

Título: Ambiente Colaborativo Síncrono com Medidas em Tempo Real para o Ensino de Conceitos Físicos

Modalidade: Artigo completo

Nomes dos autores: Maria Cláudia Barbosa Costa, Alex Sandro Gomes, Hugo Calazans, Erivaldo Montarroyos, Francisco Gama, Jean Alencar.

Instituições onde atuam: Centro de Informática da UFPE, Faculdade Osman Lins – FACOL, Departamento de Física da UFPE, Faculdade de Ciências Aplicadas e Sociais de Petrolina – FACAPE.

Endereços e telefones:

Maria Cláudia Barbosa Costa

Rua Muritinga, 480/Apt 12

09050040 - Santo André/SP

Tel: 11 8523 6325

Alex Sandro Gomes

Centro de Informática da UFPE

Tel +55 81 2126.8430 / Ramal 4031 - Cidade Universitária - 50732-970 - Recife

E-mail do autor responsável: mariacbcosta@gmail.com, mcbc@cin.ufpe.br

Resumo com no máximo 300 caracteres:

Apresentamos um ambiente colaborativo síncrono, concebido a partir de conceitos de CSCL (Computer Supported Collaborative Learning), capaz de realizar medidas em tempo real de grandezas físicas para o ensino dessa área. Sua interface foi desenvolvida a partir de técnicas de design da interação.

Palavras-chave (máximo 4 palavras): CSCL, Ensino de conceitos Físicos, Coleta de dados em tempo real, Interação Homem-Computador.

Ambiente Colaborativo Síncrono com Medidas em Tempo Real para o Ensino de Conceitos Físicos

Resumo. *Apresentamos um ambiente colaborativo síncrono, concebido a partir de conceitos de CSCL (Computer Supported Collaborative Learning), capaz de realizar medidas em tempo real de grandezas físicas para o ensino dessa área. Sua interface foi desenvolvida a partir de técnicas de design da interação. Os resultados obtidos aponta para a viabilidade e a eficácia do uso dessa interface na formação de professores de Física a distância.*

This work presents a synchronous collaborative environment, conceived from CSCL (Computer Supported Collaborative Learning) concepts, for the teaching of Physics. The cited environment is capable of performing real-time measures of physical quantities, and provides an interface which allows the students to discuss the results in a remote collaborative way. The conception of the interfaces was made possible through the adoption of Human-computer interaction techniques. The results obtained during the development of this project clearly indicate the efficacy of the utilization of the environment in undergraduate Physic courses.

1. Introdução

É vasta a literatura que reconhece necessidades de mudanças na forma pela qual acontece atualmente o ensino de Física tanto no nível médio como no superior [Moreira 2000], [Campanario *et al.* 1999], [Tavares 2004], [Trowbridge and McDermott 1980], [Redish 1994]. Por representar uma transformação de paradigmas, optamos por iniciar esta discussão com os novos critérios aplicados ao credenciamento de instituições educacionais, por organizações como a *Accreditation Board for Engineering and Technology* (ABET). Tais critérios mostram-se inovadores, reconhecendo as atividades experimentais como sendo elementos de fundamental importância para a atualização dos currículos [Esche 2006].

Diversos autores mostram que o uso de ambientes computacionais pode promover o desempenho de alunos no que tange à aprendizagem de Física [Thornton *et al.* 1990], [Redish 1994], [Trowbridge and McDermott 1980], [Tavares 2004]. Nesse sentido, um recurso computacional que tem se caracterizado como um novo paradigma de ensino é o sistema colaborativo síncrono, no qual é possível articular diferentes conceitos de aprendizagem, através da interação entre grupo de pessoas e do sincronismo de tarefas, numa contínua tentativa para construir e manter a concepção compartilhada de um dado problema [Dillenbourg *et al.* 1996].

Desde as últimas décadas do século XX, surge uma grande variedade de recursos computacionais com propostas de melhoria na qualidade do ensino e aprendizagem de

conceitos Físicos. No entanto, encontramos em algumas dessas propostas uma notável ausência de concepção de aprendizagem, a qual não pode ser vista como uma consequência natural da aplicação de bons materiais instrucionais. Ou seja, tais projetos são claros em mostrar como se deve ensinar Física (experimentos, demonstrações, história da área, dentre outras situações), contudo, em alguns casos, não se dá à devida importância à forma necessária de como se aprende essa mesma Física [Moreira 2000].

