

# UMA REVISÃO DA LITERATURA SOBRE ESTUDOS RELATIVOS A TECNOLOGIAS COMPUTACIONAIS NO ENSINO DE FÍSICA<sup>1</sup>

Ives Solano Araujo

Eliane Angela Veit

Marco Antonio Moreira

Instituto de Física, UFRGS

Caixa Postal 15051,

91501-970, Porto Alegre, RS

ives@if.ufrgs.br

eav@if.ufrgs.br

moreira@if.ufrgs.br

## Resumo

Neste trabalho apresentamos os resultados de uma revisão da literatura referente ao uso de tecnologias computacionais no ensino de Física em nível médio e universitário. Os artigos foram classificados em termos das modalidades de uso do computador e dos tópicos de Física abrangidos. Pode-se observar uma grande concentração de trabalhos envolvendo simulações computacionais e uma forte predileção pela mecânica newtoniana. Pode-se também constatar que somente a metade desses artigos poderia ser classificada como de pesquisa em Ensino de Física.

**Palavras-chave:** Ensino de Física; Tecnologias computacionais; Computador no ensino de Física.

## Abstract

This paper presents a review of literature regarding the use of computational technologies in physics teaching at university and high school levels. The papers reviewed were classified in terms of their computer uses and the physics topics embraced. We can notice a considerable concentration of studies involving computer simulation and a strong preference for Newtonian mechanics. We can also notice that just half of these papers could be classified as research papers in physics education.

**Key-words:** Physics teaching; Computational technologies; Computer in physics teaching.

## 1. Introdução

Visto por muitos como um remédio para todos os males e por outros tantos como um modismo passageiro, os computadores estão onipresentes na maior parte das áreas do conhecimento humano, desde a construção de usinas atômicas à elaboração de uma simples planilha para o controle do orçamento doméstico. No ensino de Física não é diferente. Através de um motor de busca pela Internet, por exemplo, podemos encontrar milhares de propostas para inovar o ensino. Entretanto, apenas uma pequena parte destes trabalhos passou (ou passaria) pelo aval de pesquisadores e estudiosos do assunto. Apesar desta avaliação não garantir necessariamente a qualidade dos mesmos, ela serve para delimitar o vasto campo de pesquisa a ser explorado em uma revisão bibliográfica. Por este motivo, nos concentramos em trabalhos submetidos a “avaliação dos pares” como é o caso dos artigos publicados em revistas internacionais especializadas<sup>2</sup> em ensino de Ciências, ou de Física em particular. Acreditamos que saber para aonde estão sendo dirigidos os esforços e como isso vem sendo feito torna-se um conhecimento importante para futuras pesquisas na área, justificando assim esta revisão.

O objetivo de nossa revisão foi o de mapear trabalhos envolvendo o computador no ensino de Física em nível superior e médio identificando as principais modalidades pedagógicas do seu uso e os tópicos de Física escolhidos como tema em artigos publicados pelas principais revistas da área desde os anos noventa. Apesar deste trabalho compreender uma boa amostra do que se encontra na

---

<sup>1</sup> Apoio: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

<sup>2</sup> Incluindo também as três revistas: Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Revista Brasileira de Ensino de Física e Revista Enseñanza de la Física (argentina).

literatura ele de modo algum tenciona ser completo, devendo ser considerado apenas como uma primeira aproximação sobre o tema. Trabalhos de divulgação de algoritmos numéricos para a resolução de problemas específicos em Física que não estejam inseridos em uma proposta pedagógica, não foram abordados. Esclarecemos, também, que não fez parte dos objetivos desta revisão analisar criticamente os artigos aqui apresentados e tampouco esgotar o assunto.

Consultamos, a partir de 1990, os seguintes periódicos: *American Journal of Physics*, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, *Cognition and Instruction* (de 1993-2003), *Computers&Education*, *Enseñanza de las Ciencias*, *International Journal of Science Education*, *Investigações em Ensino de Ciências*, *Journal of Research in Science Teaching*, *Science Education*, *Journal of Computer Assisted Learning* (de 1997-2003), *Journal of Interactive Learning Research*, *Research in Science & Technological Education* (de 1996-2003), *Research in Science Education* (de 2001-2003), *Revista Brasileira de Ensino de Física*, *Revista Enseñanza de la Física*. Além disso, foram também utilizados o sistema ERIC (Education Resources Information Center) e as bases de dados disponíveis na rede WEB OF SCIENCE. Os artigos foram selecionados inicialmente pela presença de palavras-chave no título, seguido pela verificação no resumo, na busca por indícios de aplicações computacionais no ensino de Física. As palavras-chave<sup>3</sup> típicas utilizadas nesta busca foram combinações da palavra “Física” com, por exemplo, computador, computacional, programa, simulações, modelagem, modelos, tutoriais, multimídia, coleta de dados, internet, etc. É possível que alguns artigos abordando o tema de pesquisa desta revisão tenham ficado de fora com o uso destes critérios.

Foram revisados um total de 109 trabalhos, oito na forma de discussões e/ou revisões da literatura (cerca de 7% do total) sobre o tema e 101 artigos distribuídos entre trabalhos de pesquisa<sup>4</sup> ou propostas com avaliação empírica (cerca de 47%) e simples apresentações de propostas (cerca de 46%).

Na próxima seção apresentaremos um breve relato dos trabalhos de revisão e discussões sobre a utilização dos computadores no ensino de Física.

## **2. Discussões sobre as potencialidades de uso do computador no ensino de Física**

No início da década de 90, (Bacon, 1992) aponta como nova tendência no ensino de Física de nível universitário o uso de pacotes de *softwares* com qualidade profissional, em contraste com os programas educacionais desenvolvidos pelos próprios acadêmicos usados até então. Os programas elaborados pelos professores para as suas aulas eram comumente construídos a partir de uma linguagem de programação como FORTRAN, BASIC, Pascal ou C, e tinham como vantagem o perfeito entendimento do autor sobre o seu funcionamento. Bacon (ibid) considera que a principal vantagem didática dessas propostas residia no entusiasmo dos autores com a nova perspectiva gerada pelo uso de programas deste tipo. Passado o efeito do fator novidade com a popularização dos computadores e sendo o tempo requerido para o desenvolvimento de *softwares* superior à disponibilidade da maior parte dos professores, houve uma demanda por pacotes de programas mais flexíveis que permitissem a elaboração de materiais didáticos de modo mais fácil e de melhor qualidade. Bacon cita os pacotes matemáticos, e.g. MathCad, Symbolator; os *softwares* de simulação em eletrônica, e.g. Electronics Workbench, Labview; e alguns programas para Astronomia, e.g., *Dance of the Planets*, *Sky*, como exemplos de recursos desejados. Esse autor define três formas principais e distintas nas quais um *software* pode ser usado para melhorar o ensino de Física: 1) uso de programas demonstrativos; 2) uso de modelos computacionais; e 3) o uso de tutoriais.

