o seu aprimoramento e para os docentes que estudam a possibilidade de utilizá-los em suas classes.

Para que recursos pedagógicos de natureza semelhante ao programa discutido neste trabalho sejam efetivamente incorporados às salas de aulas do Ensino Médio, é essencial fomentar uma cultura que propicie sua apreciação e utilização crítica pelos docentes. Promover análises de sistemas hipermídia educacionais e de práticas didáticas com o apoio destes em cursos de formação de professores é um modo de contribuir para o entendimento do potencial de tais materiais e preparar os docentes para utilizá-los em seus próprios planejamentos de ensino.

A congregação de hipermídia, História da Ciência, Filosofia da Ciência, enfoque CTS e Teoria da Aprendizagem de Ausubel fornece uma base sólida para a implementação de propostas educacionais. Nesta tese, procurou-se evidenciar a potencialidade dessa abordagem para a inserção da Física Moderna no Ensino Médio.

As reconhecidas dificuldades enfrentadas pelos educadores em seu dia-a-dia, sobretudo nas escolas públicas, incluindo as lacunas existentes em sua formação e até mesmo a ausência de computadores em grande parte dos estabelecimentos de ensino, não devem ser consideradas um impedimento à introdução de práticas em consonância com os referenciais descritos anteriormente. Docentes em serviço podem ter suas condições de trabalho melhoradas e passar por cursos de capacitação, equipamentos podem ser adquiridos, recursos pedagógicos adequados podem ser criados e cursos de licenciatura podem ser reformulados para melhor atender às demandas de atualização curricular, desde que tais linhas de ação sejam colocadas como prioridades pelas instâncias e agentes envolvidos no funcionamento dos educandários.

REFERÊNCIAS

- AIKENHEAD, G. Consequences to learning science through STS: a research perspective. In: SOLOMON, J.; AIKENHEAD, G. (Orgs.). **STS education: international perspectives on reform**. New York: Teachers College Press, 1994a. Disponível em: <<http://www.usask.ca/education/people/aikenhead/sts16.htm>>. Acesso em: 17 ago. 2005.
- AIKENHEAD, G. The social contract of science: implications for teaching science. In: SOLOMON, J.; AIKENHEAD, G. (Orgs.). **STS education: international perspectives on reform**. New York: Teachers College Press, 1994b. Disponível em: <<http://www.usask.ca/education/people/aikenhead/sts02.htm>>. Acesso em: 17 ago. 2005.
- AIKENHEAD, G. What is STS science teaching? In: SOLOMON, J.; AIKENHEAD, G. (Orgs.). **STS education: international perspectives on reform**. New York: Teachers College Press, 1994c. Disponível em: <<http://www.usask.ca/education/people/aikenhead/sts05.htm>>. Acesso em: 17 ago. 2005.
- ALEMAÑ BERENGUER, R. A. Errores comunes sobre relatividad entre los profesores de enseñanza secundaria. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 15, n. 3, p. 301-307, 1997.
- AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE. **Science for all americans**. Washington, 1990. Disponível em: <<http://www.project2061.org/publications/sfaa/online/sfaatoc.htm>>. Acesso em: 19 ago. 2005.
- ANGOTTI, J. A. P.; AUTH, M. A. Ciência e tecnologia: implicações sociais e o papel da educação. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n. 1, p. 15-27, 2001.
- ARRIASSECQ, I.; GRECA, I. M. Algunas consideraciones históricas, epistemológicas y didácticas para el abordaje de la teoría de la relatividad especial en el nivel medio y polimodal. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 8, n. 1, p. 55-69, 2002.
- ATHAYDE, M. I. **Desenvolvimento, aplicação e avaliação de coursewares de física para o 2º grau: uma experiência piloto**. 184 p. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990.
- AUBRECHT, G. J. Report on the conference on the teaching of modern physics. **The Physics Teacher**, [S.l.], v. 24, n. 9, p. 540-546, Dec. 1986.
- AULER, D.; BAZZO, W. A. Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto educacional brasileiro. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n. 1, p. 1-13, 2001.
- AUSUBEL, D. P. **Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo**. México: Editorial Trillas, 1976. 768 p.
- BABBITT, B. C.; USNICK, V. Hypermedia: a vehicle for connections. **Arithmetic Teacher**, [S.l.], v. 40, p. 430-432, Apr. 1993.
- BASTOS, F.; NARDI, R.; DINIZ, R. E. da S. Objeções em relação a propostas construtivistas para a educação em ciências: possíveis implicações para a constituição de referenciais

teóricos norteadores da pesquisa e do ensino. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 3., 2001, Atibaia. **Atas...** Porto Alegre: ABRAPEC, 2001. 1 CD-ROM.

BIZZO, N. M. V. História da ciência e ensino: onde terminam os paralelos possíveis? **Em Aberto**, Brasília, v. 11, n. 55, p. 29-35, jul./set. 1992.

BOLACHA, E.; AMADOR, F. Organização do conhecimento, construção de hiperdocumentos e ensino das ciências da Terra. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, mar. 2003. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol8/n1/v8_n1_a2.htm>. Acesso em: 26 abr. 2004.

BRASIL. Ministério da Educação. **Ciências**: volume 4, guia de livros didáticos 2005, 5^a a 8^a séries. [Brasília], DF, 2005. 94 p.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros curriculares nacionais (ensino médio)**: parte III – ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. [Brasília], 2000. 58 p. Disponível em: <<http://www.mec.gov.br/seb/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em: 9 set. 2005.

BROWN, J. R. Thought experiments. In: ZALTA, E. N. (Ed.). **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**. Standford: Stanford University, 2002. Disponível em: <<http://plato.stanford.edu/archives/sum2002/entries/thought-experiment/>>. Acesso em: 23 set. 2005.

BUSH, V. As we may think. **The Atlantic Monthly**, [Boston], v. 176, n. 1, p. 101-108, July 1945. Disponível em: <<http://www.theatlantic.com/doc/194507/bush>>. Acesso em: 16 set. 2005.

BYBEE, R. *et al.* Science, society, and science education. **Science Education**, [S.l.], v. 64, n. 3, p. 377-395, 1980.

