

VISUALIZAÇÃO E INTERATIVIDADE NO ENSINO DE FÍSICA E A PRODUÇÃO DE APLICATIVOS COMPUTACIONAIS

Marta F. Barroso^a [marta@if.ufrj.br]
Diego Bevilaqua^b [dbevilaqua@fiocruz.br]
Geraldo Felipe^a [geraldofelipe.rj@uol.com.br]

^a Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física e LIMC (Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento em Ensino de Matemática e Ciências)

^b Fiocruz, Casa de Oswaldo Cruz Museu da Vida e Universidade Federal do Rio de Janeiro, LIMC

RESUMO

Neste trabalho, apresentamos os princípios de construção, o processo de desenvolvimento e o uso de um conjunto de aplicativos computacionais específicos para o ensino de física elaborados durante um período de três anos pelo grupo de pesquisa e desenvolvimento em ensino de física da UFRJ. Esses aplicativos abordam os diversos tópicos da física básica que são discutidos na educação básica e nos anos iniciais do ensino superior das áreas de ciência e tecnologia. As bases teóricas da produção desses aplicativos são discutidas: o conceito de objeto de aprendizagem e sua apropriação como uma ferramenta própria para produção de materiais didáticos digitais (com o os aplicativos computacionais); as implicações do estudo das formas e ferramentas de visualização em ciência no processo de ensino-aprendizagem; e os tipos e usos dos diferentes recursos de interatividade entre aprendizes e o conteúdo no ensino presencial e a distância. Alguns aplicativos são apresentados e a elaboração dos conceitos teóricos subjacentes à sua produção são explicitados. Os temas escolhidos para a produção dos aplicativos são, em geral, temas que, de acordo com as pesquisas em ensino de física e a prática docente do grupo, revelam-se de difícil abordagem e discussão conceitual nos diferentes níveis de ensino. Apresenta-se o conjunto de aplicativos finalizados e distribuídos publicamente, abordando temas de ótica geométrica, movimentos (conceitos de cinemática, discussão de movimentos diversos, mudanças de sistema de referência, princípio da relatividade), forças, oscilações e ondas e circuitos elétricos simples. Finalmente, discute-se seu uso em ambientes de aprendizagem de diversos níveis e as diferentes opções pedagógicas e metodológicas possíveis para seu uso nesses ambientes.

INTRODUÇÃO

A pesquisa e desenvolvimento em materiais didáticos para o ensino de física envolve várias questões. Por exemplo, os desenvolvedores possuem visões a respeito do processo de ensino-aprendizagem que na maior parte das vezes não são explicitadas, fazem escolhas dos temas a serem abordados e da forma como os materiais são produzidos e disponibilizados, entre muitos outros. Em geral, o desenvolvimento desses materiais é resultado de um conjunto de referenciais teóricos a respeito dessa produção, de uma reflexão a respeito de linhas pedagógicas e educacionais para o ensino de física, de um conhecimento de trabalhos de pesquisa em ensino de física e de uma relação com a prática do ensino de física que fundamentam as escolhas feitas, tanto de forma quanto de conteúdo.

No desenvolvimento desses materiais, há aspectos de inovação tecnológicas, de linguagem e de abordagem que muitas vezes justificam por si só a apresentação do trabalho antes de sua utilização e avaliação em grande ou pequena escala.

Neste trabalho, apresentamos uma visão geral do desenvolvimento de um conjunto extenso de aplicativos computacionais para o ensino de física. Estes aplicativos combinam aspectos de visualização em ciências e interatividade no uso de materiais didáticos. Esses aspectos tornam necessários uma apresentação de seus princípios de desenvolvimento e uma reflexão mais aprofundada sobre o processo de produção e desenvolvimento, anteriores à discussão de formas de uso e avaliação de sua utilização.