---

<sup>3</sup> Usamos palavras-chave em dois idiomas, Português e Inglês.

<sup>4</sup> Contendo questões de pesquisa, revisão da literatura, referencial teórico, metodologia, análise dos resultados e conclusão.

Buscando avaliar a interação frutífera que pode ocorrer entre a pesquisa em ensino de Física e o desenvolvimento de *softwares* instrucionais, (Mcdermott, 1990) toma como exemplo o programa de simulação *Graphs and Tracks* especialmente elaborado para ajudar os alunos a superarem suas dificuldades em interpretação de gráficos da Cinemática. Em sua análise, a autora chama atenção para as seguintes necessidades:

- realização de pesquisa continuada na identificação das dificuldades dos estudantes em várias áreas da Física e também na identificação dos tópicos em que a instrução baseada no uso do computador é mais efetiva;
- desenvolvimento e teste de estratégias instrucionais, usando o computador, endereçadas às dificuldades específicas dos estudantes;
- exame preciso do que o estudante está aprendendo enquanto trabalha com o computador.

Tendo como ponto de partida o tópico modelagem no ensino de Física, (Andarolo, Donzelli & Sperandeo-Mineo, 1991) discutem o papel do computador no processo de ensino-aprendizagem, sob dois pontos de vista: como o computador pode mudar o currículo de Física e os métodos de ensino, de modo a refletir a Física como ela é conduzida hoje; e como resultados pedagógicos sobre o aprendizado do estudante podem guiar um uso mais incisivo desta tecnologia como uma ferramenta pedagógica. (Veit & Teodoro, 2002) discutem a importância da modelagem computacional no processo de ensino/aprendizagem de Física, apontando-a como uma maneira de viabilizar a implementação de algumas características-chave dos novos parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio (PCNEM) brasileiro.

De forma mais ampla, (Rosa, 1995) faz uma revisão da literatura no período compreendido entre 1979 e 1992 sobre as potencialidades do uso de computadores no ensino de Física e as formas em que eles têm sido usados, sumarizando os resultados obtidos do ponto de vista pedagógico. Esta revisão contempla revistas que tratam direta ou indiretamente com o ensino de Física, exceção feita à revista *Tecnologia Educacional* que, de uma forma mais abrangente, poderia conter algo de interesse no tema. O autor salienta que sua motivação principal é discutir a intenção com que o educador introduziu o computador no ambiente de sala de aula e analisar se houve alguma avaliação do mesmo como instrumento de ensino versus outras possibilidades acessíveis ao educador, como por exemplo, uma aula de laboratório convencional. As seguintes linhas são apresentadas como as principais potencialidades para o uso do computador no ensino de Física: coleta e análise de dados em tempo real; simulação (estática e dinâmica) de fenômenos físicos; instrução assistida por computador; administração escolar; e estudo de processos cognitivos. Dentre estas, a aplicação mais utilizada é a simulação, seguida pelo uso de computadores na coleta automática de dados e pela instrução assistida por computador. Do ponto de vista pedagógico, Rosa (ibid) concluiu que nos artigos pesquisados não existe uma preocupação efetiva com o embasamento teórico em teorias de aprendizagem. O computador foi utilizado indiscriminadamente sem que houvesse uma maior avaliação dos resultados no sentido de fornecer subsídios que respaldem a inserção desta nova tecnologia como ferramenta didática nas escolas.

Ainda dentro do mesmo tema, (Fiolhais & Trindade, 2003) apresentam uma breve resenha histórica da ascensão do uso do computador no ensino de Física discutindo superficialmente os fundamentos teóricos envolvidos neste processo e classificando as principais modalidades do uso de computadores no ensino de Ciências em geral, e em Física em particular. Os autores identificam três períodos distintos em que a aplicação da informática na escola buscou acompanhar a evolução das teorias de aprendizagem. No primeiro período, moldado pela visão de mundo behaviorista, os seguintes pressupostos foram assumidos:

- o comportamento do aluno pode ser razoavelmente previsto se forem bem conhecidos os objetivos pretendidos para o ensino e os métodos para atingi-los (Reigeluth, apud Fiolhais & Trindade, *ibid.*);
- o conhecimento que o aluno deve adquirir pode ser decomposto em módulos elementares, os quais, depois de dominados, produzem o resultado desejado (Landa, apud Fiolhais & Trindade, *ibid.*);
- a aplicação da teoria comportamentalista é confiável o suficiente para garantir a eficiência do ensino desenvolvido através de sua aplicação sistemática, sendo mesmo dispensável a intervenção do professor (Gagné, apud Fiolhais & Trindade, *ibid.*).

O segundo período, moldado pelo enfoque cognitivista, caracterizou-se pela crença de que não existem dois alunos psicologicamente iguais e que essas diferenças não podem ser ignoradas. Passou-se a enfatizar o *design* das atividades, tanto quanto o seu conteúdo.

Por fim, o terceiro período, no qual vivemos hoje, baseia-se na postura construtivista onde se assume que cada aluno constrói sua visão de mundo de acordo com suas próprias experiências individuais. Também é característica deste período a promoção da capacidade de prever qualitativamente a evolução dos fenômenos como um fator mais importante do que a manipulação de fórmulas ou outras ferramentas formais. Os autores apontam as seguintes implicações do construtivismo na concepção de ambientes de ensino (Jonassen, apud Fiolhais & Trindade, *ibid.*):

- propiciar múltiplas representações da realidade;
- apresentar tarefas contextualizadas;
- propiciar a análise de situações em ambientes reais de aprendizagem, em vez de seqüências esquemáticas.

As principais modalidades do uso de computadores no ensino de Física, para Fiolhais & Trindade (*ibid.*), são: aquisição de dados por computador; modelagem e simulação; materiais multimídia; realidade virtual; e busca de informações na internet.