BYBEE, R. W. Science education and the science-technology-society (STS) theme. **Science Education**, [S.l.], v. 71, n. 5, p. 667-683, 1987a.

BYBEE, R. W. Teaching about science-technology-society (STS): views of science educators in the United States. **School Science and Mathematics**, [S.l.], v. 87, n. 4, p. 274-285, 1987b.

CACHAPUZ, A.; PRAIA, J.; JORGE, M. Reflexão em torno de perspectivas do ensino das ciências: contributos para uma nova orientação curricular – ensino por pesquisa. **Revista da Educação**, [S.l.], v. 9, n. 1, p. 69-79, 2000.

CAMPOS, F. C. A. **Hipermídia na educação: paradigmas e avaliação da qualidade**. ix, 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1994.

CANAVARRO, J. M. **Ciência e sociedade**. Coimbra: Quarteto, 1999. 228 p.

CASTRO, R. S. de; CARVALHO, A. M. P. de. História da ciência: investigando como usá-la num curso de segundo grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 225-237, dez. 1992.

CATELLI, F.; VICENZI, S. Interferômetro de Michelson. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 1, p. 108-116, abr. 2001.

CAVALCANTE, M. A.; PIFFER, A.; NAKAMURA, P. O uso da internet na compreensão de temas de física moderna para o ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 108-112, mar. 2001.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma oficina de física moderna que vise a sua inserção no ensino médio. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 3, p. 298-316, dez. 2001.

CHAMPAGNE, A. B.; KLOPFER, L. Actions in a time of crisis. **Science Education**, [S.l.], v. 66, n. 4, p. 503-514, 1982.

CHAVES, A.; SHELLARD, R. C. (Ed.). **Pensando o futuro: o desenvolvimento da física e sua inserção na vida social e econômica do país**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2005. 244 p.

CLUNIE, G. E. T. de; SOUZA, J. M. de. **Hipertecnologias: recursos educacionais**. Rio de Janeiro: Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1994. 81 f. (Publicações Técnicas, ES – 340/95, Abril).

CONKLIN, J. Hypertext: an introduction and survey. **IEEE Computer**, [S.l.], v. 20, n. 9, p. 17-41, Sept. 1987.

CÓRDOVA, R. S. *et al.* Simulación computacional de experiencias de física moderna. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n. 2, p. 147-151, ago. 1992.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2003. 364 p.

EIJKELHOF, H.; KORTLAND, K.; LOO, F. van der. Nuclear weapons – a suitable topic for the classroom? **Physics Education**, Bristol, v. 19, p. 11-15, 1984.

FISCHLER, H.; LICHTFELDT, M. Modern physics and students' conceptions. **International Journal of Science Education**, [S.l.], v. 14, n. 2, p. 181-190, 1992.

FOUREZ, G. **A construção das ciências: introdução à filosofia e à ética das ciências**. São Paulo: UNESP, 1995.

FOUREZ, G. “Alfabetizar” científica y técnicamente. In: _____. **Alfabetización científica y tecnológica: acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias**. Buenos Aires: Colihue, 1997. p. 15-37.

FOUREZ, G. Crise no ensino de ciências? **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, ago. 2003. Disponível em: <www.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>. Acesso em: 24 ago. 2005.

GALLAGHER, J. J. Prospective and practicing secondary school science teacher's knowledge and beliefs about the philosophy of science. **Science Education**, [S.l.], v. 75, n. 1, p. 121-133, 1991.

GIL, D.; SENENT, F.; SOLBES, J. La introducción a la física moderna: un ejemplo paradigmático de cambio conceptual. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, número extra, p. 209-210, 1987.

GIL, D.; SOLBES, J. The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science. **International Journal of Science Education**, [S.l.], v. 15, n. 3, p. 255-260, 1993.

GIL PÉREZ, D. *et al.* Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GUTIÉRREZ, E. E. *et al.* ¿Qué piensan los jóvenes sobre radioactividad, estructura atómica y energía nuclear? **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 18, n. 2, p. 247-254, 2000.

GUTIERREZ, F. **Linguagem total**: uma pedagogia dos meios de comunicação. São Paulo: Summus, 1978. 106 p.

HEDE, A. An integrated model of multimedia effects on learning. **Journal of Educational Multimedia and Hypermedia**, [S.l.], v. 11, n. 2, p. 177-191, 2002.

HODSON, D. Philosophy of science and science education. **Journal of Philosophy of Education**, [S.l.], v. 20, n. 2, p. 215-225, 1986.

HOLMAN, J. Science-technology-society education. **International Journal of Science Education**, London, v. 10, n. 4, p. 343-345, 1988.

HURD, P. D. Scientific literacy: new minds for a changing world. **Science Education**, [S.l.], v. 82, n. 3, p. 407-416, 1998.

JONASSEN, D. H. Hypertext principles for text and courseware design. **Educational Psychologist**, [S.l.], v. 21, n. 4, p. 269-292, 1986.

KLOPFER, L. E. The teaching of science and the history of science. **Journal of Research in Science Teaching**, [S.l.], v. 6, p. 87-95, 1969.

KNELLER, G. F. **A ciência como atividade humana**. São Paulo: Zahar, 1978. 310 p.

KRASILCHIK, M. Formação de professores e ensino de ciências: tendências nos anos 90. In: MENEZES, L. C. (Org.). **Formação continuada de professores de ciências no âmbito ibero-americano**. Campinas: Autores Associados, 1996. p. 135-140.

KRASILCHIK, M. Reformas e realidade: o caso do ensino das ciências. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 14, n. 1, p. 85-93, 2000.

LANGFORD, D. Evaluating a hypertext document. **Aslib Proceedings**, [S.l.], v. 45, n. 9, p. 221-226, Sept. 1993.

LAKATOS, I. **La metodología de los programas de investigación científica**. Madrid: Alianza Editorial, 1993. 320 p.

LATORRE LATORRE, Á.; SANFÉLIX YUSTE, F. Alfabetización científico-tecnológica en estudiantes de secundaria y universidad: un análisis experimental. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 18, n. 1, p. 55-69, 2000.

LAUGKSCH, R. C. Scientific literacy: a conceptual overview. **Science Education**, [S.l.], v. 84, n. 1, p. 71-94, 2000.