Iniciamos com uma discussão sobre aspectos teóricos que foram sendo elaborados durante o processo de produção e discussão dos aplicativos. Esses aspectos teóricos envolvem noções sobre o papel da visualização no processo de ensino-aprendizagem em física e a discussão sobre os diversos recursos de interatividade que podem ser propostos e utilizados no ensino-aprendizagem de física e ciências. Discutimos também o conceito de objeto de aprendizagem e a utilização que é feita deste conceito em nosso trabalho. A seguir, apresentamos uma seção sobre a produção dos aplicativos: como eles são escolhidos e elaborados. Finalmente, discutimos onde e quando esses aplicativos vem sendo utilizados em ambientes de aprendizagem, e as conseqüências desse uso para a produção dos materiais e para o ensino de física.

Os aplicativos produzidos estão disponíveis para uso generalizado, no formato de um CD-rom e numa página pública na Internet. Trabalhos de avaliação de seu uso em ambientes reais e virtuais de aprendizagem já foram e vem sendo feitos e serão objeto de outros trabalhos.

APLICATIVOS COMPUTACIONAIS: OBJETOS DE APRENDIZAGEM, VISUALIZAÇÃO E RECURSOS DE INTERATIVIDADE

A pesquisa em aspectos cognitivos da aprendizagem [Ezrailson et al, 2004] indica quatro características fundamentais para que esse processo ocorra de forma efetiva: (1) que os estudantes se engajem de forma ativa e não passiva como aprendizes nesse processo; (2) que haja trabalho colaborativo, com uma organização de grupo; (3) que o processo seja sempre objeto de um “feedback” constante, com interação e retorno por parte de instrutores e colegas; (4) que sejam feitas conexões com contextos do mundo real, cotidiano. O conhecimento destes fatores nos permite refletir sobre a maneira de construir materiais didáticos e ambientes de aprendizagem que levem em conta essas características e as usem de forma apropriada.

Os desenvolvimentos tecnológicos provocam enormes mudanças em nossas formas de agir e principalmente de interagir com os estudantes. Essas tecnologias podem resultar em mudanças paradigmáticas a respeito de como ensinar [Aguiar 2006]. A Internet já provoca mudanças sensíveis nas formas com que a pesquisa é desenvolvida no ambiente acadêmico. Ela altera as maneiras como as pessoas se comunicam e trabalham.

O conceito de objeto de aprendizagem (“learning object”) surgiu no final da década de 90 como uma proposta de paradigma na elaboração de materiais instrucionais. A idéia era a de construir repositórios de materiais didáticos, devidamente catalogados e disponibilizados, para que os usuários (instrutores e aprendizes) fizessem economia (de tempo e dinheiro) ao preparar seus cursos e processos instrucionais. O conceito envolvia a idéia que quando os professores acessam

materiais instrucionais, eles freqüentemente os quebram em suas partes constituintes [Reigeluth e Nelson, 1977, apud Wiley 2000], e os rearrumam de forma a apoiar os seus próprios objetivos educacionais. Portanto, se houvesse um conjunto de objetos instrucionais reutilizáveis e granulares, como componentes individuais, o passo inicial da decomposição já estaria dado, aumentando a eficiência do processo [Wiley 2000]. A definição do Learning Technology Standards Committee é “*objetos de aprendizagem são qualquer entidade, digital ou não digital, que pode ser utilizada, reutilizada ou referenciada no processo de aprendizagem apoiada por tecnologia.*” Exemplos de objeto de aprendizagem incluem conteúdos multimídia, conteúdo instrucional, objetivos de aprendizagem, software instrucional, etc. Tal definição é freqüentemente criticada por ser muito ampla e, portanto, de pouca utilidade.

A definição proposta por Wiley 2000 nos parece a mais adequada: um objeto de aprendizagem é “*qualquer recurso digital que pode ser reutilizado para apoiar a aprendizagem*”.

Esta definição inclui tudo que pode ser entregue através da rede por demanda, grande ou pequena. Segundo esta definição, exemplos de recursos digitais reutilizáveis incluem imagens digitais ou fotos, dados, vídeos ou áudios (ao vivo ou pré-gravados), pequenos pedaços de texto, animações, objetos Java, etc. Exemplos de recursos digitais reutilizáveis maiores incluem páginas web inteiras que combinam textos, imagens e outras mídias ou aplicações para apresentar experiências completas, como um evento instrucional completo. Todos esses recursos apresentam os atributos fundamentais de um objeto de aprendizagem: que ele seja **reutilizável**, que seja **digital**, que seja **um recurso** e que esteja envolvido com a **aprendizagem**.