Partindo da pergunta: “como usar um *software* de simulação em classes de Física?”, (Santos, Otero & Fanaro, 2000) discutem as vantagens e desvantagens didáticas do uso de um *software* de simulação em Física, estabelecendo relações com a teoria de Ausubel-Novak-Gowin e a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird de modo a dar conta da importância da visualização na construção do conhecimento. O trabalho de (Medeiros & Medeiros, 2002) busca também avaliar a real importância das animações e simulações no ensino de Física, contrastando os principais argumentos levantados pelos defensores deste tipo de atividade com os argumentos dos críticos. Os autores discutem o excesso de entusiasmo acerca das novas tecnologias, em particular das simulações computacionais, aplicadas ao ensino de Ciências, como se estas fossem uma panacéia capaz de solucionar os problemas oriundos de uma perspectiva educacional construtivista onde a atenção às dificuldades individuais dos alunos torna-se fundamental. A perda da noção da complexidade de um sistema real é apresentada como um dos riscos da utilização acrítica das simulações. Este risco é agravado na medida que o contexto de validade dos modelos não é discutido com os alunos e estes tendem a negligenciar as simplificações adotadas, acreditando que a simulação seja um espelho da realidade.

A próxima seção será destinada à delimitação das categorias usadas para a classificação dos artigos e também aos resultados de nossa revisão bibliográfica no que tange à apresentação de propostas e relatos de pesquisa envolvendo computadores no ensino de Física.

### 3. Modalidades pedagógicas do uso do computador e os tópicos de Física abordados na literatura

Classificamos os trabalhos encontrados na literatura em sete categorias, discriminadas abaixo, de acordo com os diferentes modos de aplicação do computador no ensino de Física descritos na seção anterior. Elas não são, obviamente, as únicas possíveis, inclusive alguns artigos estão inseridos em mais de uma categoria e abordam mais de um tópico específico de Física. Outros trabalhos trazem propostas abrangentes em termos de conteúdo sem especificar uma área da Física em especial, eles aparecem classificados sob o tópico **Física em geral**<sup>5</sup>. Em nossa percepção, podemos agrupar os artigos nas seguintes modalidades:

I) **Instrução e avaliação mediada pelo computador** - este modo de aplicação do computador pode ser caracterizado pelo uso de programas-tutores (tutoriais) que se adaptam às dificuldades individuais e aos sucessos de cada estudante, fornecendo instruções personalizadas em seções de interação com o indivíduo. Testes automatizados para a avaliação de concepções prévias, ou mesmo da aprendizagem, após algum tratamento também se enquadram nesta categoria. Uma das principais vantagens seria a possibilidade de atendimento individualizado ao estudante no momento em que ele ou ela sentisse necessidade.

Tópicos de Física abordados nesta categoria: **cinemática** (Andarolo, Bellomonte, Lupo & Sperandeo-Mineo, 1994; Acosta, Sánchez & Lapolli, 1999; Schiel, Dassin, Magalhães & Guerrini, 2002; Silva *et al.*, 2002), **força e movimento** (Andarolo, Bellomonte & Sperandeo-Mineo, 1997; Ravenscroft & Matheson, 2002; Silva *et al.*, 2002), **dinâmica rotacional** (Dhillon, 1997), **colisões** (Jong *et al.*, 1999), **leis de Newton** (Reif & Scott, 1999; Schiel, Dassin, Magalhães & Guerrini, 2002), **movimento de projéteis** (Steinberg, 2000), **gravitação e movimento planetário** (Schiel, Dassin, Magalhães & Guerrini, 2002; Silva *et al.*, 2002), **hidrostática** (Howe & Tolmie, 1998; Silva *et al.*, 2002), **transformações de energia** (Crosby & Iding, 1997), **eletrostática e interações coulombianas** (Kashy *et al.*, 1993), **circuitos elétricos** (Ronen & Eliahu, 1999; Nogueira, Rinaldi, Ferreira & Paulo, 2000), **teoria da relatividade** (Smith, 1995), **peso dos corpos, luz e calor** (Tsai & Chou, 2002), **formação de sombras** (Howe & Tolmie, 1998), **Física em geral** (Lewis, Harper & Wilson, 1991; Thoennessen & Harrison, 1996) e **efeito fotoelétrico** (Steinberg, Oberen & Mcdermott, 1996).

II) **Modelagem e simulação computacional** – as simulações computacionais com objetivos pedagógicos dão suporte a atividades exploratórias caracterizadas pela observação, análise e interação do sujeito com modelos já construídos. A modelagem computacional aplicada ao ensino de Física é desenvolvida em atividades expressivas, caracterizadas pelo processo de construção do modelo desde sua estrutura matemática até a análise dos resultados gerados por ele. A construção de simulações em *softwares* do tipo micromundo (e.g. *Interactive Physics*) também está inclusa nesta categoria.

Tópicos de Física abordados nesta categoria: **cinemática** (Beichner, 1990; Santos, 1991; Bellomonte & Sperandeo-Mineo, 1993; Kleer, Thielo & Santos, 1997; Jong *et al.*, 1998; Roschelle, 1998; Jimoyiannis & Komis, 2001; Yamamoto & Barbeta, 2001; Schiel, Dassin, Magalhães & Guerrini, 2002), **movimento de projéteis** (Martínez-Jiménez, Álvarez & Pedrajas, 1994; Kleer, Thielo & Santos, 1997; Santos, Cho, Araujo & Gonçalves, 2000; Steinberg, 2000; Jimoyiannis & Komis, 2001), **leis de Newton** (Kleer, Thielo & Santos, 1997; Santos, Cho, Araujo & Gonçalves, 2000; Gobara, Rosa & Piubéli, 2002; Schiel, Dassin, Magalhães & Guerrini, 2002; Veit, Mors & Teodoro, 2002), **conservação de momento e energia** (Whitelock *et al.*, 1993; Kleer, Thielo & Santos, 1997; Jong *et al.*, 1998; Neto, 2002), **movimento circular** (Kleer, Thielo & Santos, 1997;

---

<sup>5</sup> Inclui tópicos de Física Geral e de Física avançada.