LEDERMAN, N. G. Students' and teachers' conceptions of the nature of science: a review of the research. **Journal of Research in Science Teaching**, [S.l.], v. 29, n. 4, p. 331-359, 1992.

LÉVY, P. **As tecnologias da inteligência: o futuro do pensamento na era da informática**. São Paulo: Editora 34, 1996. 208 p.

LIAO, Y. C. Effects of hypermedia on student's achievement: a meta-analysis. **Journal of Educational Multimedia and Hypermedia**, [S.l.], v. 8, n. 3, p. 255-77, 1999.

LINDSTROM, R. L. **Guia business week para apresentações em multimídia**. São Paulo: Makron Books, 1996. 485 p.

LUCENA, M. W. F. P. **O uso das tecnologias da informática para o desenvolvimento da educação**. Rio de Janeiro: Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1994. 45 f. (Publicações Técnicas, ES – 301/94, Junho).

MACHADO, D. I.; NARDI, R. Avaliação do ensino e aprendizagem de física moderna e contemporânea no ensino médio. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 4., 2003, Bauru. **Atas...** Porto Alegre: ABRAPEC, 2004. 1 CD-ROM.

MACHADO, D. I.; NARDI, R. Uma proposta de *software* hipermídia para o ensino de física moderna e contemporânea. **Tecné, Episteme y Didaxis**, Bogotá, n. 16, p. 84-101, 2004.

MACHADO, D. I.; SANTOS, P. L. V. A. da C. Avaliação da hipermídia no processo de ensino e aprendizagem da física: o caso da gravitação. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 10, n. 1, p. 75-99, 2004.

MACHADO, D. I.; SANTOS, P. L. V. A. da C. **Avaliação da hipermídia no processo de ensino e aprendizagem da física: o caso da gravitação**. xi, 186 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Filosofia e Ciências da Universidade Estadual Paulista, Marília, 2000.

MACKAY, L. D. Development of understanding about the nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, [S.l.], v. 8, n. 1, p. 57-66, 1971.

MARCHIONINI, G. Hypermedia and learning: freedom and chaos. **Educational Technology**, [S.l.], v. 28, n. 11, p. 8-12, Nov. 1988.

MATTEWS, M. R. A role for history and philosophy in science teaching. **Educational Philosophy and Theory**, [S.l.], v. 20, n. 2, p. 67-81, 1988.

MATTEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 12, n. 3, p. 164-214, dez. 1995.

MEMBIELA IGLESIA, P. Una revisión del movimiento educativo ciencia-tecnología-sociedad. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 15, n. 1, p. 51-57, 1997.

MONK, M.; OSBORNE, J. Placing the history and philosophy of science on the curriculum: a model for the development of pedagogy. **Science Education**, [S.l.], v. 81, n. 4, p. 405-424, 1997.

MORARIU, J. Hypermedia in instruction and training: the power and the promise. **Educational Technology**, [S.l.], v. 28, n. 11, p. 17-20, Nov. 1988.

MOREIRA, M. A.; GRECA, I. M. Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 9, n. 2, p. 301-315, 2003.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa**: a teoria de David Ausubel. 2. ed. São Paulo: Centauro, 2002. 112 p.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino do método científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 10, n. 2, p. 108-117, ago. 1993.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? In: ESCOLA DE VERÃO PARA PROFESSORES DE PRÁTICA DE ENSINO DE FÍSICA, QUÍMICA E BIOLOGIA, 3., 1994, Serra Negra. **Coletânea...** São Paulo: FEUSP, 1995. p. 56-74.

MOURÃO, L. Brincando de criar. **PC World**, Rio de Janeiro, v. 58, p. 31-44, 1997.

NIELSEN, H.; THOMSEN, P. V. History and philosophy of science in physics education. **International Journal of Science Education**, London, v. 12, n. 3, p. 308-316, 1990.

NÖTH, W. **Panorama da semiótica**: de Platão a Peirce. São Paulo: Anna Blume, 1995. 154 p.

NOVAK, Joseph D. **A theory of education**. Ithaca: Cornell University Press, 1986. 296 p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E CULTURA. Agenda para a ciência – quadro de ação. In: _____. **Ciência para o século XXI – um novo compromisso**. Lisboa, 1999.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Atualização do currículo de física na escola de nível médio: um estudo desta problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 135-151, ago. 2001.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Física contemporânea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 18, n. 3, p. 391-404, 2000a.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, mar. 2000b. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n1/v5_n1_a2.htm>. Acesso em: 10 jan. 2003.

OSTERMANN, F.; RICCI, T. F. Relatividade restrita no ensino médio: contração de Lorentz-FitzGerald e aparência visual de objetos relativísticos em livros didáticos de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 2, p. 176-190, ago. 2002.

OSTERMANN, F.; RICCI, T. F. Relatividade restrita no ensino médio: os conceitos de massa relativística e de equivalência massa-energia em livros didáticos de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 21, n. 1, p. 83-102, abr. 2004.

PAOLUCCI, R. The effects of cognitive style and knowledge structure on performance using a hypermedia learning system. **Journal of Educational Multimedia and Hypermedia**, [S.l.], v. 7, n. 2-3, p. 123-50, 1998.

PEDRETTI, E.; HODSON, D. From rhetoric to action: implementing STS education through action research. **Journal of Research in Science Teaching**, [S.l.], v. 32, p. 463-485, 1995.

PETERSON, N. K.; ORDE, B. J. Implementing multimedia in the middle school curriculum: pros, cons and lessons learned. **T. H. E. Journal**, [S.l.], v. 22, n. 7, p. 70-75, Feb. 1995.

PINTO, A. C.; ZANETIC, J. É possível levar a física quântica para o ensino médio? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 16, n. 1, p. 7-34, abr. 1999.

PRETTO, N. de L. **Uma escola sem/com futuro: educação e multimídia**. São Paulo: Papirus, 1996. 247 p.

REZENDE, F. Desenvolvimento e avaliação de um sistema hipermídia para facilitar a reestruturação conceitual em mecânica básica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 197-213, ago. 2001.

ROSENTHAL, D. B. Two approaches to science-technology-society (S-T-S) education. **Science Education**, [S.l.], v. 73, n. 5, p. 581-589, 1989.