Visando contribuir com a melhoria dessa realidade, este trabalho visa conceber um ambiente colaborativo síncrono de aprendizagem, do tipo *Computer Supported Collaborative Learning* (CSCL), que permite realizar experimentos Físicos, com medidas de grandezas em tempo real, e num contexto de colaboração à distância, via Internet. Para o *design* do ambiente proposto foram utilizadas técnicas de *design* centrado no usuário.

Dos vários tipos de CSCL's existentes, o foco desta pesquisa abrange o *design* de um *Mirroring Systems*, sistemas que refletem as ações que o usuário *máster* realiza na interface, apresentando-as de forma síncrona para os demais usuários do ambiente. Um aluno ou o professor realiza um experimento físico. Os demais participantes do ambiente podem interagir com aquele que executa o experimento de forma a discutir os resultados obtidos ou até mesmo auxiliar na obtenção destes resultados [Jermann *et al.* 2001].

O sistema resultante desta investigação, denominado EriMont, compartilha resultados de experimentos reais e será utilizado na formação continuada de estudantes e professores de Física. O EriMont permite que duas ou mais pessoas colaborem e aprendam conceitos físicos a partir da explicação de práticas com medidas em tempo real.

2. Ensino de conceitos físicos usando experimentos: em sala de aula e a distância, pela internet

Parte significativa dos estudantes que entram em contato com a Física, tendem a julgá-la como uma disciplina de difícil compreensão. Este quadro inspirou professores da área a encarar o processo de ensinar Física como um problema científico [Redish 1994], [Tavares 2004].

É de fácil constatação na literatura disponível, que muitos estudantes acreditam que o conhecimento científico articula-se sob a forma de equações e definições a serem memorizadas, ao invés de propriamente compreendidas [Campanario *et al.* 1999]. Um número considerável de estudantes é capaz de construir gráficos, porém não sabe interpretá-los [Redish 1994]. Obstáculos deste tipo podem ser minimizados através de abordagens educacionais como a de aprendizado por descobertas. Neste tipo de abordagem dá-se ênfase à participação ativa dos alunos na aplicação dos processos científicos. A tecnologia é um facilitador para a implantação de abordagens educacionais como esta. Com a adoção de recursos computacionais, os educadores de Física podem, por exemplo, promover o aprendizado através de softwares educativos que simulem fenômenos reais [Modellus 2005], [GALILEU 2005], empregar computadores para melhorar a precisão de medições em tempo real durante um dado experimento [Mastering Physics 2006], [Vernier 2004], ou ainda, construir laboratórios virtuais [Sherman 2003].

Dada a velocidade de processamento dos computadores modernos, tornou-se possível efetuar medições em tempo real e com grande precisão. Pesquisas apontam que a utilização de computadores em experimentos laboratoriais apresenta contribuições não apenas para a compreensão, mas também para a retenção do conhecimento por parte dos alunos [Rezende *et al.* 2003]. Este ganho no entendimento se justifica pelo fato de que os estudantes se tornam sujeitos ativos no processo de aprendizagem. Situação essa fruto da utilização de ambientes computacionais que simulam situações reais, promovendo nos alunos a auto-descoberta e criando margem a discussões entre discentes e professores.

No modelo atual de sociedade, onde as novas funções individuais e os novos campos de atuação são contínuos, deve-se colocar em questão, durante a formação de um Físico, os paradigmas profissionais exigidos a sua realidade. Desse modo, o desafio é propor uma formação ampla e flexível, que desenvolva habilidades e conhecimentos necessários às expectativas atuais e à capacidade de adequação a diferentes perspectivas de atuação futura.

