

# Uma Revisão da Literatura Sobre Estudos Relativos a Aplicação de Softwares no Estudo de Circuitos Elétricos Básicos no Período de 1979 a 2010

A literature review of studies concerning the Application of Software in the Study of basic electrical circuits in the period 1979 to 2010

**Luís Paulo Basgalupe Moreira<sup>1</sup>**  
**Agostinho Serrano<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Federal Sul-rio-grandense/lp-rs@pelotas.ifsul.edu.br

<sup>2</sup>Universidade Luterana do Brasil/ asandraden@gmail.com

## **Resumo**

Esta revisão bibliográfica tem por objetivo fundamental fazer uma pequena apresentação da informação disponível nos periódicos de Ensino de Ciências e matemática sobre os trabalhos desenvolvidos sobre o tema de circuitos elétricos básicos e simples, seja a nível fundamental, médio ou superior. Em um primeiro momento coletamos os principais objetivos de cada trabalho. Verificamos ainda a aplicabilidade em sala de aula e buscamos, principalmente, verificar as atividades em que estivessem presentes simultaneamente atividades virtuais. Embora se saiba que existem inúmeras atividades envolvendo simulações computacionais em Física, estas não estão muito presentes no estudo dos circuitos elétricos básicos.

**Palavras chave: circuitos elétricos, simulação, revisão bibliográfica, ensino de física, experimentos virtuais**

## **Abstract**

This literature review aims to present the available information in the science and mathematical teaching community of papers on the theme of simple electrical circuits, whether at primary, secondary or college education levels. Initially we analyzed the main objectives of each paper. We find further applicability in the classroom and seek mainly to check the activities that were simultaneously present virtual activities. Although it is known that there are numerous activities involving computer simulations in physics, these are not very present in the study of simple electric circuits.

**Key words: electrical circuits, simulation, literature review, physical education, virtual experiments**

## **Introdução**

Nosso interesse neste trabalho é verificar como evoluiu junto com os computadores pessoais o estudo da física envolvendo o conteúdo de circuitos elétricos com o uso desta ferramenta. Consideraremos a evolução dos softwares como sendo a principal meta de nossa revisão da literatura. Consultamos, a partir de 1979, os seguintes periódicos: Dentro do país selecionamos o Caderno Brasileiro de Ensino de Física, a Revista Brasileira de Ensino de Física, a Investigações em Ensino de Ciências, e a Revista Brasileira de Informática na Educação. Selecionamos também alguns periódicos internacionais de renome como: o International Journal of Electrical Engineering Education, o Journal of Circuits, o Systems & Computers, o Computers & Education, o American Journal of Physics, o International Journal of Science Education, o Computers in Education Division of ASEE, o Research in Science Education, o Journal of Science Teacher Education, o Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching, o Journal of Science Education and Technology, o International Journal of Online Engineering, o International Journal of Computer Applications, o Transactions on Education, a Nuclear Science, o Contributions from Science Education Research, e finalmente o periódico Science & Education.

Os aspectos que foram destacados nas referências consultadas foram:

- Trabalhar com o conteúdo de circuitos elétricos
- Simulação envolvendo circuitos elétricos simples
- Utilização de algum tipo de software
- Publicações entre os anos de 1979 a 2010
- Relevância com ensino de Física

Foi levado em conta na pesquisa os tipos de circuitos tratados. Estamos em busca de trabalhos realizados envolvendo apenas circuitos elétricos básicos e simples. Fizemos tal escolha levando em consideração que existem muitos trabalhos utilizando softwares de simulação que são voltados especificamente à área das Engenharias. Embora não tenha sido objeto desta pesquisa constatamos que existe um número muito grande de trabalhos, principalmente na área da eletrônica, trabalhando com circuitos bem mais complexos. Sendo assim todos os trabalhos que aparecem com utilização de software com aplicação em circuitos básicos e simples foram levantados, uma vez que softwares podem ter utilizações múltiplas. Se o software foi utilizado com um fim não quer dizer necessariamente que não pode ser utilizado com outros. Não será levado em consideração se as atividades podem ser aplicadas com os computadores atuais e com sistemas operacionais atuais. Não será discutido neste trabalho o conceito de um software de física, mas sim buscamos os que podem de alguma maneira contribuir para a aprendizagem dos circuitos elétricos utilizando como ferramenta um microcomputador. Por exemplo, uma planilha eletrônica não é considerado um software de física, mas pode ser utilizado com tal finalidade. Buscamos ver a evolução dos softwares utilizados de acordo com a evolução dos computadores pessoais. Nossa meta era a de encontrar os softwares relacionados a simulação que foram motivo de pesquisa no período de 1979 a 2010. Consideramos o início do nosso levantamento em 1979 por se tratar da época que os computadores começaram a se tornar acessíveis para as populações. Com isto seria possível que houvesse algum estudo voltado a utilização de qualquer software, por mais simples que este fosse e por menor que fosse a produção das pesquisas.