RUBBA, P. A. Integrating STS into school science and teacher education: beyond awareness. **Theory into Practice**, [S.l.], v. 30, n. 4, p. 303-308, Autumn 1991.

SAMAGAIA, R.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma experiência com o projeto manhattan no ensino fundamental. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 10, n. 2, p. 259-276, 2004.

SANTOS, M. E. V. M. dos. **Desafios pedagógicos para o século XXI: suas raízes em forças de mudança de natureza científica, tecnológica e social**. Lisboa: Livros Horizonte, 1999. 276 p.

SCHMÉDER, G. A reconsideration of the idealistic vision of science for peace. **Technology in Society**, [S.l.], v. 23, n. 3, p. 441-450, 2001.

SHABAJEE, P.; POSTLETHWAITE, K. What happened to modern physics? **School Science Review**, [S.l.], v. 81, n. 297, p. 51-55, June 2000.

SHERRATT, W. J. History of science in the science curriculum: an historical perspective. Part I: early interest and roles advocated. **School Science Review**, [S.l.], v. 64, p. 225-236, Dec. 1982.

SILVEIRA, F. L. da. A metodologia dos programas de pesquisa: a epistemologia de Imre Lakatos. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 13, n. 3, p. 219-230, dez. 1996.

SOLBES, J.; TRAVER, M. J. La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 14, n. 1, p. 103-112, 1996.

SOLBES, J.; VILCHES, A. Interacciones ciencia/técnica/sociedad: un instrumento de cambio actitudinal. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 7, n. 1, p. 14-20, 1989.

STANNARD, R. Modern physics for the young. **Physics Education**, Bristol, v. 25, n. 3, p. 133, 1990.

STERNBERG, R. J. **Psicologia cognitiva**. Porto Alegre: Artmed, 2000. 494 p.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, dez. 1992.

TERRAZZAN, E. A. **Perspectivas para a inserção da física moderna na escola média**. viii, 241 f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

TROTTER, A. Schools gear up for ‘hypermedia’ – a quantum leap in eletronic learning. **The American School Board Journal**, [S.l.], v. 176, n. 3, p. 35-37, Mar. 1989.

VALADARES, J. A. O conceito de massa. I. Introdução histórica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 15, n. 1-4, p. 110-117, 1993a.

VALADARES, J. A. O conceito de massa. II. Análise do conceito. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 15, n. 1-4, p. 118-126, 1993b.

VALE, J. M. F. do. Educação científica e sociedade. **Ciência & educação**, Bauru, v. 1, n. 1, p. 6-13, 1995.

VEIT, E. A. *et al.* O efeito fotoelétrico no 2º grau via microcomputador. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 4, n. 2, p. 68-88, ago. 1987.

WARREN, J. W. The mystery of mass-energy. **Physics Education**, Bristol, v. 11, n. 1, p. 52-54, Jan. 1976.

WATTS, M. *et al.* ‘Event-centred-learning’: an approach to teaching science technology and societal issues in two countries. **International Journal of Science Education**, London, v. 19, n. 3, p. 341-351, 1997.

WHITAKER, M. A. B. Definitions of mass in special relativity. **Physics Education**, Bristol, v. 11, n. 1, p. 55-57, Jan. 1976.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998. 224 p.

ZANETIC, J. **Ciência, seu desenvolvimento histórico e social – implicações para o ensino**. [S.l.:s.n.], [ca. 1990]. p. 7-19.

APÊNDICES

APÊNDICE A – FICHA DE AVALIAÇÃO DO *SOFTWARE*

FICHA DE AVALIAÇÃO DO *SOFTWARE* HIPERMÍDIA TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA¹

Assinale um “X” no item que melhor representa seu julgamento. Use o campo *observações* para seus comentários.

ITENS DE AVALIAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO			OBSERVAÇÕES
	Sim	Parcial	Não	
A. CONTEÚDOS E ASPECTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS				
01. Abordagem conceitual e informações factualmente corretas predominam ao longo do <i>software</i> .				
02. Ausência de imprecisões conceituais, desatualizações e pequenas incorreções de informação predomina ao longo do <i>software</i> .				
03. Ausência de confusão terminológica predomina ao longo do <i>software</i> .				
04. O conteúdo está de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM).				
05. Os textos respeitam o grau de maturidade cognitiva do estudante, considerando o desenvolvimento gradual de estruturas de pensamento.				
06. Os textos utilizam linguagem gramaticalmente correta.				
07. Os textos utilizam vocabulário atualizado e correto.				
08. Os textos apresentam vocabulário específico claramente explicado no texto.				
09. Os textos evitam estabelecer analogias impróprias que poderiam levar os estudantes a confusões entre o significado literal e metafórico.				

¹ Este instrumento foi proposto com base na ficha de avaliação utilizada no *Programa Nacional do Livro Didático* (BRASIL, 2005), na ficha de avaliação de *softwares* desenvolvida por Athayde (1990) e nos critérios de avaliação de sistemas hiperídia educacionais considerados por Campos (1994).

ITENS DE AVALIAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO			OBSERVAÇÕES
	Sim	Parcial	Não	
10. Os textos são claros e objetivos, estimulando a leitura e a exploração crítica dos assuntos.				
11. Os textos estabelecem a ligação entre princípios estudados e fenômenos conhecidos pelos estudantes.				
12. Os textos apresentam informações suficientes para a compreensão dos temas abordados.				
13. Os textos favorecem uma abordagem que privilegia as relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente.				
14. Os textos favorecem o desenvolvimento de noções sobre as características da Ciência e de sua produção.				
B. ASPECTOS PEDAGÓGICO-METODOLÓGICOS				
15. O conteúdo é exposto considerando-se a experiência prévia dos estudantes.				
16. A metodologia empregada não tem como característica principal a memorização de conteúdo e termos técnicos.				
17. Textos, ilustrações, animações e vídeos respeitam as diferentes etnias, gêneros e classes sociais, evitando criar estereótipos e preconceitos prejudiciais à construção da cidadania.				
18. O <i>software</i> apresenta aspectos que podem contribuir para a motivação dos estudantes.				
19. Os temas expostos no <i>software</i> apresentam algum tipo de articulação, no sentido de tirar proveito de conhecimento e/ou habilidades já adquiridas pelos estudantes.				
20. O <i>software</i> facilita aos estudantes a percepção de relações entre os assuntos abordados.				