2.1 Concepção Pedagógica

Em ambientes de aprendizagem, a construção do conhecimento é tida como um processo social, no qual a colaboração surge a partir da concepção do desenvolvimento cognitivo, o que se traduz em condições necessárias à construção de algo ou à realização de uma tarefa, individual ou em grupo, e a contextualização dessa tarefa. Isso significa oferecer recursos para a criação e manipulação de artefatos, ao invés de oferecer conteúdos previamente organizados. O recurso tecnológico deve propiciar ao aluno o controle do processo de aprendizagem, resultando na construção do seu próprio conhecimento, com base em interpretações das experiências no mundo real [Rezende *et al.* 2003].

Resumidamente, pode-se dizer que a prática de uma teoria social concentra-se na interdependência relacional entre o agente e o mundo, nas suas atividades, em seus significados, no pensamento, no aprendizado e também no conhecimento. Além disto, enfatizar, de forma inerente e socialmente, a negociação de caráter social do significado, concentrando-se no caráter do pensamento e nas ações de pessoas e em suas atividades [Daniels 1996].

Desse modo, o mais importante é disponibilizar experiências que possam servir de base para essa construção de conhecimento, e que, além de promoverem a reflexão sobre o conteúdo, possibilitem a análise sobre o processo de construção do seu conhecimento.

Para a aprendizagem de conceitos de Física, o estudante deve entender determinado conteúdo e ser capaz de transferir o seu entendimento para um contexto geral e amplo da respectiva área e de áreas correlatas. Para isso, necessita de problemas reais e de ambientes propícios que suportem a sua explanação [Costa 2007].

3. Design da interação de ambientes colaborativos

Vários estudos na área de Engenharia de Software relatam a importância da cooperação entre usuários e desenvolvedores durante o processo de desenvolvimento de sistemas. A cooperação entre desenvolvedores e usuários deve ser gradualmente construída durante

o processo de desenvolvimento do produto. Sem uma sólida definição central de conceitos, relacionamentos e operação sistemática, dificilmente as necessidades dos usuários serão exploradas [Costa 2007].

De acordo com [Hackos and Redish 1998], tais estudos compreendem características pessoais, hábitos, capacidades físicas, limitações existentes no desenvolvimento de suas tarefas, além de forçar o *designer* a tentar descobrir os objetivos desses usuários, acompanhado da formação do seu pensamento para com as tarefas desenvolvidas, ou seja, o modelo conceitual do trabalho dos usuários e suas ferramentas. De forma mais completa, um bom *design* é aquele que consegue entender as circunstâncias nas quais os usuários devem trabalhar como um grupo, de forma colaborativa, para atingir seus objetivos [Costa 2007].

As técnicas selecionadas para o entendimento das necessidades dos usuários, do seu trabalho e do seu ambiente, durante o desenvolvimento do EriMont, serão descritas a seguir. A pretensão foi de eliminar a não coerente relevância em algum aspecto necessário ao entendimento das tarefas desenvolvidas pelos usuários. Sua escolha foi baseada na definição de [Hackos and Redish 1998], quando defendem que as técnicas de análise e apresentação dos dados irão depender da natureza destes, do conhecimento do autor para com sua aplicação e do tempo disponível para a análise.

Por se considerar necessária a formação de uma equipe interdisciplinar na elaboração de tecnologia educacional, este trabalho foi realizado por intermédio de uma parceria entre o Centro de Informática e o Departamento de Física (DF), da mesma Universidade, de forma a unir competências complementares no contexto desta pesquisa. Foi originado a partir de uma metodologia já existente nesse último centro.

3.1. Análise de Softwares Competidores

A análise de softwares competidores teve como objetivo principal identificar e analisar os requisitos comuns aos ambientes colaborativos síncronos de aprendizagem, que utilizam coletas de dados em tempo real.

3.2 Análise da Tarefa

A aplicação desta técnica está relacionada com a tarefa dos usuários no ambiente de sala de aula. A modelagem cognitiva da ação permitiu identificar informações sobre o domínio do objeto em estudo.

3.3 Entrevistas e Captura de Tela do software em uso

Essas técnicas foram utilizadas no processo de *design* dos dois experimentos físicos que compõem o EriMont. Seu intuito foi o de elucidar questões não muito claras durante a aplicação das demais técnicas, principalmente no que se refere à forma pela qual deve ser feita a leitura e processamento de dados e a negociação dos conceitos físicos.

