

Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia

(Construction of concepts of modern physics and on the nature of science with the support of hypermedia)

D.I. Machado¹ e R. Nardi²

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Foz do Iguaçu, PR, Brasil

²Departamento de Educação, Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, SP, Brasil

Recebido em 11/4/2006; Aceito em 9/5/2006

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. Obtiveram-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, 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.

The results of a research that involves production and evaluation of a hypermedia about concept development of Modern Physics and the nature of Science are presented. The didactic proposal was based in Ausubel's Learning Theory, on orientations for the implementation of educational hypermedia systems and also took into account results of research in Science Teaching, such as, Science-Technology-Society, reflections on the pedagogical importance of the History and Philosophy of Science and considerations about Modern Physics insertion in high school. The hypermedia was evaluated by a group of Physics Teaching researchers and in training (for Physics Teaching) undergraduate students. After some of the suggestions made in this study were introduced in the system, it was tested with a group of third-year students of a public high school. The information obtained shows that the use of the computer was a motivating factor for the students. The diversity of elements of the software helped them to maintain interest in the content and also contributed to the visualization and interpretation of phenomena, thus, facilitating their reasoning. The hypermedia, structured in accordance with ausubelian principles, contributed to their perception of concepts relationships and helped them to develop subsuners to support their subsequent learning. The results show that this type of instruction facilitates the evolution of the conceptions most of the student held before, related to: the concept of mass-energy equivalence and its implications; the relationships between Science, Technology and Society and their environmental and political implications; the role of Ethics in the development and application of scientific knowledge and the evolution of Science.

Keywords: Ausubel, constructivism, Science-Technology-Society teaching, Physics teaching, hypermedia, modern physics.

¹E-mail: dpedm@uol.com.br.

²E-mail: nardi@fc.unesp.br.

1. Introdução

A investigação cujos resultados são apresentados neste artigo 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 [1].

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 Ausubel [2] e enfoques pedagógicos da área de Educação para a Ciência [3], os quais orientaram a seleção de conceitos, o estabelecimento de conexões entre os assuntos e a definição de seqüência didática para a abordagem dos tópicos.

Pesquisadores de ensino de Física e licenciandos em Física avaliaram o *software*, gerando subsídios para aperfeiçoá-lo. O recurso pedagógico resultante foi testado 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.

A proposta didática exposta e avaliada neste trabalho situa-se em uma perspectiva de atualização curricular, na qual se busca contribuir para a alfabetização científica do estudante que vive no contexto social e cultural do século XXI.

2. Alguns elementos para uma prática educacional renovada

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 [4].

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 [5].

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 [6, 7].

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 [8].

Discussões de caráter histórico e filosófico possibilitam também revelar problemáticas ético-sociais relevantes para o ensino de temas da Ciência e da Tecnologia, em que se considera sua não-neutralidade, examinam-se fatores sociais, políticos, econômicos e ideológicos atuantes sobre essas áreas e o impacto destas no modo de vida em Sociedade, e explicita-se a responsabilidade tanto dos pesquisadores que as promovem quanto dos cidadãos em geral, os quais podem influenciar sua aplicação [9].

Embora os *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio* [10] 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 [11, 12].

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 detrimento 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 resultado em pesquisas de maneiras efetivas para se realizar essa inserção e no desenvolvimento de livros didáticos cujo conteúdo traz esses conceitos de modo acessível [13].

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 [14].

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 seu interesse despertado 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 [15, 16].

3. Desenvolvimento de um sistema hiper-mídia para o ensino de física moderna

O sistema hiper-mídia 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*, que possibilita o desenvolvimento de ambientes hiper-mídia interativos e acessíveis a partir de CD-ROMs ou da Internet.

No projeto para a elaboração do sistema hiper-mídia 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 a partir de um estudo *Delphi* que envolveu a opinião de físicos, pesquisadores em ensino de Física e professores de Física do Ensino Médio [13]. 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 [17]. 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 [18].