ITENS DE AVALIAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO			OBSERVAÇÕES
	Sim	Parcial	Não	
21. Os temas do <i>software</i> sugerem diferentes análises e perspectivas para os mesmos fenômenos, de modo a desenvolver a curiosidade e o espírito crítico.				
22. Evita-se a apresentação de fragmentos de conteúdos sob a justificativa de que poderão vir a ser eventualmente importantes no futuro.				
C. ASPECTOS EDITORIAIS / VISUAIS				
23. A estrutura hierarquizada (títulos, subtítulos e outros) é evidenciada por meio de recursos gráficos.				
24. A diagramação é isenta de erros.				
25. A revisão é isenta de erros graves.				
26. Os textos e ilustrações são distribuídos na tela de forma adequada e equilibrada.				
27. Os textos mais longos são apresentados de modo não desencorajador da leitura (com recursos de descanso visual).				
28. Ilustrações, animações e vídeos transmitem idéias corretas sobre conceitos, dimensões e cores. A indicação de escalas predomina nas ilustrações, animações e vídeos, sendo suficiente para a correta compreensão dos fenômenos ou organismos representados. Cores-fantasia estão discriminadas.				
29. Ilustrações, animações e vídeos são claros e explicativos.				
30. Ilustrações, animações e vídeos são coerentes com os textos.				
31. Ilustrações, animações e vídeos são realmente necessários, não sendo supérfluos e dispensáveis ou incentivadores de consumo ou promoção de produtos comerciais específicos.				

ITENS DE AVALIAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO			OBSERVAÇÕES
	Sim	Parcial	Não	
32. Ilustrações, animações e vídeos são isentos de estereótipos.				
33. Ilustrações, animações e vídeos são isentos de preconceitos.				
34. Ilustrações, animações e vídeos possuem títulos, legendas e/ou créditos e fontes de referência que contribuam para sua compreensão.				
35. O projeto gráfico e de som do <i>software</i> cria um ambiente agradável de aprendizagem.				
D. ASPECTOS TÉCNICOS				
36. Os estudantes podem fácil e independentemente operar o <i>software</i> .				
37. O <i>software</i> usa apropriadamente capacidades computacionais relevantes (animações, vídeos, <i>hiperlinks</i> e outras).				
38. As ferramentas para a <i>navegação</i> pelo <i>software</i> são adequadas.				
39. Pode-se passar de uma tela a outra com rapidez.				
40. É fácil retornar ao local prévio durante a <i>navegação</i> .				
41. O <i>software</i> permite que o leitor mova-se livremente entre as informações, de acordo com suas necessidades e interesses.				
42. O <i>software</i> utiliza marcas especiais para identificar nós e ligações (<i>hiperlinks</i>).				
43. O <i>software</i> opera de forma correta, sem interrupção de suas funções durante a <i>navegação</i> .				

44. Descreva os aspectos mais positivos do *software*.

45. Descreva os aspectos mais negativos do *software*.

46. De que modo você utilizaria este *software* nas situações de ensino e aprendizagem?

47. Assinale apenas uma opção

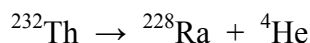
- () Eu usaria ou recomendaria o uso deste *software* com pequenas modificações ou nenhuma alteração.
- () Eu usaria ou recomendaria o uso deste *software* somente se fossem feitas certas modificações.
- () Eu não usaria nem recomendaria o uso deste *software*.

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO SOBRE CONCEITOS CIENTÍFICOS E CIÊNCIA

1) Você considera que o conhecimento científico muda com o tempo? Uma teoria física, uma vez estabelecida, pode ser superada por outras? Justifique sua resposta.

2) Em laboratório, pode ser observado um evento denominado formação de par, no qual um raio gama origina um elétron e um pósitron (antipartícula do elétron). Considerando que o elétron e o pósitron possuem mesma massa, de $9,11 \times 10^{-31}$ Kg, qual seria a energia mínima necessária ao raio gama para criar esse par de partículas? Sabe-se que um raio gama se propaga no vácuo à velocidade da luz, de $2,99 \times 10^8$ m/s. Explique o princípio físico utilizado para resolver o problema.

3) O ^{232}Th (tório-232) é um elemento abundante no granito. Por ser radioativo, o ^{232}Th decai emitindo uma partícula alfa (^4He) e originando ^{228}Ra (rádio-228), com meia-vida de $1,41 \times 10^{10}$ anos. Esse decaimento é o primeiro de uma série que termina quando é formado um isótopo estável do chumbo. A energia liberada nesses decaimentos é responsável por parte do aquecimento da Terra. Sabendo que $1 \text{ u} = 1,66054 \times 10^{-27}$ Kg e que a massa atômica do ^{232}Th é de 232,038051 u, a do ^{228}Ra é de 228,031064 u, e a do ^4He é de 4,00260 u, determine a energia liberada no decaimento do tório, descrito pela equação abaixo:



Explique o princípio físico utilizado para resolver o problema.

4) Conforme o exposto em reportagem da revista **Veja** de 05.11.2003, com o título “Explosão Nuclear; alguns países ainda resistem, mas há uma nova onda de construção de reatores”, na Europa existe grande resistência da opinião pública, de modo geral, à instalação de novas usinas nucleares, sobretudo entre os ambientalistas. Na Inglaterra e na Alemanha há até mesmos planos para o fechamento de usinas. Entretanto, há dúvidas se isso será possível. Em vários locais, incluindo países do Leste Europeu, o Japão, a Índia e a China, novos reatores nucleares continuam a ser erguidos.

a) Comente esses fatos considerando os aspectos positivos e negativos das usinas nucleares.

b) Qual o princípio fundamental da Física que se relaciona ao funcionamento dos reatores nucleares?