3.4 Observação em sala de aula presencial

Para o levantamento de requisitos de ambos os experimentos, realizamos observações do tipo “investigação contextual” (Hackos e Redish, 1998). Aconteceram no laboratório de Física Experimental, onde o professor de Física utilizava o kit e os softwares.

3.5 Prototipação

Utilizamos a prototipação para desenvolver três versões preliminares à versão final do software proposto: uma em java e duas em papel.

3.6 Design Participativo

Esta técnica foi necessária para definir a segunda versão do ambiente colaborativo proposto, cuja aplicação se deu através do protótipo disponível em papel. Para isso, foram envolvidos alunos e professores de licenciatura em Física.

4. Resultados

Esta seção apresenta e discute os resultados encontrados em consequência à aplicação das técnicas de usabilidade. A seguir, veremos uma síntese de cada uma dessas etapas.

4.1. Análise de Softwares Competidores

Foram analisadas as interfaces de oito recursos tecnológicos [Kit Super Robby 2005], [LabVIEW 2006], [LabWindows 2006], [LON-CAPA 2005], [Mastering Physics2005], [MIT Physics 2005], [The LiNC 2005], [Vernier 2004], os quais foram escolhidos com base na concepção de sua proposta pedagógica, a qual se equipara à proposta pedagógica do EriMont. Como resultado de sua aplicação, foi possível identificar quinze requisitos, entre funcionais e não funcionais.

4.2 Análise da Tarefa

Para a definição da interface do EriMont, analisamos o uso dos softwares e do hardware que possibilitam a realização dos experimentos pêndulo simples e ondas estacionárias em cordas vibrantes. Trata-se de um software local, desenvolvido com a linguagem de programação *QBasic*. Sua configuração é relativamente trabalhosa, pois varia de acordo com a arquitetura do computador. A seguir apresentamos os resultados da análise para os dois experimentos.

4.2.2.1 Análise da tarefa do experimento pêndulo simples

O software responsável pela realização do experimento pêndulo simples possui interface com porta paralela do computador, a qual colabora através de um hardware para obtenção do período de oscilação de um pêndulo, em função do seu comprimento. O experimento recebe os sinais da interface de aquisição de dados, indicando que algum objeto passou pela frente do sensor. A partir desse momento calcula o instante em que um contador interno é interrompido. Desta forma, identifica-se a duração da interrupção do feixe de luz que o pêndulo promove no sensor. Essa informação permite calcular o período do pêndulo.

O usuário informa o número de períodos que será analisado. Em seguida, o sistema realiza as medidas e retorna uma média do número de períodos medidos. O software permite calcular variáveis como tempo e oscilações completadas.

4.2.2.2 Análise da tarefa do experimento ondas estacionárias em cordas vibrantes

A porta paralela do computador colabora com um hardware para gerar o sinal de áudio no alto-falante que produz as ondas estacionárias na corda que é fixa no hardware. Essas

ondas dependem de diversos parâmetros, tais como, tamanho da corda, sua densidade, e do peso que a tensiona.

A entrada do usuário no software corresponde ao valor da frequência da onda que será gerada. Em seguida, o sistema gera o sinal de áudio no alto-falante que permite a vibração da corda e o surgimento de ondas estacionárias. O software analisado permite a geração de sinal de áudio de frequência controlada pelo usuário através do teclado. Assim, o usuário pode ajustar o valor da frequência para que as ondas estacionárias na corda tenham o número de ventres desejado.

4.3 Entrevistas e Captura de Tela do software em uso

O tipo de entrevista utilizada foi a não estruturada. Os dados resultantes da aplicação dessas técnicas foram analisados através do software QDA NVivo [NVivo 2007]. O professor de Física Experimental responsável pelo desenvolvimento do hardware e software monousuário analisados foi o usuário escolhido para interagir neste momento. Foram analisadas mais de quarenta páginas de informações.

4.4 Observação em sala de aula presencial

Para os dois experimentos, seus procedimentos foram baseados nas ações do professor utilizando o kit e o software durante a realização dos experimentos. Os dois experimentos foram analisados separadamente.

A ênfase foi dada ao processo de negociação de conceitos físicos entre os participantes e à influência do uso de artefatos. Posteriormente à aplicação desta técnica, foi feita uma entrevista com o professor, de forma a esclarecer questões que ficaram obscuras com o resultado das transcrições da observação.