Yamamoto & Barbeta, 2001), **força e movimento** (Hennessy, Twigger, Driver, O'shea, O'malley, Byard, Draper, Hartley *et al.*, 1995; Hennessy, Twigger, Driver, O'shea, O'malley, Byard, Draper, Mohamed *et al.*, 1995; Roth, 1995; Grayson & Mcdermott, 1996; Li, Borne & O'shea, 1996; Roth, Woszczyna & Smith, 1996; Andarolo, Bellomonte & Sperandeo-Mineo, 1997; Doerr, 1997; Tao & Gunstone, 1999; Yamamoto & Barbeta, 2001; Veit, Mors & Teodoro, 2002), **movimento oscilatório** (Santos, 1990; Aiello-Nicosia *et al.*, 1997; Camiletti, 2001; Camiletti & Ferracioli, 2002; Jácome, Medeiros, Corso & Lucena, 2002; Veit, Mors & Teodoro, 2002), **movimento planetário** (Barab, Hay, Barnett & Keating, 2000; Schiel, Dassin, Magalhães & Guerrini, 2002; Bakas & Mikropoulos, 2003), **movimento relativo** (Monaguan & Clement, 1999), **efeito fotoelétrico e propriedades do elétron** (Córdova, Magdaleno, Donoso & Allende', 1992; Cavalcante & Tavolaro, 2001), **radiação** (Dias, Pinheiro & Barroso, 2002), **espalhamento** (Terini, Cavalcante, Paes & Vicente, 1994; Cavalcante, Piffer & Nakamura, 2001), **transformações de energia** (Baker & Lund, 1997; Tiberghien & Vries, 1997), **força coulombiana, campo elétrico e linhas de força** (Massons *et al.*, 1993; Santos, Santos & Fraga, 2002), **teoria da relatividade** (Sastri & Ravuri, 1990), **pressão, volume e temperatura de um gás** (Bellomonte & Sperandeo-Mineo, 1993; Hsu, 2002), **peso dos corpos, luz e calor** (Tsai & Chou, 2002), **modelo cinético dos gases** (Méheut, 1997), **métodos numéricos para Física Moderna** (Redish & Wilson, 1993) e **circuitos elétricos** (Ronen & Eliahu, 2000)

III) **Coleta e análise de dados em tempo real** – a análise inclui gráficos, tabelas, cálculos estatísticos. A principal vantagem deste tipo de atividade seria livrar o aluno do trabalho árduo de anotação de dados deixando-o livre para se concentrar na compreensão dos conceitos físicos. A aproximação do aluno com atividades de laboratório é outro ponto que também pode ser destacado.

Tópicos de Física abordados nesta categoria: **cinemática** (Thornton & Sokoloff, 1990; Gonçalves, Heinrich & Sartorelli, 1991; Beichner, 1996; Preston & Good, 1996; Barbeta & Yamamoto, 2002; Schiel, Dassin, Magalhães & Guerrini, 2002; Russel, Lucas & Mcrobbie, 2003), **força e movimento** (Doerr, 1997; Magalhães, Schiel, Guerrini & Marega Jr., 2002; Mossmann, Catelli, Libardi & Damo, 2002), **leis de Newton** (Eckstein, 1990; Schiel, Dassin, Magalhães & Guerrini, 2002), **dinâmica de rotacional** (Gonçalves, Heinrich & Sartorelli, 1991; Preston & Good, 1996), **movimento oscilatório** (Kelly & Crawford, 1996; Preston & Good, 1996; Ochoa & Kolp, 1997; Souza, Sartori, Bell & Nunes, 1998; Aguiar & Laudares, 2001; Haag, 2001), **circuitos elétricos** (Maps, 1993; Preston & Good, 1996; Souza, Sartori, Bell & Nunes, 1998; Montarroyos & Magno, 2001), **fenômenos de difração** (Preston & Good, 1996), **medidas de temperatura** (Fagundes, Sartori, Catunda & Nunes, 1995; Preston & Good, 1996), **decaimento radioativo** (Preston & Good, 1996), **conservação de momento e energia** (Eckstein, 1990; Benenson & Bauer, 1993; Cavalcante, Silva, Prado & Haag, 2002), **força magnética** (Eckstein, 1990), **Física em geral** (Ribas, Souza & Santos, 1998), **movimento de projéteis** (Cavalcante & Tavolaro, 1997) e **propagação de ondas sonoras** (Barbeta & Marzzulli, 2000).

IV) **Recursos multimídia** – inclui uma grande variedade de elementos, como textos, sons, imagens, animações, vídeos e simulações. A idéia é organizar estes elementos em módulos, de modo a fornecer contextos didáticos sobre o tópico em estudo. Os módulos e os elementos estão normalmente inter-relacionados por *links*, possibilitando que o aluno interaja com o material decidindo o caminho a seguir de acordo com seus interesses. Também foram incluídos nesta categoria *softwares* para a construção de materiais didáticos multimídia.

Tópicos de Física abordados nesta categoria: **Física em geral** (Watkins, Davies, Calverley & Cartwright, 1995; Calverley, Fincham & Bacon, 1998; Rohling *et al.*, 2002), **força e movimento** (Li, Borne & O'shea, 1996; Chanlin, 2001; Kearney, Treagust, Yeo & Zadnik, 2001; Rezende, 2001; Magalhães, Schiel, Guerrini & Marega Jr., 2002), **cinemática** (Brungardt & Zollman, 1995; Jong *et al.*, 1998), **transformações de energia** (Crosby & Iding, 1997), **movimento oscilatório**

(Bacon & Swithenby, 1996), **conservação de momento e energia** (Bacon & Swithenby, 1996; Jong *et al.*, 1998) e **mudanças de estado da água** (Bolton & Every, 1990).

V) **Comunicação à distância** – inclui artigos em que o computador é usado como uma ferramenta de comunicação envolvendo o intercâmbio de informações através de mensagens eletrônicas, fóruns de discussão, troca de arquivos, conferências remotas, etc.. Artigos sobre a aplicação de avaliações à distância e a disponibilização remota de tarefas escolares estão inclusos aqui.

Tópicos de Física abordados nesta categoria: **Física em geral** (Thoennessen & Harrison, 1996), **transformações de energia** (Baker & Lund, 1997; Tiberghien & Vries, 1997), **eletrostática e interações coulombianas** (Kashy *et al.*, 1993) e **teoria da relatividade** (Smith, 1995).

VI) **Resolução algébrica/numérica e visualização de soluções matemáticas** – inclui artigos de pesquisas em ensino e/ou propostas pedagógicas envolvendo a resolução numérica ou algébrica de problemas de Física, ou ainda a representação gráfica das soluções matemáticas. No caso das soluções numéricas são empregadas linguagens de programação de alto nível como FORTRAN, C, MatLab e Pascal; nas soluções algébricas softwares como o Mapple, MathCad e o Mathematica.

Tópicos de Física abordados nesta categoria: **Física matemática** (Redish & Wilson, 1993; Domingues, 2003), **eletrostática** (Savelsbergh, Jong & Ferguson-Hessler, 2000), **equações de Maxwell** (Alves, Amaral & Neto, 2002), **mecânica geral** (Silva *et al.*, 2002), **mecânica quântica** (Kinderman, 1990), **momento de inércia** (Macedo & Macedo, 2002) e **ondas sonoras** (Bleicher, Silva, Ribeiro & Mesquita, 2002).