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 hiper-mídia 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*: reúne os textos 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*: reúne os textos Introdução ao módulo tecnologia & sociedade; Física nuclear; fissão nuclear; Fusão nuclear; Radioatividade; Reatores nucleares; Acidentes radioativos; Armas nucleares.
- d) *História da Ciência*: reúne os textos 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*: reúne os textos Introdução ao módulo Ciência & Filosofia; Metodologia dos programas de pesquisa; Ciência e Ética.
- f) *Fronteiras da Ciência*: reúne os textos 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 (Fig. 1), continuar acessando informações sobre momento linear relativístico, atingir a seção sobre energia relativística, conectar-se ao material sobre fissão nuclear e concluir examinando dados sobre reatores nucleares.



Figura 1 - Tela do texto Contração das Distâncias, com links à direita e uma simulação de viagem em alta velocidade 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.

No prosseguimento do projeto, o *software* foi avaliado por cinco pesquisadores da área de ensino de Física e por dezessete licenciandos que estavam no último ano de um curso de Física. Em sua análise, os

avaliadores empregaram um instrumento contendo 47 itens, elaborado com base na ficha de avaliação utilizada no Programa Nacional do Livro Didático [19], na ficha de avaliação de *softwares* desenvolvida por Athayde [20] e nos critérios de avaliação de sistemas hipermídia educacionais considerados por Campos [21].

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 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.

4. Avaliação da aprendizagem com o apoio da hipermídia

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*.

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 pormenorizada-mente, 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 cinco questões abertas para avaliar o entendimento dos estudantes quanto aos conceitos investigados foi respondido antes do início do curso e logo após seu término.
- 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 foram respondidas individualmente pelos alunos 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*, com 32 itens, adaptado dos trabalhos de Athayde [20] e de Machado e Santos [22].

- f) Os estudantes foram entrevistados, ao final do curso, com o intuito de aprofundar o conhecimento de suas opiniões quanto ao curso e ao *software* e para se obter esclarecimentos adicionais sobre sua aprendizagem. Essas entrevistas foram filmadas.

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).

Objetivando facultar a construção de conceitos e possibilitar aos estudantes a explicitação do entendimento que estavam adquirindo, as aulas foram desenvolvidas de acordo com a seguinte seqüência didática:

- Explicação inicial do professor.
- Exploração de um tópico do sistema hipermídia pelos alunos.
- Debate das questões propostas no *software* em dupla e com o professor.
- Debate das questões envolvendo toda a turma.
- 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 foram estabelecidos tendo-se em vista os objetivos pedagógicos que se pretendia atingir, com base nos princípios da teoria da aprendizagem de Ausubel. A fim de ilustrar os critérios utilizados na seleção e no encadeamento dos conteúdos, expõem-se, a seguir, os assuntos tratados no curso, na seqüência em que foram estudados, divididos em cinco séries de textos (trilhas), incluindo-se os objetivos de aprendizagem associados a alguns tópicos, juntamente com a justificativa para sua escolha e ordenação e a indicação dos *links* disponíveis nos hiperdocumentos correspondentes:

- Trilha I*: 1. Introdução ao módulo visão inicial → 2. Conceitos de física clássica → 3. Conceitos de física moderna.

O objetivo dos *textos 2 e 3* é contribuir para a percepção do fato de que os conceitos da Física evoluem, o estabelecimento da distinção entre física clássica e física moderna e a obtenção de uma noção geral e qualitativa de diversos conceitos fundamentais da física moderna. Os textos constituem *organizadores prévios*, visando a propiciar uma ligação entre os conhecimentos que o estudante possui e as novas idéias a serem apresentadas. Os *links* existentes no *software* permitem acessar, a partir dos textos 2 e 3, os tópicos: Desenvolvimento histórico da teoria da relatividade e Desenvolvimento histórico da mecânica quântica.

- Trilha II*: 4. Desenvolvimento histórico da teoria da relatividade → 5. Metodologia dos programas de pesquisa.