4.5 Prototipação

A prototipação permitiu o desenvolvimento de três versões anteriores à versão final do ambiente proposto.

4.5.1 Versão 1.0

Esta versão possibilitou a comunicação com o *hardware* necessário à realização do experimento de pêndulo simples. Os principais requisitos desenvolvidos foram: leitura de dados através da porta paralela, estrutura de *chat* [Alves 2005], interface lapidada pelas técnicas de *design*. Algumas das telas desta versão podem ser vistas abaixo.

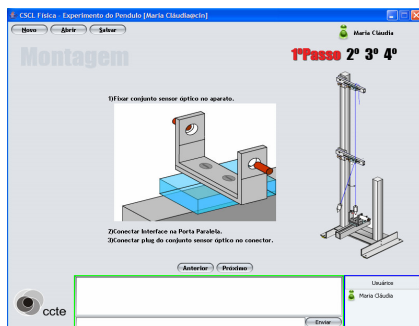


Figura 1. Gifs animados orientando os usuários a “montar” o hardware

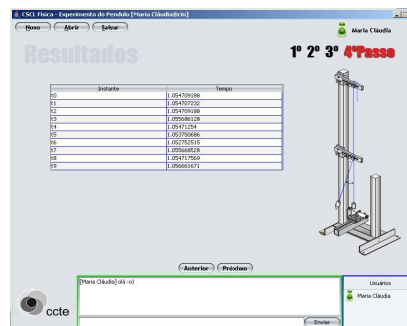


Figura 2. Tela resultante da Coleta de dados

4.6 Design Participativo

A aplicação desta técnica durou cerca de sete horas. Dividimos os participantes em grupos de duas pessoas. Alguns destes grupos eram formados exclusivamente por alunos, outros por professores, ou ainda por ambos os perfis. Como requisito computacional fundamental era necessário aos usuários apresentarem familiaridade com noções básicas de informática, ter habilidade com o sistema operacional *Windows*, saber acessar a Internet, manipular arquivos e já ter utilizado *chat* ou salas de bate papo. Algumas das telas utilizadas na aplicação desta técnica podem ser vistas abaixo.

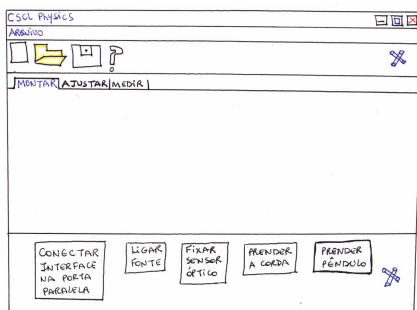


Figura 3. Opções correspondente a “montar” o hardware.

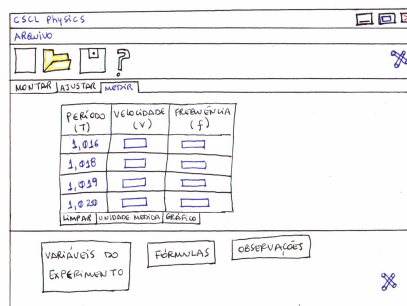


Figura 4. Tabela contendo o resultado da coleta de dados.

4.7 Prototipação em papel

Após a análise dos resultados da aplicação do *design* participativo, aplicamos a técnica de prototipação em papel. Algumas de suas telas são exibidas abaixo:

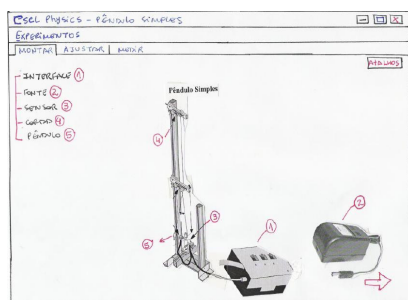


Figura 5. Aba com as opções “montar”

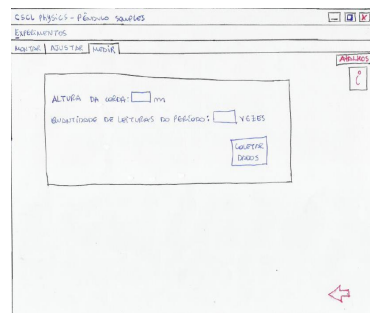


Figura 6. Aba para realizar a “medição”

Os dados analisados como resultado de sua aplicação possibilitou o *design* da interface da última versão do ambiente colaborativo proposto.