VII) **Estudo de processos cognitivos** – inclui os artigos voltados à pesquisa dos processos cognitivos do aluno em sua interação com o computador ou, ainda, em sua interação com os colegas ou com o professor, tendo a máquina o papel de fornecer o contexto pedagógico.

Tópicos de Física abordados nesta categoria: **cinemática** (Russel, Lucas & Mcrobbie, 2003), **força e movimento** (Grayson & Mcdermott, 1996; Tao & Gunstone, 1999; Kearney, Treagust, Yeo & Zadnik, 2001), **conservação de momento e energia** (Whitelock *et al.*, 1993), **movimento oscilatório** (Kelly & Crawford, 1996).

Dentre as modalidades identificadas anteriormente, a que mais aparece na literatura é a **modelagem e simulação computacional** (52 artigos), em segundo lugar vêm a **coleta e análise de dados em tempo real** (28 artigos) e em terceiro a **instrução e avaliação mediadas pelo computador** (22 artigos). A área da Física mais abordada foi a **Mecânica Geral** (82 artigos), seguida pelo **Eletromagnetismo** (18 artigos) e pela **Termodinâmica** (14 artigos). A Tabela 1 apresenta a distribuição de artigos por modalidade<sup>6</sup> e por áreas da Física. A soma do número de artigos por categoria (ou por área) supera o número total de artigos publicados, porque às vezes um mesmo artigo foi incluído em mais de uma categoria ou área.

**Tabela 1: Número de artigos publicados por categoria e por área da Física**

|              | Mecânica | Termodinâmica | Eletromagnetismo | Ótica | Física Moderna | N.A.* | Total |
|--------------|----------|---------------|------------------|-------|----------------|-------|-------|
| I            | 12       | 2             | 3                | 1     | 2              | 2     | 22    |
| II           | 34       | 6             | 5                | -     | 7              | -     | 52    |
| III          | 19       | 2             | 5                | 1     | -              | 1     | 28    |
| IV           | 8        | 2             | -                | -     | -              | 3     | 13    |
| V            | -        | 2             | 3                | -     | 1              | 1     | 7     |
| VI           | 3        | -             | 2                | -     | 1              | 2     | 8     |
| VII          | 6        | -             | -                | -     | -              | -     | 6     |
| <b>Total</b> | 82       | 14            | 18               | 2     | 11             | 9     |       |

\* não adotam nenhuma área (N.A.) da Física em particular.

<sup>6</sup> Não estão incluídos os artigos que discutem as potencialidades do computador no ensino, descritos na segunda seção deste trabalho.

#### 4. Conclusões

Neste trabalho, baseados em artigos publicados em revistas especializadas em ensino de Física, mapeamos os conteúdos que têm sido trabalhados com computadores, assim como as diferentes aplicações do computador, no ensino de Física em nível universitário e médio, desde o início da década de noventa.

Observamos que os trabalhos estão concentrados maciçamente em tópicos relacionados à Mecânica Newtoniana, abordada majoritariamente por meio da modelagem e simulação computacional, enquanto é baixa a escolha de tópicos relacionados à Ótica e à Física Moderna como temas de investigação/suporte.

O número total de cerca de 50 publicações classificadas como trabalhos de pesquisa ou propostas com alguma avaliação empírica é muito pequeno, se levarmos em conta o número total de publicações nestas revistas, o grande uso que tem sido feito dos computadores nas atividades de ensino e a quantidade do material instrucional disponível na *web*. Ainda que se compute os artigos que simplesmente apresentam propostas sem avaliação (cerca de 50), e os de revisão e reflexão (8), consideramos muito baixa a produção na área e entendemos necessário envidar esforços no sentido de que mais pesquisas sejam desenvolvidas neste campo ou que a atividade de desenvolvimento seja conduzida mais próxima da atividade de pesquisa. No Ensino de Física comumente confunde-se pesquisa e desenvolvimento instrucional e isso pode estar ocorrendo novamente na área das tecnologias computacionais aplicadas ao Ensino de Física. No passado era comum confundir-se a produção de equipamento de laboratório ou a produção de livros e vídeos didáticos com pesquisa em ensino de Física. Agora a confusão pode estar na produção de *softwares*, ambientes virtuais e outros recursos computacionais. Se assim for, podemos estar testemunhando, outra vez, um grande desperdício de esforços e entusiasmo. Não se melhora o ensino simplesmente produzindo novos e sofisticados recursos instrucionais. O desenvolvimento instrucional deve estar acoplado à pesquisa em ensino ou, pelo menos, levar em conta o conhecimento produzido pela pesquisa em ensino e os enfoques teóricos sobre aprendizagem compartilhados pela comunidade de educadores e pesquisadores em Ensino de Física. Usar tecnologias computacionais no Ensino de Física sem, pelo menos, um referencial teórico sobre aprendizagem, sem, no mínimo, uma concepção teórica sobre como o sujeito aprende, pode ser um erro igual ao já cometido com os equipamentos, livros, vídeos e outros recursos instrucionais.

Outra constatação, que não chega a surpreender, de nossa revisão da literatura é a acentuada predominância da Mecânica Newtoniana no que se refere ao conteúdo envolvido. Grande parte da pesquisa e do desenvolvimento instrucional em Ensino de Física, no passado, foi dedicada a esse conteúdo e, no presente, continua sendo. Ainda que a tecnologia seja de última geração o conteúdo é de séculos atrás. É claro que a Mecânica é importante. É claro que a Mecânica é uma grande herança científica que temos. Mas será que a Física é só Mecânica? Será que só sabemos Mecânica? E o Eletromagnetismo, a Ótica, a Termodinâmica, a Relatividade, a Mecânica Quântica, ...? Será que o ensino da Física tem que necessariamente começar pela Mecânica? Nos parece que as respostas a estas perguntas passam por uma reformulação do currículo de Física nas escolas e as tecnologias computacionais, diferentemente do que sugerem os resultados de nossa revisão da literatura, podem ter um papel importante nesse processo.