O objetivo do *texto 4* 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. Os *links* existentes no *software* permitem acessar, a partir do texto 4, os tópicos Metodologia dos

Programas de Pesquisa; Postulados da teoria da relatividade restrita; Biografia de Albert Einstein; Teoria da relatividade geral.

- c) *Trilha III*: 6. Postulados da teoria da relatividade restrita → 7. Dilatação dos tempos → 8. Contração dos espaços.

O objetivo do *texto 6* 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. Os *links* existentes no *software* permitem acessar, a partir do texto 6, os tópicos Desenvolvimento histórico da teoria da relatividade; Dilatação dos tempos; Contração das distâncias.

O objetivo do *texto 7* 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. Os *links* existentes no *software* permitem acessar, a partir do texto 7, os tópicos Postulados da teoria da relatividade restrita; Contração das distâncias; Desenvolvimento histórico da teoria da relatividade.

- d) *Trilha IV*: 9. Energia relativística → 10. Física nuclear → 11. Fissão nuclear → 12. Fusão nuclear → 13. Reatores nucleares → 14. Acidentes nucleares.

O objetivo do *texto 13* é possibilitar 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*. Os *links* existentes no *software* permitem acessar, a partir do texto 13, os tópicos

Fissão nuclear; Fusão nuclear; Acidentes nucleares; Armas nucleares.

- e) *Trilha V*: 15. Projeto Manhattan → 16. Armas nucleares → 17. Ciência e Ética.

O objetivo do *texto 17* 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*. Os *links* existentes no *software* permitem acessar, a partir do texto 17, os tópicos Armas nucleares; Projeto Manhattan; Biografia de Albert Einstein.

Os *links* do *software* foram estabelecidos de modo a facilitar a exploração dessas trilhas indicadas, conforme se procurou explicitar nos textos comentados em destaque. Alguns assuntos contidos no *software* não foram abordados devido à limitação de tempo imposta na realização do curso introdutório. Outras combinações de textos, além das mencionadas, podem ser concebidas de acordo com a construção conceitual que se queira empreender. A flexibilidade da hipermídia para o acesso não-linear a documentos facilita esse tipo de composição, permitindo também a realização de aulas em diferentes momentos do curso de Física do Ensino Médio e não só ao final deste. 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.

5. Resultados

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:

- Apresenta textos bem escritos, compreensíveis e conceitualmente corretos.
- 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. Esses aspectos aparecem no seguinte dizer da estudante E5:

(...) 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 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. O apoio à aprendizagem proporcionado pela multimídia foi apontado pelos estudantes em declarações tais como as seguintes:

(...) 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).

(...) 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).

(...) 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].

Eu estava meio confuso nessa parte aí, porque acontece a dilatação [do tempo], e o videozinho lá me ajudou a entender melhor o porquê disso, o porquê daquilo (E2).

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.

Os estudantes E4 e E6 expressaram o fato de os recursos do *software* os terem ajudado a perceber as ligações entre as idéias com os seguintes termos:

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).

(...) 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).

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).

A facilidade para navegação foi ressaltada pelos estudantes E2 e E5 da seguinte forma:

(...) 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).

(...) Às vezes você não lembrava de uma coisa assim de um lado, daí tu ia rapidinho lá dar uma olhadinha, daí voltava (E5).

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 hiperídia, organizada segundo pressupostos construtivistas, em um enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) no qual elementos de História e Filosofia foram considerados, facultou a quase todos os 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 a formação de pares e as reações nucleares. Para exemplificar esse fato, pode-se comparar as respostas da estudante E3 à terceira questão aberta do instrumento de pesquisa. Antes do curso, apresentada a um evento de formação de um par elétron-próton a partir de um raio gama, a estudante não conseguiu estimar a energia mínima do fóton para que o processo ocorresse, nem explicar o princípio físico que permitiria resolver o problema. Após o curso, a aluna empregou corretamente a equivalência massa-energia ($E_0 = mc^2$) para solucionar a questão e expressou a seguinte concepção a respeito dessa idéia: *Quando há aumento de m há aumento de E e assim inversamente no decaimento (E3)*. Importa ressaltar que o fenômeno de formação de pares não havia sido discutido em detalhes durante o curso, revelando uma habilidade da aluna de estender o que havia aprendido sobre equivalência massa-energia a um novo contexto.