O conceito de reutilização possibilita que aplicativos sejam compartilhados com múltiplos usos em diferentes situações de aprendizagem. Para que essa utilização se torne viável, é necessário pensar, durante a produção, na chamada **granularidade** do aplicativo - se ele é uma peça minúscula dentro de uma aula, de um currículo, ou se é uma aula em si, uma disciplina completa.

As noções associadas de granularidade e recombinação – a abrangência dos conceitos tratados num único aplicativo e a possibilidade de combinação dos aplicativos por parte do professor que o utiliza, de forma a adaptá-los à sua proposta de trabalho, à sua visão pedagógica, ao seu plano de curso e de aula, nortearam a formulação dos aplicativos aqui apresentados [Neumann 2005, Felipe 2005, Barroso 2006].

Por princípio, a granularidade proposta é a menor possível: aborda-se um único conceito de física de cada vez. Por definição, privilegia-se uma discussão conceitual deste tópico, buscando aspectos que a literatura e a prática docente indicam apresentar problemas de aprendizagem.

Na produção desses aplicativos, refletiu-se muito sobre a questão da importância da visualização no ensino de ciência. Os artigos teóricos apresentados em [Gilbert 2005] fornecem uma discussão interessante a respeito dos usos das diversas formas de visualização no ensino de ciências. Segundo [Tversky 2005], as ferramentas de aprendizagem modernas que utilizam mecanismos de visualização permitiriam ampliar a compreensão, explicação e descobertas científicas.

Há dois princípios cognitivos [Tversky 2005 e referências lá citadas] que devem ser usados no planejamento de visualizações efetivas: o Princípio da Congruência, que afirma que a estrutura e o conteúdo da visualização devem corresponder à estrutura e conteúdo mentais desejados; e o Princípio da Apreensão, que afirma que a estrutura e conteúdo da visualização devem ser fácil e

precisamente percebidos e compreendidos. Nem sempre no processo de desenvolvimento de aplicativos (na forma de animações ou simulações) esses princípios são respeitados.

O uso de objetos de aprendizagem que façam recurso intensivo de mecanismos de visualização sugerem-se como potencialmente adequados para a aprendizagem em ciências, e em particular em física. No entanto, não é garantido que o façam. Aparentemente, há necessidade de explicações verbais e discussão paralelas ao uso de aplicativos para que seu uso se torne efetivo [Tversky 2005].

Um último aspecto diz respeito à questão dos recursos de interatividade apresentados em aplicativos computacionais. De uma maneira geral, a interatividade é proposta para garantir uma participação ativa do aprendiz na construção de seu processo de aprendizagem [Bodemer et al, 2004]. Mas processos de alta interatividade também promovem uma experiência única do aprendiz durante seu contato com o material didático. Para que esta interatividade realmente permita a exploração das possibilidades do problema proposto, incluindo aspectos quase-científicos nessa exploração, é necessário refletir sobre os diversos recursos de interatividade. Esses recursos podem ser imediatos e de nível básico: apenas botões de ligar, pausar e desligar. Mas outros recursos podem e devem, em função da abordagem escolhida, ser utilizados: a escolha de parâmetros físicos, a mudança em tempo real de parâmetros do problema, entre outros. Cada um desses recursos promove um tipo de interatividade diferente com o usuário.

A PRODUÇÃO DE APLICATIVOS

O grupo de física do Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento em Ensino de Matemática e Ciências (LMC) vem produzindo aplicativos computacionais desde 2005. Desde o começo, esses aplicativos foram produzidos com os princípios descritos. Com o passar do tempo, e o desenvolvimento de uma prática de produção, certas etapas foram percebidas e sistematizadas na forma de um roteiro que facilitou o ensino destes princípios a alunos e colaboradores e agilizou a tanto a etapa de concepção quanto a de produção.

A primeira etapa na construção do aplicativo é a identificação do núcleo conceitual que será trabalhado. Esses núcleos são conceitos, não necessariamente curriculares, que da experiência em sala de aula dos autores ou da literatura disponível [Arons 1999, Tieberghien 1998] são identificados como de difícil apreensão pelos alunos.