## 5. Referências bibliográficas

- ACOSTA, G. J. D., SÁNCHEZ, F. P. & LAPOLLI, A. L. Tutorial de cinemática: resultados teóricos do processo de investigação. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 21, n.1, p.91-94, mar. 1999.
- AGUIAR, C. E. & LAUDARES, F. Aquisição de dados usando LOGO e a porta de jogos do PC. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n.4, p.371-380, dez. 2001.
- AIELLO-NICOSIA, M. L., *et al.* Teaching mechanical oscillations using an integrated curriculum. **International Journal of Science Education**, London, v. 19, n.8, p.981-995, 1997.
- ALVES, D. T., AMARAL, J. V. & NETO, J. F. M. Aprendizagem de eletromagnetismo via programação e computação simbólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n.2, p.201-213, jun. 2002.
- ANDAROLO, G., BELLOMONTE, L., LUPO, L. & SPERANDEO-MINEO, R. M. Construction and validation of a computer-based diagnostic module on average velocity. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 31, n.1, p.53-63, 1994.
- ANDAROLO, G., BELLOMONTE, L. & SPERANDEO-MINEO, R. M. A computer-based learning environment in the field of newtonian mechanics. **International Journal of Science Education**, London, v. 19, n.6, p.661-680, 1997.
- ANDAROLO, G., DONZELLI, V. & SPERANDEO-MINEO, R. M. Modelling in Physics teaching the role of computer simulation. **International Journal of Science Education**, London, v. 13, n.3, p.243-254, 1991.
- BACON, R. A. The use of computers in the teaching of Physics. **Computers & Education**, Great Britain, v. 19, n.1, p.57-66, 1992.
- BACON, R. A. & SWITHENBY, S. A strategy for the integration of IT-LED methods into Physics - the STOMP approach. **Computers & Education**, Great Britain, v. 26, n.1, p.135-141, 1996.
- BAKAS, C. & MIKROPOULOS, T. A. Design of virtual environments for the comprehension of planetary based on students' ideas. **International Journal of Science Education**, London, v. 25, n.8, p.949-967, 2003.
- BAKER, M. & LUND, K. Promoting reflective interactions in a CSCL environment. **Journal of Computer Assisted Learning**, Oxford, v. 13, p.175-193, 1997.
- BARAB, S. A., HAY, K. E., BARNETT, M. & KEATING, T. Virtual solar system project: building understanding through model building. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 37, n.7, p.719-756, 2000.
- BARBETA, V. B. & MARZZULLI, C. R. Experimento didático para determinação da velocidade de propagação do som no ar, assistido por computador. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 22, n.4, p.447-455, dez. 2000.
- BARBETA, V. B. & YAMAMOTO, I. Desenvolvimento e utilização de um programa de análise de imagens para o estudo de tópicos de mecânica clássica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n.2, p.158-167, jun. 2002.

BEICHNER, R. J. The effect of simultaneous motion presentation and graph generation in a kinematics lab. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 27, n.8, p.803-815, Nov. 1990.

\_\_\_\_\_. The impact of video motion analysis on kinematics graph interpretation skills. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 64, n.10, p.1272-1277, Oct. 1996.

BELLOMONTE, L. & SPERANDEO-MINEO, R. M. Mathematical modelling of data: software for pedagogy. **Computers & Education**, Great Britain, v. 21, n.3, p.263-269, 1993.

BENENSON, W. & BAUER, W. Frame grabbing techniques in undergraduate Physics education. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 61, n.9, p.848-851, Sep. 1993.

BLEICHER, L., SILVA, M. M. D., RIBEIRO, J. W. & MESQUITA, M. G. Análise e simulação de ondas sonoras assistidas por computador. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n.2, p.129-133, jun. 2002.

BOLTON, J. P. R. & EVERY, I. The water videodisc: a problem-solving environment. **Computers & Education**, Great Britain, v. 15, n.1, p.165-172, 1990.

BRUNGARDT, J. B. & ZOLLMAN, D. Influence of interactive videodisc instruction using simultaneous-time analysis on kinematics graphing skills of high schools Physics students. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 32, n.8, p.855-869, 1995.

CALVERLEY, G., FINCHAM, D. & BACON, D. Modernisation of a traditional Physics course. **Computers & Education**, Great Britain, v. 31, p.151-169, 1998.

CAMILETTI, G. A utilização da modelagem computacional quantitativa no aprendizado exploratório de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n.2, p.214-228, ago. 2001.

CAMILETTI, G. & FERRACIOLI, L. A utilização da modelagem computacional semiquantitativa no estudo do sistema mola-massa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n.2, p.110-123, jun. 2002.

CAVALCANTE, M. A., PIFFER, A. & NAKAMURA, P. O uso da internet na compreensão de temas de Física moderna para o ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n.1, p.108-112, mar. 2001.

CAVALCANTE, M. A., SILVA, E. D., PRADO, R. D. & HAAG, R. O estudo de colisões através do som. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n.2, p.150-157, jun. 2002.

CAVALCANTE, M. A. & TAVOLARO, C. R. C. Estudo do lançamento horizontal utilizando o computador para aquisição e análise de dados. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 14, n.3, p.276-287, dez. 1997.

\_\_\_\_\_. Uma oficina de Física moderna que vise a sua inserção no ensino médio. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n.3, p.298-316, dez. 2001.

CHANLIN, L. Formats and prior knowledge on learning in a computer-based lesson. **Journal of Computer Assisted Learning**, Oxford, v. 17, p.409-419, 2001.

CÓRDOVA, R. S., MAGDALENO, J. C. M., DONOSO, E. L. & ALLENDE', R. G. Simulación computacional de experiencias de Física moderna. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n.2, p.147-151, ago. 1992.

CROSBY, M. E. & IDING, M. K. The influence of a multimedia Physics tutor and user differences on the development of scientific knowledge. **Computers & Education**, Great Britain, v. 29, n.23, p.127-136, 1997.

DHILLON, A. S. An interactive system for learning rotational dynamics. **Journal of Computer Assisted Learning**, Oxford, v. 13, p.59-67, 1997.

DIAS, N. L., PINHEIRO, A. G. & BARROSO, G. C. Laboratório virtual de Física nuclear. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n.2, p.232-236, jun. 2002.

DOERR, H. M. Experiment, simulation and analysis: an integrated instructional approach to the concept of force. **International Journal of Science Education**, London, v. 19, n.3, p.265-282, 1997.

DOMINGUES, M. O. Introdução a programas físico-matemáticos livres. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n.2, p.148-156, jun. 2003.

ECKSTEIN, S. G. Verification of fundamental principles of mechanics in the computerized student laboratory. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 58, n.10, p.909-915, Oct. 1990.

FAGUNDES, D., SARTORI, J., CATUNDA, T. & NUNES, L. A. O. Usando a porta paralela do micro PC. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 17, n.2, p.196-295, jun. 1995.

FIOLHAIS, C. & TRINDADE, J. Física no computador: o computador como uma ferramenta no ensino e na aprendizagem das Ciências Físicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n.3, p.259-272, set. 2003.

GOBARA, S. T., ROSA, P. R. S. & PIUBÉLI, U. G. Estratégias para utilizar o programa Prometeus na alteração das concepções em mecânica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n.2, p.134-145, jun. 2002.

