

## Construção e validação de um sistema hipermídia para o ensino de Física Moderna

Daniel Iria Machado<sup>1</sup> e Roberto Nardi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Grupo de Desenvolvimento de Tecnologia Aplicada à Educação – DETAE. Foz do Iguaçu, Brasil. E-mail: [dpedm@uol.com.br](mailto:dpedm@uol.com.br).

<sup>2</sup>Departamento de Educação. Faculdade de Ciências. Grupo de Pesquisa em Ensino de Ciências – Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Bauru, Brasil. Apoio CNPq. E-mail: [nardi@fc.unesp.br](mailto:nardi@fc.unesp.br).

**Resumo:** Descrevem-se as características e a potencialidade de um sistema hipermídia construído com a finalidade de apoiar o ensino e a aprendizagem de tópicos de Física Moderna em escolas de nível médio. A pesquisa envolveu a produção e validação de um *software* fundamentado em princípios ausubelianos de ensino, em estudos relativos à inserção da Física Moderna no Ensino Médio, em debates promovidos no âmbito do movimento Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente, em considerações quanto ao papel pedagógico da História e da Filosofia da Ciência e em orientações para a implementação e validação de sistemas hipermídia. Apresentam-se alguns dos resultados obtidos em avaliações desse recurso didático feitas por pesquisadores de Ensino de Física, licenciandos de Física e estudantes do terceiro ano do Ensino Médio. Encontraram-se 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; 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. Obtiveram-se evidências de que a proposta didática também trouxe benefícios para a aprendizagem de conteúdos procedimentais e atitudinais.

**Palavras-chave:** Ensino de Física; construtivismo; hipermídia; Física Moderna; relações Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente; Ausubel.

**Title:** Construction and validation of a hypermedia system for teaching Modern Physics.

**Abstract:** We relate the characteristics and the potentiality of a hypermedia system elaborated in order to support the teaching and learning of Modern Physics topics at High School level. The research involved the production and validation of a software based on ausubelian principles, studies regarding the insertion of Modern Physics in High School, debates related to the Science-Technology-Society-Environment movement, considerations about the pedagogical role of the History and Philosophy of Science in teaching, and on

orientation to hypermedia systems implementation and validation. Some of the research outcomes regarding the evaluation of this didactic resource by Physics Teaching researchers, future High School teachers and third-year High School students are presented. These outcomes point out that the use of the computer was a factor of students' motivation; the diversity of media elements presented in the software helped them to set attention to the content and contributed to the visualization and interpretation of phenomena; 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. Evidences were obtained that this didactic tool also brought benefits to the learning of procedural and attitudinal contents.

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

### **Introdução**

Neste artigo, discute-se a potencialidade de um sistema hipermídia para a introdução da Física Moderna no Ensino Médio. Busca-se mostrar que uma proposta didática estruturada com a utilização da hipermídia, segundo princípios derivados da Teoria da Aprendizagem de Ausubel, considerando-se aspectos históricos e filosóficos da Ciência, e também suas relações com a Tecnologia, a Sociedade e o Ambiente, pode contribuir para 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.

A inserção de temas da Física Moderna nas escolas é necessária para a atualização curricular tendo em vista a formação de cidadãos capazes de compreender as bases de inúmeras tecnologias presentes no dia-a-dia, tais quais os computadores, o laser e os sistemas de posicionamento global por satélite (GPS), dentre inúmeros outros. Além disso, as teorias dessa disciplina, cujos pilares são a Teoria da Relatividade e a Mecânica Quântica, facultam a ampliação do entendimento quanto à natureza, desde a estrutura da matéria a nível microscópico até a origem e evolução do universo no qual o ser humano se manifesta (Chaves & Shellard, 2005).

O preparo do indivíduo para conviver em uma sociedade na qual Ciência e Tecnologia são fatores centrais demanda também alguma familiaridade com a forma como o conhecimento científico é produzido e validado, com suas características essenciais e suas limitações, além de questões éticas, políticas, sociais e ambientais relacionadas ao seu desenvolvimento e aplicação (Bybee, 1987; Krasilchik, 2000; Rosenthal, 1989). A abordagem a temas de caráter histórico e filosófico no ensino de Física é um meio de favorecer a apreensão de noções quanto à natureza da Ciência, essencial para a pessoa alfabetizada cientificamente (Fourez, 1997; Lederman, 1992; Nielsen & Thomsen, 1990; Solbes & Traver, 1996).