Escolhido o núcleo ao qual vamos nos concentrar, é preciso identificar qual o diferencial que o uso de recursos multimídias interativos pode trazer ao conceito. Em geral, quando uma estratégia de visualização, explicação ou exploração pode ser implementada sem perdas utilizando recursos instrucionais mais tradicionais (material didático impresso, aula expositiva, laboratórios e outros) e eles estão disponíveis aos alunos, essas estratégias devem ser evitadas. O objetivo é explorar ao máximo o potencial e o diferencial do computador na elaboração do aplicativo. A interface computacional introduz ruídos no aprendizado e, portanto, só é justificada quando seu uso possibilita um maior acesso ao conteúdo ou o uso de novas estratégias [Bodemer 2004].

O passo seguinte é a definição de um objetivo primário do aplicativo e do público alvo. Como todo material instrucional, um objetivo instrucional deve ser uma sentença mensurável, que permita a verificação da eficácia do material no aprendizado. No caso específico de aplicativos,

definimos um objetivo primário como sendo aquele que pode ser alcançado por qualquer aluno dentro do público-alvo definido que o utilize dentro do tempo planejado para o aplicativo. Para ser um bom objeto de aprendizado, ter uma granularidade bem definida, é importante que haja apenas um objetivo primário. Objetivos secundários podem aparecer ou serem definidos. Eles são metas alcançáveis por indivíduos fora do público-alvo definido, por subgrupos do público-alvo ou públicos que utilizem o aplicativo em um escala de tempo diferente daquela projetada. A importância dos objetivos secundários é fornecer ao aluno uma experiência única no uso do aplicativo.

É importante que o aplicativo traga várias camadas de interatividade em seu uso para que facilite o aprendizado [Evans 2007; Saddik 2001]. Portanto é fundamental que sua construção inicie-se na definição dos recursos de interatividade que serão implementados. Controle da velocidade da animação ou apresentação de texto, controle de parâmetros de simulação, controle de opções de visualização, controle de situações de simulação são alguns dos exemplos possíveis de interatividade que foram explorados por nós. É desejável que cada recurso (ou conjunto de recursos) de interatividade implementado seja associado a um dos objetivos previamente definidos.

A partir dessa etapa o aplicativo começa a tomar forma propriamente dita. Definidos os recursos de interatividade, elementos multimídias (textos, imagens, filmes e sons) devem ser associados a eles. Nessa associação a contextualização é fornecida ao aplicativo de forma a aproximá-lo do mundo real. Em seguida, tais elementos devem ser esboçados, a programação necessária para interatividade precisa ser desenvolvida e finalmente associada aos elementos previamente esboçados. Em geral os elementos multimídias são mantidos como esboços até o término e teste da programação. Essa fase de programação acaba restringindo certas características, portanto é importante manter a flexibilidade.

Terminada a fase de programação, os elementos multimídias finalmente podem ser refinados, com a ajuda de um webdesigner. Este profissional também dá ao aplicativo um layout final. As características importantes desse layout final são a limpeza, clareza e fácil identificação dos recursos disponíveis. Depois de testado, o aplicativo é considerado pronto para ser aplicado a grupos de alunos e sua produção documentada.

Os aplicativos desenvolvidos pelo grupo foram organizados em um CD que está sendo distribuído (por contato direto) e estão disponíveis para acesso na página do grupo www.if.ufrj.br/~marta/aplicativos.

Um exemplo de um aplicativo desenvolvido explorando diferentes camadas de interatividade é “Aceleração, velocidade e trajetória”, como indicado na figura 1. Nesse aplicativo, o aluno escolhe a velocidade e aceleração vetoriais iniciais e as variáveis que ele deseja visualizar na tela. A seguir, ele pode variar com o mouse, à medida que a trajetória é desenhada na tela, modificar a aceleração e verificar o efeito dessa variação na trajetória e na velocidade.