GONÇALVES, W. M., HEINRICH, A. F. & SARTORELLI, J. C. Aquisição de dados com a porta de jogos de microcomputadores Apple. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 13, p.63-76, dez. 1991.

GRAYSON, D. J. & MCDERMOTT, L. C. Use of the computer for research on student thinking in Physics. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 64, n.5, p.557-564, May 1996.

HAAG, R. Utilizando a placa de som do micro PC no laboratório didático de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n.2, p.176-183, jun. 2001.

HENNESSY, S., *et al.* Design of a computer-augmented curriculum for mechanics. **International Journal of Science Education**, London, v. 17, n.1, p.75-92, 1995.

\_\_\_\_\_. A classroom intervention using a computer-augmented curriculum for mechanics. **International Journal of Science Education**, London, v. 17, n.2, p.189-206, 1995.

- HOWE, C. & TOLMIE, A. Computer support for learning in collaborative contexts: prompted hypothesis testing in Physics. **Computers & Education**, Great Britain, v. 30, n.3, p.223-235, 1998.
- HSU, Y.-S. The impacts of a web-aided instructional simulation on science learning. **International Journal of Science Education**, London, v. 24, n.9, p.955-979, 2002.
- JÁCOME, S. S. B., MEDEIROS, F. F. D., CORSO, G. & LUCENA, L. S. Visualizando os modos normais de vibração com o computador. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n.2, p.214-220, jun. 2002.
- JIMOYIANNIS, A. & KOMIS, V. Computer simulations in Physics teaching and learning: a case study on students' understanding of trajectory motion. **Computers & Education**, Great Britain, v. 36, p.183-204, 2001.
- JONG, T. D., *et al.* Self-directed learning in simulation-based discovery environments. **Journal of Computer Assisted Learning**, Oxford, v. 13, n.14, p.235-246, 1998.
- \_\_\_\_\_. The integration of computer simulation and learning support: an example from the Physics domain of collisions. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 36, n.5, p.597-615, 1999.
- KASHY, E., *et al.* CAPA - An integrated computer-assisted personalized assignment system. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 61, n.12, p.1124-1130, Dec. 1993.
- KEARNEY, M., TREAGUST, D. F., YEO, S. & ZADNIK, M. G. Student and teacher perceptions of the use of multimedia supported predict-observe-explain tasks to probe understanding. **Research in Science Education**, Netherlands, v. 31, p.589-615, 2001.
- KELLY, G. J. & CRAWFORD, T. Students' interaction with computer representations: analysis of discourse in laboratory groups. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 33, n.7, p.693-707, 1996.
- KINDERMAN, J. V. A computing laboratory for introductory quantum mechanics. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 58, n.6, p.568-573, Jun. 1990.
- KLEER, A. A., THIELO, M. R. & SANTOS, A. C. K. A Física utilizada na investigação de acidentes de trânsito. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 14, n.2, p.160-169, ago. 1997.
- LEWIS, R. A., HARPER, B. M. & WILSON, M. Computer assignments and problems classes for Physics students. **Computers & Education**, Great Britain, v. 16, n.4, p.349-362, 1991.
- LI, Y., BORNE, I. & O'SHEA, T. A scenario design tool for helping students learn mechanics. **Computers & Education**, Great Britain, v. 26, n.1, p.91-99, 1996.
- MACEDO, H. T. & MACEDO, C. A. Propriedades mecânicas e geométricas de objetos homogêneos delgados e poligonais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n.2, p.196-200, jun. 2002.
- MAGALHÃES, M. G. M., SCHIEL, D., GUERRINI, I. M. & MAREGA JR., E. Utilizando tecnologia computacional na análise quantitativa de movimentos: uma atividade para alunos do ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n.2, p.97-102, jun. 2002.

- MAPS, J. A computer-based data acquisition laboratory for undergraduates. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 61, n.7, p.651-655, Jul. 1993.
- MARTÍNEZ-JIMÉNEZ, P., ÁLVAREZ, J. L. & PEDRAJAS, A. P. Simulación mediante ordenador de movimientos bidimensionales en medios resistentes. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 12, n.1, p.30-38, 1994.
- MASSONS, J., *et al.* Electrostática y EAO: una experiencia de simulación. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 11, n.2, p.179-183, 1993.
- MCDERMOTT, L. C. Research and computer-based instruction: opportunity for interaction. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 58, n.5, p.452-462, May 1990.
- MEDEIROS, A. & MEDEIROS, C. F. D. Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n.2, p.77-86, 2002.
- MÉHEUT, M. Designing a learning sequence about a pre-quantitative kinetic model of gases: the parts played by questions and by a computer-simulation. **International Journal of Science Education**, 1997, v. 19, n.6, p.647-660, 1997.
- MONAGUAN, J. M. & CLEMENT, J. Use of a computer simulation to develop mental simulations for understanding relative motion concepts. **International Journal of Science Education**, London, v. 21, n.9, p.921-944, 1999.
- MONTARROYOS, E. & MAGNO, W. C. Aquisição de dados com a placa de som do computador. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n.1, p.57-112, mar. 2001.
- MOSSMANN, V. L. D. F., CATELLI, K. B. D. M. F., LIBARDI, H. & DAMO, I. S. Determinação dos coeficientes de atrito estático e cinético utilizando-se a aquisição automática de dados. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n.2, p.146-128, jun. 2002.
- NETO, O. N. Soluções eletrônicas para cálculos de velocidade em acidentes de trânsito. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n.2, p.124-128, 2002.
- NOGUEIRA, J. D. S., RINALDI, C., FERREIRA, J. M. & PAULO, S. R. D. Utilização do computador como instrumento de ensino: uma perspectiva de aprendizagem significativa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 22, n.4, p.517-522, dez. 2000.
- OCHOA, O. R. & KOLP, N. F. The computer mouse as a data acquisition interface: application to harmonic oscillators. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 65, n.11, p.1115-1118, Nov. 1997.
- PRESTON, D. W. & GOOD, R. H. Computers in the general Physics laboratory. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 64, n.6, p.766-772, Jun. 1996.
- RAVENSCROFT, A. & MATHESON, M. P. Developing and evaluating dialogue games for collaborative e-learning. **Journal of Computer Assisted Learning**, Oxford, v. 18, p.93-101, 2002.
- REDISH, E. F. & WILSON, J. M. Student programming in the introductory Physics course: M.U.P.P.E.T. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 61, n.3, p.222-232, Mar. 1993.