5) Em 1945, ao final da *Segunda Guerra Mundial*, foram lançadas duas bombas atômicas sobre o Japão: uma sobre a cidade de Hiroshima e outra sobre Nagasaki, causando a morte de milhares de pessoas.

a) Os cientistas foram responsáveis por esse acontecimento? Explique.

b) É importante que cientistas reflitam e se posicionem em relação a questões com implicações sociais e políticas? E a população em geral? Justifique suas respostas.

c) Qual o princípio fundamental da Física relacionado a essas bombas atômicas?

d) O tema das bombas atômicas ainda é importante na atualidade? Por quê?

APÊNDICE C – QUESTÕES DO *SOFTWARE TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA*

Neste apêndice são reproduzidas as questões do *software Tópicos de Física Moderna* efetivamente consideradas pelos estudantes durante o curso introdutório analisado neste trabalho. A numeração das questões corresponde àquela originalmente existente no *software*.

Conceitos de Física Clássica

04) Quais as dificuldades enfrentadas pela Física Clássica ao final do século XIX?

Conceitos de Física Moderna

01) Comente sobre as diferenças entre as concepções de espaço e tempo existentes na *Física Clássica* e na *Física Moderna*.

02) Qual a implicação da equivalência entre massa e energia estabelecida pela Física Moderna?

10) John Horgan, editor da revista de divulgação científica *Scientific American*, indagou em seu livro “O Fim da Ciência” se chegaria o dia em que todos os mistérios do Universo seriam descobertos e a Ciência deixaria de progredir. O que você pensa a esse respeito?

Desenvolvimento Histórico da Teoria da Relatividade

05) O que é *invariância* de uma lei física?

07) Que contradições foram resolvidas por Einstein ao elaborar a *Teoria da Relatividade Restrita*?

08) O que houve com as leis de Newton quando Einstein propôs a *Teoria da Relatividade Restrita*?

12) Quais as implicações da *equivalência entre massa e energia*? Que tecnologias podem ser associadas a essa idéia?

16) Pode-se afirmar que as leis da Física são obtidas apenas a partir da experimentação? Justifique sua resposta.

17) As idéias da Física evoluem através da acumulação contínua de conhecimentos ou existem momentos de ruptura, em que novas idéias substituem idéias antigas? Exemplifique.

Metodologia dos Programas de Pesquisa

1) O que é um *programa de pesquisa*, para Lakatos?

2) O que é o *núcleo firme* de uma teoria? Exemplifique.

3) O que é o *cinturão protetor* de uma teoria? Exemplifique.

4) O que ocorre, segundo Lakatos, quando o cientista se depara com uma *anomalia*?

5) Quando um programa de pesquisa é dito *progressivo* e quando é considerado *regressivo*?

6) De que modo pode se avaliar o sucesso de um programa de pesquisa?

Dilatação dos Tempos

1) Uma sonda espacial movimenta-se em relação à superfície da Terra com velocidade constante de 7.000 Km/s. Suponha que um relógio a bordo da sonda esteja inicialmente sincronizado a um relógio em repouso na Terra. Qual seria o intervalo de tempo

medido na sonda após um período de tempo de 24,00 h registrado no relógio da Terra? Despreze os efeitos da Relatividade Geral nos cálculos. (R.: 23,99 h).

2) Os *píons* são criados na alta atmosfera da Terra, quando partículas de energia elevada constituintes dos raios cósmicos colidem com núcleos atômicos. Um pión formado nesse processo move-se em direção ao solo com velocidade de $0,99c$ (99% da velocidade da luz). Num referencial onde estão em repouso, os píons decaem com a vida média de 26 ns.

a) Em relação a um referencial fixo na superfície da Terra, qual seria a vida média dos píons formados pelos raios cósmicos? (R.: 184 ns).

b) Qual seria a distância percorrida (em média) pelos píons na atmosfera, antes de decaírem? (R.: 54 m).

c) Segundo a Mecânica Clássica, qual seria o valor esperado para a distância média percorrida pelos píons antes de sofrerem decaimento? Esse valor corresponde à realidade? (R.: 7,7 m).

Contração das Distâncias

1) Um foguete cujo comprimento de repouso é de 50,00 m move-se em relação à Terra a 8.000 Km/s. Qual será o comprimento do foguete medido, na direção do movimento, por um observador parado em relação à Terra? (R.: 49,98 m).

Energia Relativística

1) É correto dizer que a equação $E_0 = mc^2$ representa o fato de massa poder ser convertida em energia e vice-versa? Comente sua resposta. (R.: Não. Significa que massa e energia são equivalentes, constituindo apenas expressões diferentes da mesma entidade. A massa é uma propriedade do corpo essencialmente idêntica à energia que ele contém,

correspondendo a uma medida de sua inércia. Logo, não é correto dizer que uma grandeza pode ser convertida na outra).

2) Considera-se que os quasares sejam os núcleos de galáxias ativas em estágios iniciais de formação. Um quasar típico irradia energia à taxa de 10^{41} W (10^{41} joules a cada segundo).

a) A que taxa a massa do quasar está diminuindo para fornecer essa energia? (R.: $1,12 \times 10^{24}$ Kg/s).

b) Isso corresponde a quantas massas solares por ano? A massa do Sol é $M_S = 1,99 \times 10^{30}$ Kg. (R.: 17,8 M_S /ano).

Fissão Nuclear

Considere uma reação de fissão descrita pela equação $^{235}\text{U} + n \rightarrow ^{139}\text{Ba} + ^{86}\text{Kr} + 11n$. A massa atômica do ^{235}U (urânio) é de 235,0439 u, a massa do nêutron (n) é de 1,00867 u, a massa do ^{139}Ba (bário) é de 138,9088 u e a do ^{86}Kr (criptônio) é de 85,91061 u. Na realidade, a liberação de nêutrons ocorre de modo gradual, envolvendo apenas dois ou três nêutrons de cada vez.

a) Calcule a diferença entre a massa dos reagentes e a massa dos produtos, em unidades de massa atômica. (R.: 0,13779 u).

b) Determine a energia liberada na reação. (R.: $2,04 \times 10^{-11}$ J ou 127 MeV).

c) Quantas reações desse tipo, por segundo, são necessárias para gerar a potência de 1.000 MW? (R.: $4,90 \times 10^{19}$ reações/s).

d) Considerando que 235,0439 g de ^{235}U possuem cerca de $6,02 \times 10^{23}$ átomos, qual a massa de urânio-235 que precisaria ser fissionada, segundo a reação descrita inicialmente, para manter a liberação de energia com potência de 1.000 MW, durante um dia? (R.: 1,65 Kg).