Para apoiar práticas pedagógicas em sintonia com um currículo atualizado, uma alternativa promissora é a hipermídia, tecnologia da informação resultante da união de hipertexto e multimídia. Com os recursos do computador, pode-se criar hiperdocumentos interligados por meio de conexões ou *links*, que possibilitam o acesso fácil e rápido a materiais didáticos contendo textos, imagens, vídeos, animações, simulações e sons (Conklin, 1987). Os sistemas hipermídia podem ser estruturados para permitir o percurso de trilhas ou seqüências de documentos através do banco de dados de modo a favorecer a diferenciação progressiva, reconciliação integrativa e consolidação de conceitos (Ausubel, 1976; Jonassen, 1986; Moreira & Masini, 2002; Bolacha & Amador, 2003; Machado & Nardi, 2004).

A primeira etapa da investigação cujos resultados são analisados neste trabalho 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 validação, 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 aprendizagem com o apoio do *software* hipermídia proposto, a partir de uma situação em sala de aula envolvendo estudantes de uma escola pública do Ensino Médio.

### **O sistema hipermídia *Tópicos de Física Moderna***

O sistema hipermídia denominado *Tópicos de Física Moderna* constitui uma proposta de recurso didático para o Ensino Médio compatível com fundamentos chamados 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*, que 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 temas foi realizada tendo enquanto referência uma lista consensual com 18 tópicos de Física Moderna para o Ensino Médio elaborada por Ostermann & Moreira (1998 *apud* Ostermann & Moreira, 2000) a partir de um estudo *Delphi* que englobou 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 de escolaridade no Brasil, concentrando-se mais em aspectos conceituais e utilizando-se pouca Matemática (Terrazzan, 1994). 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 (Gil & Solbes, 1993).

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 a formação de *subsunçores* adequados na estrutura cognitiva dos aprendizes, ou seja, conceitos mais gerais que permitam a conexão de novas idéias, apoiando 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*. A tela de abertura do *software* contém 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 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.

Os textos encontram-se ilustrados com imagens, filmes e animações relevantes, acompanhados das respectivas legendas, visando a enriquecer o conteúdo e facilitar a formação de conexões não-arbitrárias e substanciais (não-literais) 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, conectar-se ao material sobre fissão nuclear (figura 1) e concluir examinando dados sobre reatores nucleares.



Figura 1.- Tela do texto Fissão Nuclear, com links à direita e uma animação à esquerda.

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 biografia de Albert Einstein.

Para auxiliar a orientação do usuário durante a *navegação* pelo sistema hipermídia, foi elaborado o mapa do *software*, 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.

Uma vez implementado o *software*, 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.

### **Avaliação realizada por pesquisadores e licenciandos**

Para a avaliação do *software Tópicos de Física Moderna* foi elaborada uma ficha contendo 47 itens. Esse instrumento foi proposto com base em adaptações realizadas a partir da 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*, os itens 1 a 43 encontravam-se divididos em quatro grupos, abrangendo:

a) *conteúdos e aspectos teórico-metodológicos* (precisão dos conceitos; correção da linguagem; clareza e objetividade; abordagem de relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente; desenvolvimento de noções sobre a natureza da Ciência; dentre outros pontos).

b) *aspectos pedagógico-metodológicos* (consideração das experiências prévias dos estudantes; presença de elementos motivacionais; ausência de estereótipos e preconceitos; facilitação da percepção das inter-relações entre os assuntos; dentre outros pontos).

c) *aspectos editoriais / visuais* (diagramação e revisão isentos de erros graves; adequação de animações, filmes, imagens e sons; dentre outros pontos).

d) *aspectos técnicos* (facilidade de uso pelos estudantes; adequação das ferramentas de navegação; operação sem interrupções; dentre outros pontos).

Os itens 44 a 46 consistiam em questões abertas, relacionadas respectivamente a características positivas e negativas do *software* e à forma de utilizá-lo. O item 47 correspondia 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). As áreas de formação e atuação dos pesquisadores relacionavam-se de algum modo 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.

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.

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.

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, essa foi apenas uma opção, dentre outras, feita na pesquisa descrita neste trabalho e não deve ser entendida como uma defesa de que os tópicos de Física Moderna sejam tratados apenas ao final do Ensino Médio, pois uma transposição didática adequada pode permitir contemplá-los em diferentes momentos desse nível educacional.