4.8 Versão final

Contém uma interface ainda mais voltada às necessidades dos usuários. Isso foi possível graças às diversas interações entre usuários e desenvolvedores, além do prévio desenvolvimento de três protótipos. A interface final é capaz de suportar a chamada de quaisquer experimentos físicos e identificar os gráficos e tabelas que representam os dados resultantes dos experimentos analisados, e ainda, disponibilizar o suporte à análise pormenorizada dos mesmos. Algumas de suas telas são mostradas abaixo.

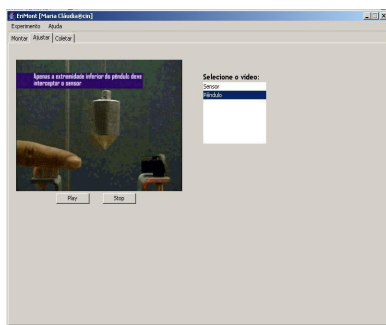


Figura 7. Instruções através de filme para “ajustar” o hardware no experimento Pêndulo Simples.

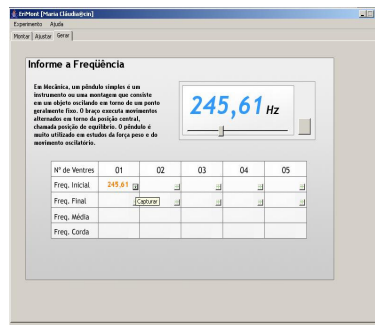


Figura 8. Controle da frequência no experimento Ondas Estacionárias em cordas vibrantes.

4.9 Teste de Usabilidade

Foi realizado um teste de usabilidade com quatro professores e quinze alunos de Física do ensino médio. Na etapa inicial, o sistema proposto foi apresentado e, em seguida, alguns conceitos fundamentais concernentes à área de educação à distância e também à disciplina de Física foram devidamente explanados. Após isso, o grupo de dezenove pessoas foi dividido em duplas, tendo cada um dos pequenos grupos ficado incumbido de realizar tarefas com a utilização do EriMont. Nesta etapa, os usuários tiveram liberdade para fazer sugestões e críticas à interface. Em seguida, todos os usuários responderam a questionários sobre a experiência obtida com o ambiente e tiveram ainda a oportunidade de fazer observações – verbalmente – acerca das dificuldades encontradas. Com base nos dados coletados, os seguintes resultados puderam ser observados: (i) a *clareza* foi avaliada de excelente a bom, apenas a percepção dos comandos foi considerada ruim; (ii) *precisão, completeza, adequação, usabilidade, funcionamento e confiabilidade* obtiveram resultados de excelente a bom; (iii) a *eficiência* foi julgada ruim; (iv) no quesito *avaliação pedagógica* a classificação alcançada foi bom. A partir destes dados, pode-se constatar que a interface do EriMont teve, de modo geral, uma avaliação positiva por parte de alunos e professores. Ao longo do teste, os alunos foram observados pelos seus professores. Foi consensual, entre os professores, a opinião de que houve uma significativa melhoria do interesse e participação dos alunos durante a prática feita com o EriMont – frente às atividades corriqueiramente realizadas nas escolas. Esse resultado demonstra a eficácia potencial do EriMont para o ensino de conceitos físicos. O teste foi realizado em três horas.

5. Conclusões

Algumas das contribuições obtidas ao final deste trabalho foram: (i) desenvolvimento dos experimentos de pêndulo simples e ondas estacionárias em cordas vibrantes; (ii) coleta de dados - em tempo real - no sistema operacional Windows XP; (iii) análise dos resultados obtidos por meio de tabelas e gráficos; (iv) construção de uma plataforma de apoio à interação síncrona entre os usuários presentes no ambiente.