Fusão Nuclear

Uma reação de fusão nuclear freqüente em reatores que utilizam ^2H (deutério) enquanto combustível é descrita pela equação $^2\text{H} + ^2\text{H} \rightarrow ^3\text{H} + ^1\text{H}$. A massa atômica do ^1H (hidrogênio) é 1,007825 u, a massa atômica do ^2H é 2,014102 u e a massa atômica do ^3H (trítio) é 3,016049 u.

- a) Calcule a diferença entre a massa dos reagentes e a massa dos produtos, em unidades de massa atômica. (R.: 0,004330 u).
- b) Determine a energia liberada na reação. (R.: $6,43 \times 10^{-13}$ J ou 4,02 MeV).
- c) Quantas reações desse tipo, por segundo, são necessárias para gerar a potência de 1.000 MW? (R.: $1,55 \times 10^{21}$ reações/s).

Reatores Nucleares

- 1) O que é uma *reação em cadeia*? Quando a mesma se torna auto-sustentada?
- 2) O que é o enriquecimento do urânio? Por que isso é necessário em alguns reatores?
- 3) Por que é necessário usar um *moderador* nos reatores nucleares?
- 4) Para que servem as *barras de controle* de um reator?
- 5) De que modo um reator de água pressurizada, semelhante aos de Angra, permite gerar energia elétrica?
- 6) Quais as principais diferenças entre reatores de *fissão* e reatores de *fusão*?
- 7) Em 1981, aviões de caça de Israel destruíram um reator nuclear no Iraque, na usina de Osirak. A instalação de usinas nucleares pode estar relacionada a objetivos militares? Explique.
- 8) Discuta se o Brasil deveria investir na construção de usinas nucleares, considerando argumentos a favor e contra essa tecnologia.

Acidentes Radioativos

- 1) Quais são as principais causas de acidentes com fontes radioativas?
- 2) O que é preciso fazer para se evitar acidentes radioativos como o de Goiânia?
- 3) Quais as consequências do acidente na usina de Chernobyl?

4) Conforme a reportagem da revista *Época* de 16.02.2004, intitulada “Efeito Chernobyl”, a professora Vânia Lucia de Castro, de 56 anos, passou a sofrer, em setembro de 2003, de um câncer de tireóide atípico, bastante agressivo, que havia invadido o esôfago. Os médicos desconfiaram que esse câncer poderia estar relacionado a Chernobyl, pois, na época do acidente, a professora residia em Sófia, na Bulgária, localidade afetada pela nuvem radioativa que se espalhou pelo continente europeu. Além disso, o tumor era parecido com os diagnosticados em países do Leste Europeu afetados pelo desastre, que costumam aparecer entre dez e quarenta anos após a exposição à radiação. Argumente se a radiação realmente poderia ser a causa da doença de Vânia, considerando as possíveis formas de contaminação radioativa e os efeitos da radiação no organismo humano.

5) Conforme o exposto na reportagem da revista *National Geographic Brasil* de julho de 2002, intitulada “Meia-vida: herança letal do lixo nuclear americano”, a montanha Yucca, em Nevada, nos Estados Unidos, foi escolhida para o armazenamento de rejeitos radioativos de alta atividade, após mais de 20 anos de estudos do Departamento de Energia e investimentos de 4 bilhões de dólares. Esses rejeitos incluem combustível que foi utilizado em reatores nucleares e resíduos sólidos e líquidos resultantes da produção de plutônio. O depósito de Yucca poderá entrar em funcionamento em 2010, se houver aceitação de ambientalistas e autoridades estaduais. A montanha poderia receber até 70 mil toneladas de rejeitos radioativos. O “lixo nuclear” deverá ficar armazenado a 300 m de profundidade, em contêineres feitos de uma liga de níquel, capazes de resistir à corrosão por até 10.000 anos. Os opositores ao projeto, dentre os quais o próprio governo do Estado de Nevada, sustentam que

a corrosão pode ocorrer antes, talvez até em 500 anos. Se os contêineres falharem, os elementos radioativos irão se disseminar por fraturas nas rochas e contaminar os lençóis freáticos, afetando a água de nascentes e as pessoas nas proximidades. Prevê-se que a radioatividade dos resíduos de alta atividade na montanha diminuirá rapidamente nos 300 anos iniciais, pois o cézio e o estrôncio têm meia-vida curta. Porém, as emissões radioativas do plutônio e outros elementos de meia-vida longa continuarão elevadas por mais de um milhão de anos. Modelos em computador prevêm que a dose máxima de radiação anual à qual as pessoas ficariam submetidas atingiria seu valor máximo depois de 400.000 anos. Na Suécia, estão sendo tomadas precauções para que a radioatividade dos rejeitos a serem estocados no país fique bloqueada por um milhão de anos. O governo dos Estados Unidos considera a montanha Yucca o melhor lugar para se deixar rejeitos de alta radioatividade, porém os ambientalistas discordam. Embora possa ser uma solução a curto e médio prazo, poderá haver problemas no futuro distante. Discuta as dificuldades em se lidar com os rejeitos radioativos, suas implicações para a humanidade no futuro e possíveis alternativas para se evitar esses problemas.

Projeto Manhattan

- 1) Por que Einstein escreveu uma carta ao presidente dos Estados Unidos? Mais tarde ele considerou essa decisão acertada?
- 2) Era realmente necessário lançar as bombas atômicas no Japão para acabar com a guerra? Justifique. Que interesses estavam envolvidos nessa decisão?
- 3) O que representou o Projeto Manhattan para a humanidade?
- 4) Por que é importante a reflexão dos cientistas sobre as conseqüências dos conhecimentos que desenvolvem e o seu posicionamento diante disso?

5) De que modo os cidadãos podem influir nos rumos dos programas científicos e tecnológicos? Quando isso se mostra necessário?

Armas Nucleares

4) Por que muitos cientistas se opuseram ao desenvolvimento da *bomba-H*?