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 seqüência de tópicos pré-estabelecida para facilitar a aprendizagem.
- f) Diversidade de opções de *navegação*, que torna complicado o estabelecimento de uma seqüência 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.

Vários pontos criticados pelos avaliadores indicam limitações do *software* ou aspectos cujo aperfeiçoamento é desejável. 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 subsunçores 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 associadas. 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 poderiam ser incluídas 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.

Em relação aos itens do instrumento de pesquisa numerados de 1 a 43, a maior parte dos avaliadores, de ambas as categorias, considerou que o *software* proposto atende plena ou parcialmente aos critérios de avaliação 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.

### **Avaliação realizada por estudantes do Ensino Médio**

Para investigar o processo de ensino e aprendizagem com o suporte da hipermídia, um dos autores deste artigo ministrou a estudantes do Ensino Médio um curso introdutório com a utilização do *software Tópicos de Física Moderna*.

Além de aspectos conceituais, foram analisados a interação dos estudantes com o sistema hipermídia e sua opinião quanto ao curso e em relação ao *software*. Procurou-se dar atenção à influência do curso e do *software* sobre a motivação dos estudantes e, ainda, a indícios de aprendizagem de conteúdos procedimentais e atitudinais.

As aulas foram filmadas e 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. Os estudantes foram entrevistados, ao final do curso, com o intuito de coletar suas opiniões quanto ao curso e ao *software* e esclarecimentos adicionais sobre a aprendizagem sobre o tema. Essas entrevistas foram filmadas.

O curso introdutório à Física Moderna realizou-se de 3 a 28 de novembro de 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 foram 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 foram designados com a utilização dos símbolos  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ,  $E_4$ ,  $E_5$ ,  $E_6$  e  $E_7$ , para que suas identidades sejam preservadas. Dos sete estudantes, quatro são do sexo masculino ( $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_6$  e  $E_7$ ) e três são do sexo feminino ( $E_3$ ,  $E_4$  e  $E_5$ ).

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  $E_7$  não pretendia fazer logo o exame para ingresso em um curso superior. O estudante  $E_1$  tinha planos para cursar Ciência da Computação, embora o curso de Física também o atraísse. O estudante  $E_2$  interessava-se por Administração de Empresas, a estudante  $E_3$  por Ciências Biológicas, a estudante  $E_4$  por Engenharia Mecânica, a estudante  $E_5$  por Fisioterapia e o estudante  $E_6$  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.

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) Explicação inicial do professor.
- b) Exploração pelos alunos de um tópico do sistema hipermídia.
- 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 acomodar duas pessoas por 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 utilizando sozinho um computador, embora eventualmente dialogasse com colegas próximos.

Foram trabalhados nas aulas os seguintes textos: Introdução ao Módulo Visão Inicial; Conceitos de Física Clássica; Conceitos de Física Moderna; Desenvolvimento Histórico da Teoria da Relatividade; Metodologia dos Programas de Pesquisa; Postulados da Teoria da Relatividade Restrita; Dilatação dos Tempos; Contração dos Espaços; Energia Relativística; Física Nuclear; Fissão Nuclear; Fusão Nuclear; Reatores Nucleares; Acidentes Nucleares; Projeto Manhattan; Armas Nucleares; Ciência e Ética. Essa seqüência corresponde à ordem em que os assuntos foram apresentados, com base nos princípios da *Teoria da Aprendizagem* de Ausubel. Alguns textos existentes no *software* não foram abordados devido à limitação de tempo imposta na realização do curso introdutório.

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 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” (E<sub>1</sub>).*

*“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” (E<sub>2</sub>).*

*“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?” (E<sub>4</sub>).*

*“O que eu consegui aprender? Muita coisa que eu não aprendo na escola” (E<sub>5</sub>).*

Desses comentários, pode ser inferido que os alunos julgaram ter obtido, de modo geral, um bom aproveitamento do curso realizado com 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” (E<sub>1</sub>).*

*“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” (E<sub>2</sub>).*

*“(...) Eu gostei desses reatores, essas coisas de bombas. Eu achei interessante isso daí” (E<sub>3</sub>).*

*“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” (E<sub>4</sub>).*

*“Ah, uma coisa que eu acho que eu sempre vou lembrar, acho que todo mundo vai lembrar, é aquele negócio da dilatação dos tempos” (E<sub>4</sub>).*