Figura 1 – Aplicativo “Aceleração, velocidade e trajetória”

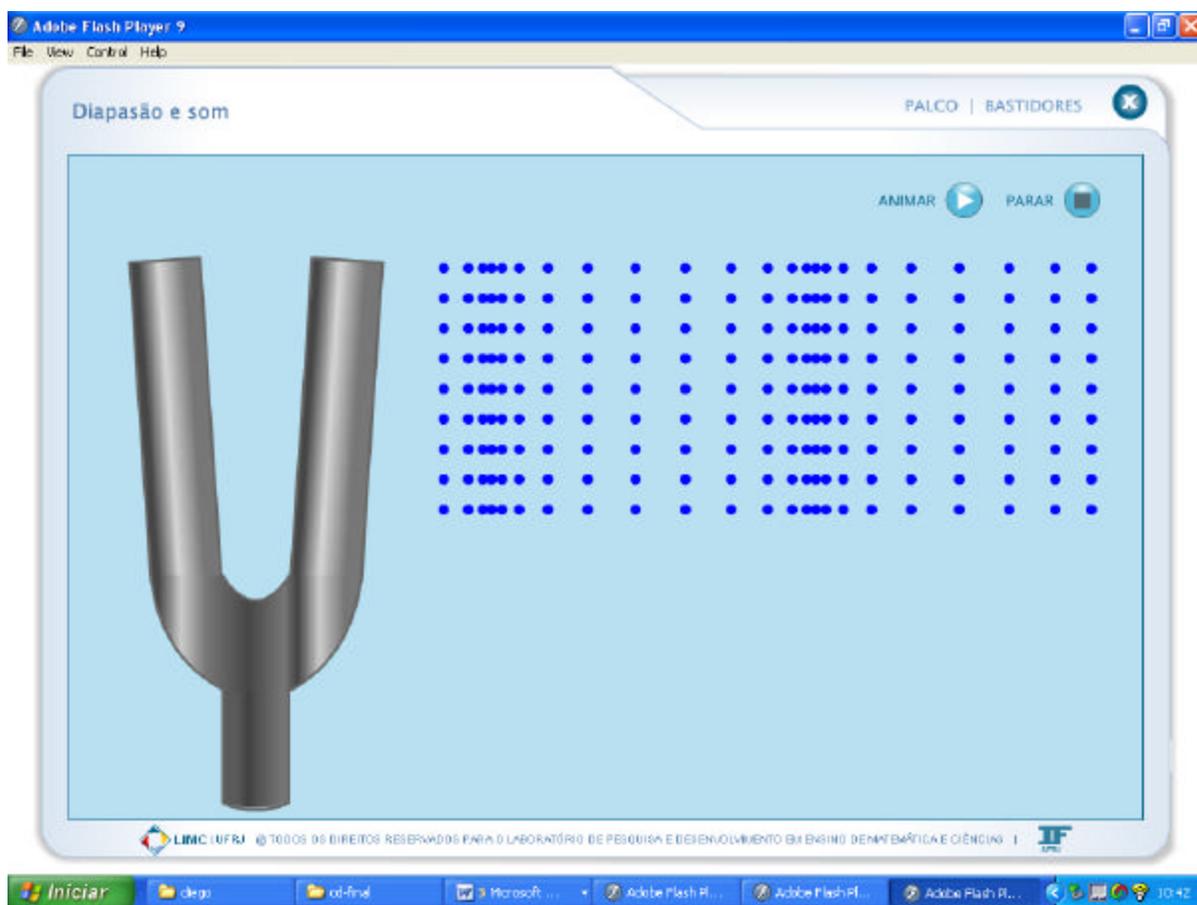


Nesse aplicativo, são trabalhados conceitos de cinemática em duas dimensões. Seu objetivo principal é diferenciar uma variação vetorial da aceleração de uma variação vetorial na velocidade (Arons 1999, capítulo 3). Podemos citar, ainda, como objetivos secundários, a visualização do efeito de uma aceleração com direção diferente da velocidade, a identificação da direção da aceleração centrípeta e a visualização vetorial e suas componentes. Como recursos de interatividade, temos a possibilidade de o aluno determinar o fluxo (quando o aplicativo começa), as características da visualização (o que será mostrado, trajetórias, componentes, etc.) e os parâmetros da animação (direção e intensidade da aceleração a cada instante e direção e intensidade da velocidade e aceleração no instante inicial).