8) Em 2004 e 2005, diversos jornais do Brasil e do exterior noticiaram as negociações entre o Brasil e a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) para a realização de inspeções na fábrica de enriquecimento de urânio destinado a usinas nucleares, instalada em Resende, cidade situada a cerca de 160 Km do Rio de Janeiro. Os inspetores da AIEA insistiam em ter acesso irrestrito às instalações, mas o Brasil desejava impedir a observação das ultracentrífugas utilizadas no processo, alegando que a tecnologia para o enriquecimento do urânio desenvolvida no Brasil era inovadora e constituía segredo comercial. Discuta os possíveis objetivos da AIEA ao fiscalizar esse tipo de instalação.

Ciência e Ética

3) É importante que os cientistas apresentem senso de responsabilidade diante dos conhecimentos por eles desenvolvidos? Por quê?

5) Em novembro de 1944, quando foi confirmado que a Alemanha Nazista não seria capaz de construir uma bomba atômica, o físico polonês e naturalizado britânico Joseph Rotblat (1908-2005) foi o único cientista a abandonar o Projeto Manhattan antes de seu encerramento. Como se sabe, esse projeto dos Estados Unidos originou as primeiras armas nucleares, utilizadas contra as cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki, em 1945. Por sua decisão, Rotblat chegou até mesmo a sofrer acusações de que pretendia transmitir informações secretas aos russos quando deixasse os Estados Unidos. Na realidade, considerava que se a Alemanha não tinha chances de obter a bomba atômica, não havia mais

sentido em dar continuidade ao projeto. Desde o final da Segunda Guerra Mundial, Rotblat trabalhou ativamente contra as armas nucleares e as guerras, buscando envolver cientistas e a população em geral nesses esforços. Considera que existe muito ainda a fazer, pois, conforme disse num discurso em 1997: “Muitos cientistas ainda não desejam encarar a realidade. Muitos desencorajam ou ativamente dificultam que jovens cientistas se tornem preocupados com o impacto social da ciência”. Devido a sua atuação, Rotblat recebeu o prêmio Nobel da Paz em 1995. Discuta os posicionamentos de Rotblat e as atitudes que se contrapõem a estes.

APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO DE OPINIÃO DOS ESTUDANTES

QUESTIONÁRIO DE OPINIÃO DOS ESTUDANTES SOBRE O USO DA HIPERMÍDIA NO CURSO DE FÍSICA

Para cada afirmação abaixo marque com “X” a opção que melhor demonstre sua opinião:

	CONCORDO	SOU INDIFERENTE	DISCORDO
01. O visual do <i>software</i> de Física não é muito bom.			
02. Os exemplos mostrados no <i>software</i> de Física ajudam-me a raciocinar.			
03. Usar o computador para aprender Física é motivador.			
04. Não me lembro de nada do que vejo nas aulas de Física no computador.			
05. É fácil <i>navegar</i> pelo <i>software</i> de Física.			
06. Nas aulas de Física com computador não se aprende nada.			
07. As aulas de Física no computador são monótonas.			
08. O conteúdo não está bem explicado no <i>software</i> de Física.			
09. O <i>software</i> de Física ajuda-me a descobrir o significado dos fenômenos.			
10. As questões do final dos textos do <i>software</i> de Física não têm importância alguma.			
11. O <i>software</i> permite-me desenvolver uma visão de como a Ciência evolui com o tempo.			
12. Ter aulas de Física no computador é uma boa maneira de se aprender.			
13. As informações disponíveis no <i>software</i> de Física ampliam meu conhecimento sobre a Física.			
14. As aulas de Física no computador despertam minha atenção.			
15. Posso aprender sozinho tudo o que preciso utilizando o <i>software</i> de Física.			
16. Não compreendo os textos do <i>software</i> de Física.			

	CONCORDO	SOU INDIFERENTE	DISCORDO
17. O <i>software</i> não relaciona as idéias da Física com aplicações tecnológicas e o contexto social.			
18. Saio das aulas de Física no computador do mesmo jeito que entrei.			
19. O <i>software</i> leva-me a pensar sobre a importância da Ética no desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia.			
20. As aulas de Física no computador contribuem para que eu aprenda a raciocinar.			
21. As ligações existentes entre os assuntos no <i>software</i> de Física não são relevantes.			
22. Ver as imagens, as animações e os filmes no <i>software</i> de Física facilita a aprendizagem.			
23. Não entendo nada das aulas de Física no computador.			
24. Poder estudar o conteúdo no computador torna as aulas de Física interessantes.			
25. O excesso de informação do <i>software</i> de Física faz com que eu me perca.			
26. O <i>software</i> de Física auxilia-me a ver a ligação entre os assuntos estudados.			
27. É difícil encontrar o local em que está um assunto que desejo estudar no <i>software</i> de Física.			
28. Os assuntos do <i>software</i> permitem que eu veja a relação da Física com a Tecnologia e a Sociedade.			
29. O <i>software</i> mostra que as idéias da Física não mudam com o tempo.			
30. As questões propostas ao final dos textos do <i>software</i> de Física contribuem para a reflexão sobre os conceitos apresentados.			
31. O uso do <i>software</i> não me fez avaliar a necessidade de se utilizar Ciência e Tecnologia de modo ético.			
32. A presença do professor é importante para o entendimento do conteúdo apresentado no <i>software</i> de Física.			

APÊNDICE E – ROTEIRO PARA A ENTREVISTA DOS ESTUDANTES

- 1) O que você considera ter aprendido durante o curso?
- 2) Quais as maiores dificuldades enfrentadas por você durante a aprendizagem?
- 3) Quais aspectos do curso ministrado você considera satisfatórios e quais você considera insatisfatórios?
- 4) Quais aspectos do *software* utilizado você considera satisfatórios e quais você considera insatisfatórios?
- 5) O *software* contribuiu ou não para que você percebesse relações entre os diversos assuntos apresentados? Por quê?
- 6) Em sua opinião, as imagens, animações e filmes do *software* tiveram ou não importância no entendimento das idéias expostas? Por quê?
- 7) De que modo você avalia a possibilidade de utilização do *software* de Física Moderna no terceiro ano do Ensino Médio?