*“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” (E<sub>5</sub>).*

*“Ah, a parada lá das bombas atômicas também, aquela bomba de hidrogênio, que faz altos estragos. Também é bem legal” (E<sub>5</sub>).*

*“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” (E<sub>6</sub>).*

*“Ah! (...) Aquele... das bombas, da guerra, da Ciência. O mais é isso. Os acidentes envolvendo a bomba atômica. É isso” (E<sub>6</sub>).*

Indagada sobre o motivo de a dilatação dos tempos ter despertado tanto a curiosidade da turma, a estudante E<sub>4</sub> 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” (E<sub>4</sub>).*

Essa razão também foi levantada pelo estudante E<sub>2</sub>, 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 (...)” (E<sub>2</sub>).*

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” (E<sub>2</sub>).*

*“(...) 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..." (E<sub>4</sub>).*

*"Eu achei que pelo fato de nosso estudo ser meio fundamental, foi meio difícil de pegar no começo, mas depois foi tranquilo" (E<sub>6</sub>).*

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 E<sub>4</sub> 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" (E<sub>4</sub>).*

Quando perguntado se faltou algo no curso que o auxiliasse a acompanhar melhor o assunto, o estudante E<sub>2</sub> 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" (E<sub>2</sub>).*

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" (E<sub>1</sub>).*

*"Ah, acho que mais assim... lá nos cálculos assim... que eu me perdi um pouquinho. Mas depois fui pegando o fio da meada" (E<sub>3</sub>).*

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" (E<sub>2</sub>).*



*“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” (E<sub>5</sub>).*

*“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” (E<sub>6</sub>).*

*“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” (E<sub>6</sub>).*

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” (E<sub>1</sub>).*

*“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” (E<sub>2</sub>).*

*“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...” (E<sub>3</sub>).*

O valor atribuído pela estudante E<sub>3</sub> 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 E<sub>4</sub> 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” (E<sub>4</sub>).*

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 E<sub>5</sub>, 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” (E<sub>5</sub>).*

O comentário da estudante E<sub>5</sub> 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” (E<sub>4</sub>).*

*“Se tivesse um pouco mais de tempo seria um pouco melhor para aprender, para pegar melhor” (E<sub>6</sub>).*

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” (E<sub>5</sub>).*

*“Foi meio cansativo porque tinha que ler bastante” (E<sub>4</sub>).*

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 E<sub>4</sub> 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” (E<sub>4</sub>).*

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... (...) simulações também, o emprego do vídeo. Podemos dizer que eu gostei bastante do software. É bem diferente também (E<sub>1</sub>)”.*

*“Com certeza os vídeos. O vídeo eu acho que explica bem... tudo como funciona” (E<sub>2</sub>).*

*“Achei legal as animações” (E<sub>3</sub>).*

*“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” (E<sub>4</sub>).*

*“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” (E<sub>5</sub>).*

*“Eu gostei muito dos exemplos, das fotos. É... de todo o software eu gostei bem” (E<sub>6</sub>).*

*“Eu gostei muito das fotos, da legenda que existe em cada foto, que explica. (...) O visual dele é bem interessante” (E<sub>6</sub>).*

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” (E<sub>3</sub>).*

*“Eu acho que estava bom. Também não tenho o que reclamar. Eu acho que dá para trabalhar direitinho... o programa” (E<sub>4</sub>).*

*“Acho que não tem nada assim que dificulte não” (E<sub>5</sub>).*

*“Não tem... Acho que não tem nada assim a modificar nele” (E<sub>6</sub>).*

Apenas o estudante E<sub>1</sub> 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” (E<sub>1</sub>).*

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 E<sub>2</sub>:

*“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” (E<sub>2</sub>).*

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” (E<sub>2</sub>).*

*“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” (E<sub>5</sub>).*

Em particular, a estudante E<sub>4</sub> 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” (E<sub>4</sub>).*

Na condição de exemplos do tipo de ligações conceituais que o hipertexto ajudou a ver, por meio de seus *links*, a estudante E<sub>4</sub> 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" (E<sub>4</sub>).

O estudante E<sub>2</sub>, 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"* (E<sub>2</sub>).

A ponderação do estudante E<sub>2</sub> 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 E<sub>3</sub> e E<sub>6</sub> 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"* (E<sub>6</sub>).

*"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"* (E<sub>3</sub>).

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 E<sub>5</sub> 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? Aí depois o desenvolver é mais fácil até"* (E<sub>5</sub>).