## **Aspectos Pesquisados**

Vamos separar o estudo por períodos de acordo com a concentração dos trabalhos encontrados. Desta forma conseguimos verificar a evolução da produção na área pesquisada ao longo do tempo.

### **Período de 1979 a 1989**

W. G. Magnuson em 1982 apresentou *Circuit analysis and simulation programs: An overview*. O documento pretende ser uma descrição tutorial do desenvolvimento de programas de análise utilizado para a análise digital e analógico de circuitos elétricos. A anatomia de programas simuladores de circuitos, as técnicas de formulação, análise e procedimentos e de solução também são abordados.

Y. P. Wei em 1982 escreveu *Large-scale circuit simulation* [ph.D. thesis]. Pretendia mostrar neste trabalho que a simulação de VLSI (Very Large Scale Integration) com circuitos vai além da capacidade dos simuladores de circuito convencionais como SPICE. O objetivo de desenvolver em grande escala de simulação com circuitos é fazer a ponte entre a simulação de circuitos convencionais e de simulação lógica. Os métodos desenvolvidos foram implementados em um programa de simulação PREMOS que podia ser usado como uma ferramenta de verificação do projeto para circuitos MOS.

Em 1984 aparece o trabalho de William R Moore e Robert L Baxter com o título *Interactive Computer Graphics: A Powerful Tool for Technical Education* em que é discutido o uso do computador para resolução de exercícios gráficos com alunos de engenharia elétrica. Discute o uso de computação gráfica interativa no desenvolvimento de exercícios de estudantes em vários conceitos.

### **Período de 1990 a 1999**

*Computer Aided Systems Theory – Eurocast '91*, de Thomas Beth, publicado em 1991 propõe uma síntese de alto nível para a época, de modelagem comportamental um diagrama de blocos e circuito convencional de simulação. O objetivo era de apoiar uma metodologia top-down sistemática para o projeto de circuitos analógico e sistemas.

Em 1994 A. A. Silva escreveu *Simulating electrical circuits with an electronic spreadsheet*. Ele explica como uma planilha eletrônica pode ser uma modelagem efetiva e ferramenta de simulação para estudar circuitos elétricos. Como destaques incluem as leis de Kirchoff e álgebra de matrizes. Descreve uma experiência piloto com estudantes em uma turma de física.

Katan, R.E, Agelidis, VG, e Nayar, CV em 1995 produziram com o software PSPICE modelagem de painéis fotovoltaicos. Um modelo completo de painéis fotovoltaicos que podem ser usadas para permitir uma melhor compreensão da teoria de operação de um dispositivo não-linear foi apresentado. A motivação deste modelo foi fornecer um acessório de instrução para complementar o material de aula baseada em qualquer curso relacionado a fontes renováveis de energia. Este modelo foi analisado usando a versão para estudantes do software PSPICE.

Robbins, T. em 1995 escreveu *Circuit-Breaker Model for Over-Current Protection Simulation of DC Distribution Systems*. Este trabalho descreve um modelo elétrico de um disjuntor termomagnético que pode simular com precisão comportamento característico em uma ampla faixa de correntes, incluindo operação na região magnética. O disjuntor utilizado como modelo poderia ser acoplado com o componente de outro modelo de distribuição e simular o desempenho de proteção em sistemas de distribuição de telecomunicações DC.