Os pontos fortes desse aplicativo são a existências de diversas camadas de interatividade, sendo as mais importantes (interatividade na visualização e na animação) de alto grau de interatividade. Nele, há uma exploração extensa da visualização de vetores e dos efeitos das mudanças nas grandezas vetoriais utilizadas (velocidade e aceleração) e de trajetórias. Por outro lado, é um aplicativo que, sem uma orientação instrucional apropriada (seja por um guia impresso ou por um professor presencial), pode ser usado de forma inadequada, pois o aluno pode 'brincar' sem a identificação dos conteúdos pretendidos ou ainda não associar os elementos do aplicativo aos elementos pretendidos. Ou seja, ele é um objeto que não é auto-contido, depende de orientações externas para seu uso.

Um outro aplicativo, “Diapasão e som” (figura 2), contém recursos de interatividade bem simples. Nele, o aluno pode visualizar, através de um modelo, o que ocorre às moléculas de ar quando um diapasão vibra.

Figura 2 – Aplicativo “Diapasão e som”



Mesmo com poucos recursos de interatividade (e de baixo grau de interatividade) limitado pela simples controle de fluxo (inicia, interrompe e continua), o aplicativo justifica-se pela força da visualização no tópico em questão. Ele permite a imaginação de um modelo importante, abstrato, que é tornado sensível pelo seu acoplamento a um som correspondente. Seu uso é complementar, além de ser um objeto que, pela sua simplicidade, permite o uso pelos alunos mesmo sem guias instrucionais.

USO EM AMBIENTES DE APRENDIZAGEM

A produção desses materiais teve início em 2005, por necessidades vinculadas à elaboração de cursos de física a distância. No entanto, o princípio da granularidade, limpeza e da leveza dos aplicativos, estabelecido desde o início, resultou em um uso muito mais diverso do que o imaginado na concepção inicial. Por possuírem uma estrutura aberta, eles podem ser utilizados em diferentes propostas pedagógicas.

Cada aplicativo, em geral, não é auto-contido, ou seja, depende de orientações externas para o seu uso eficaz. Dependendo do ambiente e do público que utiliza o aplicativo, essa orientação pode ser feita de forma diferente e utilizando diferentes meios.

É importante frisar que os usos descritos a seguir são aqueles realizados dentro do projeto. No entanto, grande parte desses aplicativos está disponível na Internet e, portanto, sujeita ao uso espontâneo. Há relatos de uso dos aplicativos fora do projeto em escolas de ensino médio, cursos pré-vestibulares e cursos superiores.

Vários aplicativos produzidos pelo grupo (inclusive os exemplos descritos na seção anterior) foram utilizados no ensino médio presencial em diferentes ambientes. Eles foram utilizados dentro de aulas expositivas, como auxílio a demonstrações e explicações. Em laboratórios de informática, foram utilizados seguindo um guia passo-a-passo e orientação de um professor. E, através de plataformas de ensino a distância, como exercícios virtuais (com roteiros), de apoio a um curso presencial.

No ensino superior, foram utilizados em cursos presenciais de licenciatura em física, matemática e química dentro plataformas de ensino a distância, como exercícios virtuais (acompanhados de um roteiro) e dentro de questões de resolução de problemas. Também foram utilizados como material complementar em disciplinas de cursos de licenciatura na modalidade a distância. Na modalidade a distância, foram utilizados, ainda, dentro de cursos de extensão (formação continuada) e especialização de professores de física e matemática e em cursos de capacitação para cursos de produção de material didático para professores do sistema UAB e e-Tec organizados pelo MEC.

É importante frisar que, em todos esses ambientes, os guias não seguiram nenhum padrão. Os aplicativos foram inseridos dentro de materiais multimídia, foram acompanhados de questões de resolução de problema, guias passo-a-passo, orientações de uso e questões diretas.

Esse uso em diferentes ambientes, sob diferentes orientações metodológicas servem para explicitar a característica de objeto de aprendizagem desses aplicativos, servindo como ferramenta para o professor e não como molde.