- REIF, F. & SCOTT, L. A. Teaching scientific thinking skills: students and computers coaching each other. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 67, n.9, p.819-831, Sep. 1999.
- REZENDE, F. Desenvolvimento e avaliação de um sistema hipermídia para facilitar a reestruturação conceitual em mecânica básica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n.2, p.197-213, 2001.
- RIBAS, R. V., SOUZA, A. F. & SANTOS, N. Um sistema de aquisição de dados de baixo custo para o laboratório didático. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 20, n.3, p.293-295, 1998.
- ROHLING, J. H., *et al.* Produção de filmes didáticos de curta metragem e CD-ROMs para o ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n.2, p.168-175, jun. 2002.
- RONEN, M. & ELIAHU, E. Simulation as a home learning environment - student's views. **Journal of Computer Assisted Learning**, Oxford, v. 15, p.258-268, 1999.
- \_\_\_\_\_. Simulation - a bridge between theory and reality: the case of electric circuits. **Journal of Computer Assisted Learning**, Oxford, v. 16, p.14-26, 2000.
- ROSA, P. R. S. O uso de computadores no ensino de Física. Parte I: potencialidades e uso real. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 17, n.2, p.182-195, Jun. 1995.
- ROSCHELLE, J. Beyond romantic versus sceptic: a microanalysis of conceptual change in kinematics. **International Journal of Science Education**, London, v. 20, n.9, p.1025-1042, 1998.
- ROTH, W.-M. Affordances of computers in teachers-student interactions: the case of Interactive Physics™. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 32, n.4, p.329-347, 1995.
- ROTH, W.-M., WOSZCZYNA, C. & SMITH, G. Affordances and constraints of computers in Science Education. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 33, n.9, p.995-1017, 1996.
- RUSSEL, D. W., LUCAS, K. B. & MCROBBIE, C. J. The role of the microcomputer-based laboratory display in supporting the construction of new understandings in kinematics. **Research in Science Education**, Netherlands, v. 33, p.217-243, 2003.
- SANTOS, A. C. K. Modelamento computacional através do Sistema de Modelamento Celular (CMS): alguns aspectos. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 7, n.1, p.31-39, abr. 1990.
- \_\_\_\_\_. Alguns aspectos do uso do sistema de modelamento IQON no ensino de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 8, n.2, p.106-117, ago. 1991.
- SANTOS, A. C. K., CHO, Y., ARAUJO, I. S. & GONÇALVES, G. P. Algumas possibilidades de utilização dos princípios de sistemas de Forrester em tópicos de física, através da ferramenta de modelagem quantitativa STELLA. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n.16, p.81-95, abr. 2000.
- SANTOS, A. V. D., SANTOS, S. R. D. & FRAGA, L. M. Sistema de realidade virtual para simulação e visualização de cargas pontuais discretas e seu campo elétrico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n.2, p.185-195, jun. 2002.

- SANTOS, G., OTERO, M. R. & FANARO, M. D. L. A. ¿Cómo usar software de simulación en clases de Física? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n.1, p.50-66, abr. 2000.
- SASTRY, G. P. & RAVURI, T. R. Modeling some two-dimensional relativistic phenomena using an educational interactive graphics software. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 58, n.11, p.1066-1072, Nov. 1990.
- SAVELSBERGH, E. R., JONG, T. D. & FERGUSON-HESSLER, M. G. M. Learning Physics with a computer algebra system. **Journal of Computer Assisted Learning**, Oxford, v. 16, p.229-242, 2000.
- SCHIEL, D., DASSIN, J., MAGALHÃES, M. G. M. & GUERRINI, I. M. High school Physics instruction by way of the World Wide Web: a brazilian case study. **Journal of Interactive Learning Research**, London, v. 13, n.4, p.293-309, 2002.
- SILVA, W. P., *et al.* Apresentação do software educacional "Vest21 Mecânica". **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n.2, p.221-231, jun. 2002.
- SMITH, R. C. Teaching Physics on line. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 63, n.12, p.1090-1096, Dec. 1995.
- SOUZA, D. F. D., SARTORI, J., BELL, M. J. V. & NUNES, L. A. O. Aquisição de dados e aplicações simples usando a porta paralela do micro PC. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 20, n.4, p.413-422, dez. 1998.
- STEINBERG, R. N. Computers in teaching science: to simulate or not to simulate? **Physics Education Research, American Journal of Physics**, Woodbury, v. 68, n.7, p.S37-S41, Jul. 2000.
- STEINBERG, R. N., OBEREN, G. E. & MCDERMOTT, L. C. Development of a computer-based tutorial on the photoelectric effect. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 64, n.11, p.1370-1379, Nov. 1996.
- TAO, P.-K. & GUNSTONE, R. F. The process of conceptual change in force and motion during computer-supported Physics instruction. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 36, n.7, p.859-882, 1999.
- TERINI, R. A., CAVALCANTE, M. A., PAES, C. E. D. B. & VICENTE, V. E. J. D. S. Utilização de métodos computacionais no ensino: a experiência de Geiger e Marsden do espalhamento de partículas alfa. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 11, n.1, p.33-42, abr. 1994.
- THOENNESSEN, M. & HARRISON, M. J. Computer-assisted assignments in a large Physics class. **Computers & Education**, Great Britain, v. 27, n.2, p.141-147, 1996.
- THORNTON, R. K. & SOKOLOFF, D. R. Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 58, n.9, p.858-867, Sep. 1990.
- TIBERGHIE, A. & VRIES, E. D. Relating characteristics of teaching situations to learner activities. **Journal of Computer Assisted Learning**, Oxford, v. 13, p.163-174, 1997.

- TSAI, C. C. & CHOU, C. Diagnosing students' alternative conceptions in Science. **Journal of Computer Assisted Learning**, Oxford, v. 18, p.157-165, 2002.
- VEIT, E. A., MORS, P. M. & TEODORO, V. D. Ilustrando a segunda lei de Newton no século XXI. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n.2, p.176-184, jun. 2002.
- VEIT, E. A. & TEODORO, V. D. Modelagem no ensino/aprendizagem de física e os novos parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n.2, p.87-96, jun. 2002.
- WATKINS, J., DAVIES, J., CALVERLEY, G. & CARTWRIGHT, T. Evaluation of a Physics multimedia resource. **Computers & Education**, Great Britain, v. 24, n.2, p.83-88, 1995.
- WHITELOCK, D., *et al.* Challenging models of elastic collisions with a computer simulation. **Computers & Education**, Great Britain, v. 20, n.1, p.1-9, 1993.
- YAMAMOTO, I. & BARBETA, V. B. Simulações de experiências como ferramenta de demonstração virtual em aulas de teoria de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n.2, p.215-225, jun. 2001.