Jenkins, D. em 1996 escreveu *Have More Fun Teaching Physics: Simulating, Stimulating Software*. A Física do ensino médio oferece oportunidades de usar a solução de problemas e

práticas de laboratório, bem como habilidades de pesquisa, redação técnica e aplicativos em software. O artigo descreve e avalia como um software de computador melhora o ensino de física do ensino médio, incluindo planilhas de dados de laboratório, simuladores de movimento de um projétil, simuladores de gravidade, simuladores de céu, astronomia remota, e circuitos elétricos através da análise de softwares.

Cheung WN, ainda em 1996 trabalhou com Aprendizagem avançada de sistemas elétricos usando PSpice uma solução de baixo custo. Circuito e análise de sistemas é um dos temas mais essenciais no currículo de engenharia elétrica. Ela serve como a chave para a compreensão da energia e redes eletrônicas. Este artigo discute aplicações da versão de avaliação do PSpice na simulação de sistemas de controle com feedback atrasado, e sistemas de comunicação, tais como PSK, QPSK e MSK.

Sing, L., & Chee, C. T. em 1997 falam sobre Microcomputer simulated experiments in the teaching of multi-channel laser system in an undergraduate course. O artigo descreve uma simulação feita por estudantes universitários de física em laboratório em curso de tecnologia. O objetivo do curso era proporcionar aos estudantes experiência em computação com circuitos elétricos e comparando a computação com experiências.

Simulating electrical devices with complex behavior foi escrito por N. A. Snooke em 1999. Segundo ele os sistemas elétricos e eletrônicos automotivos se tornaram muito sofisticados em um tempo relativamente curto. Simulação qualitativa de circuitos elétricos provou ser inestimável para o desenvolvimento de técnicas de análise de vários desenhos e a capacidade de construir modelos qualitativos para componentes complexos tornou-se essencial para permitir o uso eficaz destas ferramentas. Abordaram a necessidade de modelos complexos com componentes elétricos para o desenvolvimento de representações abstratas verificando o comportamento para completar a simulação elétrica qualitativa. Este desenvolvimento foi realizado em duas etapas.

### **Período de 2000 a 2009**

Albano, G., D'Apice, C., & Tomasiello, S. em 2002 produziram Simulating harmonic oscillator and electrical circuits: A didactical proposal. Um software Mathematica [TM] descrito neste artigo e que usa simulações e animações para ilustrar conceitos fundamentais em oscilação harmônica e circuitos elétricos para estudantes avançados em física ou matemática.

Kester, L., Kirschner, P., & van Merriënboer, J. em 2004 escreveram Information presentation and troubleshooting in electrical circuits. O artigo trata de como aprender uma habilidade complexa na ciência usando uma simulação por computador. Um formato de apresentação ideal da informação foi proposta: informação de apoio foi apresentada antes de praticar uma habilidade, e informações processuais foram apresentadas durante a prática. Quatro formatos de apresentação das informações foram comparados em um desenho fatorial com os fatores de informação de suporte (antes ou durante a prática de tarefas) e a pertinência das informações processuais (antes ou durante a prática de tarefas).

Cornelise Vreman-de Olde e Tom de Jong em 2004 escreveram Student-generated assignments about electrical circuits in a computer simulation. Trata-se de um trabalho em que os estudantes projetam tarefas para outros estudantes em um ambiente de simulação de computador sobre circuitos elétricos. Este estudo teve a intenção de investigar a concepção de trabalhos realizados pelos alunos como uma atividade de geração de conhecimento. Os alunos eram obrigados a mostrar suas concepções como forma de atribuições para outros alunos em um ambiente de simulação computacional sobre circuitos elétricos. As atribuições consistiam em uma pergunta, alternativas e feedback sobre essas alternativas. Desta forma, os indivíduos

foram encorajados a se engajar em processos como a "geração de perguntas, discriminar entre exemplos e não-exemplos, e geração de feedback". As atribuições resultantes foram analisadas e foram identificadas diferentes tipos de tarefas.

Robertson, WC em 2005 escreveu *Eletricidade e magnetismo. Parar de fingir! Finalmente, a compreensão da ciência para que você possa ensiná-lo*. Cobrindo os conceitos básicos de eletricidade estática, a eletricidade atual e magnetismo, o livro desenvolve um modelo científico mostrando que a eletricidade e o magnetismo são realmente o mesmo fenômeno em diferentes formas. O livro inclui o acesso aos softwares interativos em que os leitores podem baixar no site da NSTA para ajudá-los a investigar circuitos elétricos - do simples ao complexo - sem ter que comprar um monte de materiais caros.