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” (E<sub>1</sub>).*

*“(...) 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” (E<sub>1</sub>).*

*“(...) só em teoria, assim lendo, a gente fica meio assim... que não entende assim, mas daí quando vê a animaçãozinha, já dá uma clareada” (E<sub>3</sub>).*

*“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” (E<sub>4</sub>).*

*“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!’ (...)” (E<sub>4</sub>).*

*“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!” (E<sub>5</sub>) [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” (E<sub>6</sub>).*

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” (E<sub>1</sub>).*

*“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” (E<sub>2</sub>).*

*“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?” (E<sub>5</sub>).*

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.

### **Considerações finais**

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 no questionário e nas 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 colaborou para a percepção da relação entre os conceitos e facilitou o 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.

As observações das atividades realizadas e as informações fornecidas pelos estudantes indicaram que certas opções metodológicas adotadas para o ensino de Física Moderna no *software* e no curso introdutório contribuíram para a aprendizagem. 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 ocorre habitualmente no ensino tradicional.



Além dos aspectos descritos, as concepções expostas nos questionários e debates durante o curso possibilitaram constatar que a proposta didática discutida neste trabalho 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; o progresso da Ciência ao longo do tempo.

A experiência com a aplicação da proposta didática originada desta pesquisa 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 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.

### Referências bibliográficas

Athayde, M.I. (1990). *Desenvolvimento, aplicação e avaliação de coursewares de física para o segundo grau: uma experiência piloto*. Dissertação [Mestrado em Educação]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Ausubel, D.P. (1976). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. México: Editorial Trillas.

Bolacha, E. & Amador, F. (2003). Organização do conhecimento, construção de hiperdocumentos e ensino das ciências da Terra. *Investigações em Ensino de Ciências*, 8(1). Acesso em 26 de abril, 2004, de [http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol8/n1/v8\\_n1\\_a2.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol8/n1/v8_n1_a2.htm).

Brasil. Ministério da Educação (2005). *Ciências: volume 4, guia de livros didáticos 2005, 5ª a 8ª séries*. Brasília, DF.

Bybee, R.W. (1987). Science education and the science-technology-society (STS) theme. *Science Education*, 71(5), 667-683.

Campos, F.C.A. (1994). *Hipermídia na educação: paradigmas e avaliação da qualidade*. Dissertação [Mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação]. Rio de Janeiro: Coordenação dos Programas de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Chaves, A. & Shellard, R.C. (2005). *Pensando o futuro: o desenvolvimento da física e sua inserção na vida social e econômica do país*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física.

Conklin, J. (1987). Hypertext: an introduction and survey. *IEEE Computer*, 20(9), 17-41.

Fourez, G. (1997). *Alfabetización científica y tecnológica: acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias*. Buenos Aires: Colihue.

Gil, D. & Solbes, J. (1993). The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science. *International Journal of Science Education*, 15(3), 255-260.

Jonassen, D.H. (1986). Hypertext principles for text and courseware design. *Educational Psychologist*, 21(4), 269-292.

Krasilchik, M. (2000). Reformas e realidade: o caso do ensino das ciências. *São Paulo em Perspectiva*, 14(1), 85-93.

Lederman, N.G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.

Machado, D.I. & Nardi, R. (2004). Uma proposta de software hipermídia para o ensino de física moderna e contemporânea. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 16, 84-101.

Moreira, M.A. & Masini, E.F.S. (2002). *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. 2. ed. São Paulo: Centauro.

Nielsen, H. & Thomsen, P.V. (1990). History and philosophy of science in physics education. *International Journal of Science Education*, 12(3), 308-316.

Ostermann, F. & Moreira, M.A. (2000). Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "física moderna e contemporânea no ensino médio". *Investigações em Ensino de Ciências*, 5(1), 2000. Acessado em 10 de janeiro, 2003, de [http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n1/v5\\_n1\\_a2.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n1/v5_n1_a2.htm).

Rosenthal, D.B. (1989). Two approaches to science-technology-society (S-T-S) education. *Science Education*, 73(5), 581-589.

Solbes, J. & Traver, M.J. (1996). La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química. *Enseñanza de las ciencias*, 14(1), 103-112.

Terrazzan, E.A. (1994). *Perspectivas para a inserção da física moderna na escola média*. Tese [Doutorado em Educação]. São Paulo: Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.