Verificou-se que a maior parte dos estudantes pôde perceber a ligação entre o fenômeno físico da fissão nuclear e a tecnologia dos reatores nucleares, além de adquirir melhor 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. Por exemplo, ao ser convidada a comentar, no primeiro item da quarta questão aberta do instrumento de pesquisa, a polêmica relativa à instalação de novas usinas nucleares, considerando seus aspectos positivos e negativos, a estudante E4 nada respondeu. Após o curso, sua resposta foi: *Positivo: as usinas nucleares utilizam pouca água, portanto se houver uma grande seca elas seriam uma das soluções do problema de energia. Contra: as usinas nucleares produzem muito lixo que faz mal para a saúde. Através das usinas nucleares podem ser feitas bombas atômicas (E4)*. Esta mesma estudante, que também não havia conseguido responder ao segundo item da quarta questão aberta do questionário, a respeito do princípio fundamental da Física que se relaciona ao funcionamento dos reatores nucleares, fez a seguinte explanação após o curso: *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 (E4)*.

Averiguou-se que a maioria dos alunos conseguiu estabelecer a conexão das reações nucleares de fissão e fusão com a tecnologia das armas nucleares, além de alcançar 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. Por exemplo, ao ser indagada, no terceiro item da quinta questão aberta do instrumento de pesquisa, sobre o princípio fundamental da Física relacionado às bombas nucleares lançadas sobre o Japão durante a *Segunda Guerra Mundial*, a estudante E5 nada escreveu antes do curso. Após o curso, informou: *A fissão faz com que as bombas liberem energia*

(E5). Quando inquirido se o tema das bombas atômicas ainda era importante na atualidade, no quinto item da quinta questão aberta do instrumento de pesquisa, o estudante E1 nada respondeu. Após o curso, expôs a seguinte reflexão: *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* (E1).

Constatou-se que quase todos os estudantes desenvolveram noções 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. Por exemplo, ao ser indagado, no segundo item da quinta questão aberta do instrumento de pesquisa, se considerava importante que cientistas reflitam e se posicionem em relação a questões com implicações sociais e políticas, e também a população em geral, o estudante E1 nada escreveu antes do curso. Após o curso, expressou as seguintes idéias: *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* (E1).

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. Para ilustrar esse aspecto, pode-se comparar as respostas do estudante E2 à primeira questão aberta do instrumento de pesquisa. Ao ser indagado no questionário se considerava que o conhecimento científico muda com o tempo e uma teoria física, uma vez estabelecida, pode ser superada por outras, o estudante E2 escreveu, antes do curso: *Eu considero que pode mudar, porque com o passar dos anos vão se descobrindo novas fórmulas* (E2). E após o curso: *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* (E2).

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 na maior parte dos casos.

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 a pertinência da metodologia na qual uma visão geral do conteúdo é propiciada e depois se passa a rever os conceitos com grau crescente de detalhamento. Em particular, a estudante E3 referiu-se a isso dizendo:

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).

Tal forma de organizar as atividades permitiu a 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. Nas palavras da estudante E5:

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 (E5).

A apresentação de tópicos da física moderna fazendo-se referência à física clássica - tanto pelo co-tejo 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. Uma observação a esse respeito foi feita pelo estudante E2:

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 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. Isso pode ser percebido na seguinte afirmação de um dos 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).

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. Eis algumas falas representativas desse fato:

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).

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).

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).

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.

Encontraram-se 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. Um comentário da estudante E5 ilustra esse ponto:

(...) 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).

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.