Esses diferentes usos devem ser avaliados, tanto do ponto de vista da percepção de uso, aprendizagem dos alunos e interatividade e colaboração no uso. Já existem alguns resultados sobre aprendizagem [Barroso 2006] e outros estudos estão em andamento, em fase de análise.

RESULTADOS E CONCLUSÃO

A produção e desenvolvimento de materiais didáticos para o ensino de física é muitas vezes, considerado um trabalho de menor valor como pesquisa. No entanto, sem a existência dos materiais nenhum processo de avaliação pode ser bem desenvolvido. Materiais didáticos produzidos com base em idéias muito precisas a respeito dos conceitos a serem abordados, da interrelação entre conteúdo e forma, da importância da visualização em ciências, da importância dos recursos de interatividade em seus mais diversos níveis são de valor intrínseco.

Neste trabalho, apresentamos um conjunto significativo de aplicativos computacionais para o ensino de física e relatamos as concepções teóricas presentes na sua produção. Eles foram planejados como objetos de aprendizagem de baixa granularidade, com uso intenso de recursos de

visualização e interatividade. Esses aplicativos vêm sendo usados intensivamente, tanto pelo grupo que o produz quanto por usuários espontâneos (estão disponíveis na rede). Há relatos de seu uso, e análises quantitativas e qualitativas de seu uso.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com a participação de vários colegas, aos quais apresentamos nossos agradecimentos: Rodrigo Neumann, Carlos Eduardo Aguiar e Tatiana da Silva.

Foi parcialmente financiado pela Secretaria de Educação Básica – SEB/MEC e pela FAPERJ.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, C. E. C.E. Aguiar, Informática no Ensino de Física. Material didático impresso. CEDERJ, 2006. Disponível em <http://omnis.if.ufrj.br/~carlos/infoenci/notasdeaula/roteiros/aula01.pdf>, consultado em 5 de junho de 2007.
- ARONS, Arnold B. Teaching Introductory Physics. New York: John Wiley & Sons, 1999.
- BARROSO, Marta F.; FELIPE, Geraldo; SILVA, Tatiana. Aplicativos Computacionais e Ensino de Física. Atas do IX EPEF – Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2006, Londrina.
- BODEMER, Daniel et al. Daniel Bodemer et al., The active integration of information during learning with dynamic and interactive visualisations, Learning and Instruction 14, pg 325, 2004.
- EVANS, Chris e GIBBONS, Nicola J.. The interactivity effect in multimedia learning, Computers & Education 49, pg 1147, 2007.
- EZRILSON, C.M.; ALLEN, G.D.; LOVING, C.C. *Analysing Dynamic Pendulum Motion in an Interactive Online Environment Using Flash*. Science & Education 13: 437-457, 2004. Netherlands: Kluwer Academic Press.
- FELIPE, Geraldo; BARROSO, Marta F. e PORTO, Claudio M. Simulações Computacionais no Ensino de Relatividade Restrita. Anais do XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/resumos/T0171-2.pdf>, consultado em 30 de março de 2006.
- GILBERT, J. K. (ed). Visualization in Science Education, Netherlands: Springer 2005.
- NEUMANN, Rodrigo e BARROSO, Marta F. Rodrigo Neumann e Marta F. Barroso. Simulações Computacionais e Animações no Ensino de Oscilações. Anais do XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Rio de Janeiro, 2005, disponível em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/resumos/T0171-1.pdf>, consultado em 30 de março de 2006
- SADDIK, A. Interactive Multimedia Learning, Berlin: Springer 2001
- TIEBERGHIEN, Andrée; JOSSEM, E. Leonard; BAROJAS, J. (ed.). *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education – An I.C.P.E Book*. International Commission of Physics Education, 1998. Disponível em <http://curie.umd.umich.edu/TeacherPrep/57.pdf>, consultado em 01/10/2008.
- TVERSKY, B. Prolegomenon to Scientific Visualizations, in Gilbert, J.K. (ed), Visualization in Science Education, Netherlands: Springer 2005.
- WILEY, D. A.. *Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy*. In D. A. Wiley (Ed.), The Instructional Use of Learning Objects: Online Version, 2000. Disponível em <http://reusability.org/read/chapters/wiley.doc>, consultado em 25 de março de 2006.