6. Agradecimentos

Nossos agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), o qual apoiou para o desenvolvimento deste trabalho 507487/2004-4 e ao professor do Departamento de Física da XXX.

7. Referências

Alves, E. C. M. Design de Componentes Educacionais Síncronos. 2005. 111p. Dissertação de mestrado, Pós Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

Campanario, M. J. M., Aida, 1999, “Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas”, 17 (2), 179-192. Grupo de investigación en aprendizaje de las ciencias. Departamento de Física. Universidad de Alcalá de Henares.

Costa, M. C. B.

Dillenbourg, P., BAKER, M., BLAYE, A. & O'MALLEY, C.(1996) “The evolution of research on collaborative learning”. In E. Spada & P. Reiman (Eds) Learning in Humans and Machine: Towards an interdisciplinary learning science. (Pp. 189- 211). Oxford: Elsevier.

Esche, Sven K. “On the integration of remote experimentation into undergraduate laboratories-technical implementation”. International Journal of Instructional Media Vol. 33(1), 2006.

GALILEU, Laboratório de Experimentação. Disponível em:<http://www.nied.unicamp.br/oea/soft/galileu.html>. Acesso em 19 Fev 2006.

Hackos, J. T., Redish, J. C. User and Task Analysis for Interface Design. John Wiley & Sons, United State, 1998 .

Kit Super Robby. ARS Consult. Disponível em:

<<http://www.arsconsult.com.br/produtos/srobby/index.htm>>. Acesso em 12 Dez. 2005.

Kumar, V., “Computer Supported Collaborative Learning Issues for Research”. Eighth Annual Graduate Symposium on Computer Science, University of Saskatchewan, 1996.

LabVIEW 8.20. Disponível em: <<http://www.ni.com/labview/>>. Acesso em 15 Abr. 2006.

LabWindows/CVI 8.1. Disponível em: <<http://www.ni.com/lwcv/>>. Acesso em 02 Fev. 2006.

LON-CAPA. LearningOnline Network with CAPA. Disponível em: <<http://www.lon-capa.org>>. Acesso em 05 Jan. 2005.

Mastering Physics. Disponível em: <<http://www.masteringphysics.com>>. Acesso em 02 Jan. 2005.

- MIT Physics 8.02. Disponível em:
<http://web.mit.edu/8.02t/www/802TEAL3D/teal_tour.htm>. Acesso em 11 Fev 2005.
- Modellus. Disponível em: <<http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus>>. Acesso em 10 Jul. 2005.
- Moreira, M. A. “Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectivas”. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 22, n. 1, mar., 2000, p. 94-9.
- NVivo. Disponível em: <<http://www.qsrinternational.com>>. Acesso em 15 Jan. 2006.
- Nielsen, J. Usability Engineering. San Francisco. Morgan Kaufmann. 1993.
- Redish, E. F. “The implications of Cognitive Studies for Teaching Physics”. American Journal of Physics Vol. 62, n. 6, 796-803, 1994.
- Rezende, F., Barros, S. S.; Lopes, A. M. A., Araújo, R. S. “INTERAGE: um ambiente virtual construtivista para formação continuada de professores de física”. Cad.Bras.EnsFís., v.20, n.3: p. 372-390, dez. 2003.
- Shneiderman, Ben. “Designing the User Interface: strategies for effective human-computer-interaction”, 3rd edition.
- Sherman, Laboratório Visual. Disponível em:
<<http://www.shermanlab.com/index.php>>. Acesso em 21 Fev 2006.
- Tavares, R. “Aprendizagem significativa”. Revista Conceitos, ADUFPB, No. 10 - 2004.
- The LiNC Virtual School. Disponível em:
<http://ifets.massey.ac.nz/periodical/vol_3_2000/a03.html>. Acesso em 25 Fev. 2005.
- Thornton, R., K., Sokoloff, D. R., 1990. “Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools”. American Journal of Physics, Vol 58, Nº 9.
- Trowbridge, D. E.; McDermott, L. “Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension”. American Journal of Physics. Vol. 48, n. 12, 1020-1028, 1980.
- Vernier. Data Collection with Computers and Handhelds, Catalog 2004. Disponível em:
<<http://www.vernier.com/>>. Último acesso em Abril de 2005.