6. Considerações finais

De modo geral, apesar de algumas limitações verificadas, pode-se assumir que o sistema hiperfídia *Tópicos de Física Moderna*, na forma como foi utilizado no curso introdutório 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 resultados obtidos no processo de ensino e aprendizagem com o emprego dessa proposta didática representaram evidências favoráveis ao uso conjugado da hiperfídia 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 dados encontrados na pesquisa sugerem a pertinência de se investir no desenvolvimento e na avaliação de novos materiais em formato hiperfídia 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*.

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.

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. Neste artigo, procurou-se evidenciar o potencial dessa abordagem para a inserção da física moderna no Ensino Médio.

Nota

O *software Tópicos de Física Moderna* foi desenvolvido com o propósito inicial de pesquisar a utilização da hipermídia no ensino de Física. Busca-se atualmente conseguir o registro do programa visando à proteção de direitos autorais e à sua posterior distribuição. Informações adicionais sobre o *software*, sua construção e os referenciais teórico-metodológicos utilizados em sua elaboração podem ser obtidas pelo e-mail dpedm@uol.com.br.

Referências

- [1] D.I. Machado, *Construção de Conceitos de Física Moderna e Sobre a Natureza da Ciência com o Suporte da Hipermídia*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, 2006.
- [2] D.P. Ausubel, *Psicología Educativa: Un Punto de Vista Cognoscitivo* (Editorial Trillas, México, 1976).
- [3] M. Krasilchik, São Paulo em Perspectiva **14**, 85 (2000).
- [4] E.A. Terrazzan, Caderno Catarinense de Ensino de Física **9**, 209 (1992).
- [5] R.C. Laugksch, Science Education **84**, 71 (2000).
- [6] L.D. Mackay, Journal of Research in Science Teaching **8**, 57 (1971).
- [7] J.J. Gallagher, Science Education **75**, 121 (1991).
- [8] D. Gil Pérez, I.F. Montoro, J.C. Alís, A. Cachapuz e J. Praia, Ciência & Educação **7**, 247 (2001).
- [9] A. Cachapuz, J. Praia e M. Jorge, Revista da Educação **9**, 69 (2000).
- [10] Brasil, Ministério da Educação, *Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)* (Brasília, 2000). Disponível em: <http://www.mec.gov.br/seb/pdf/ciencian.pdf>. Acesso em 9 set. 2005.
- [11] F. Ostermann e M.A. Moreira, Enseñanza de las Ciencias **18**, 391 (2000).
- [12] D.I. Machado e R. Nardi, in *Atas do IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Bauru, 2003, editado por M.A. Moreira (Abrapec, Porto Alegre, 2004), 1 CD-ROM.
- [13] F. Ostermann e M.A. Moreira, Investigações em Ensino de Ciências (2000). Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n1/v5_n1_a2.htm. Acesso em 10 jan. 2003.
- [14] J. Conklin, IEEE Computer **20**, 17 (1987).
- [15] B.C. Babbitt e V. Usnick, Arithmetic Teacher **40**, 430 (1993).
- [16] F. Gutierrez, *Linguagem Total: Uma Pedagogia dos Meios de Comunicação* (Summus, São Paulo, 1978).
- [17] E.A. Terrazzan, *Perspectivas para a Inserção da Física Moderna na Escola Média*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 1994.
- [18] D. Gil e J. Solbes, International Journal of Science Education **15**, 255 (1993).
- [19] Brasil, Ministério da Educação, *Ciências: Guia de Livros Didáticos 2005, 5ª a 8ª Séries* (Brasília, 2005), v. 4.
- [20] M.I. Athayde, *Desenvolvimento, Aplicação e Avaliação de Coursewares de Física para o 2º Grau: Uma Experiência Piloto*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1990.
- [21] F.C.A. Campos, *Hipermídia na Educação: Paradigmas e Avaliação da Qualidade*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1994.
- [22] D.I. Machado e P.L.V.A. da C. Santos, Ciência & Educação **10**, 1 (2004).