Em 2006 Rosenthal A. S. Henderson e C. Henderson em *Teaching about circuits at the introductory level: An emphasis on potential difference* descrevem uma abordagem de ensino que enfatiza o potencial elétrico e a diferença de potencial elétrico como forma de tratar as concepções erradas dos alunos no estudo de circuitos elétricos. Segundo ele ocorre uma falha na aprendizagem porque os alunos não conseguem desenvolver uma boa compreensão do conceito de potencial elétrico e de diferença de potencial elétrico.

Ainda em 2006, Pedro F. T. Dorneles, Eliane Veit e Ives Araújo escreveram o artigo *Simulação e modelagem computacionais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade*. Mostram como o estudo utilizando o software Modellus pode ajudar alunos a entender circuitos simples. Discutem as principais dificuldades dos alunos na aprendizagem de conceitos básicos envolvidos nos circuitos simples e RLC apresentando dois produtos oriundos de um trabalho de pesquisa: um conjunto de atividades de simulação e modelagem computacionais, propostas com o software Modellus, levando em conta tais dificuldades, com o objetivo de auxiliar o aluno a superá-las e um teste sobre a compreensão de conceitos físicos envolvidos em circuitos RLC

Bekir Bayrak, Uygur Kanli e Ingeç Sebnem Kandi escreveram em 2007 sob o título *To compare the effects of computer based learning and the laboratory based learning on students achievement regarding electric circuits*. Foi realizado um estudo que em seu término foi verificado que não existe uma diferença significativa entre a instrução em laboratório e a instrução com computador influenciando a aprendizagem dos estudantes. Neste estudo, o problema da pesquisa foi: "Será que o computador é tão eficaz como laboratório de ensino de física e intensa com relação ao sucesso escolar em circuitos elétricos para alunos do 9º ano?" Segundo os autores no final do estudo, é visto que não existe uma diferença significativa entre a instrução em laboratório e com a instrução de computador para influenciar o sucesso dos alunos. Assim, concluíram que a aprendizagem por computador é tão eficaz quanto à aprendizagem de laboratório com base em desempenho dos alunos.

*Adaptive Electronic Quizzing Method for Introductory Electrical Circuit Course* de Ruba Akram Amarin, Feras Batarseh e Issa Batarseh escreveram em 2009 sobre um livro técnico eletrônico interativo, TechEBook, desenvolvido na Universidade Central da Florida. Uma ferramenta criada em uma plataforma Java útil para os engenheiros e cientistas através de características únicas em comparação com os mais utilizados livros didáticos tradicionais sobre circuitos elétricos disponíveis no mercado. Um exemplo prático da aplicação do recurso QuizMe é discutida como parte de um curso básico de engenharia elétrica.

Em 2009 Kong, S. C., Yeung, Y. Y., & Wu, X. Q. escreveram *An experience of teaching for learning by observation: Remote-controlled experiments on electrical circuits*. Para facilitar a aprendizagem dos estudantes de escola fundamental em Hong Kong a aprenderem por observação dos fenômenos relacionados a circuitos elétricos foi utilizado um sistema de

courseware específico do qual a interface de humano-máquina interativa foi criada com o uso de um software chamado LabVNC.

Ainda em 2009 Max, L., Thiringer, T., Undeland, T., & Karlsson, R. produziram Power electronics design laboratory exercise for final-year M.sc. students. Este artigo apresenta experiências e resulta de uma tarefa de projeto em eletrônicas para estudantes da Universidade de Tecnologia de Chalmers, Goteborg, Suécia. Outra pesquisa realizada utilizando o software de simulação de circuitos PSpice.

### **Período de 2010**

Solution of Linear Electrical Circuit Problem using Neural Networks, em 2010 dos autores Samath J.Abdul, Kumar P.Senthil e Begum Ayisha mostram que um algoritmo de rede neural pode ser facilmente implementado em um computador digital para qualquer sistema de circuitos elétricos simples. Um protótipo de um ambiente de aprendizagem foi projetado e construído pelo autor para a discussão de uma análise rígida para a aprendizagem de circuitos elétricos.

C. Lee, J. Su, K. Lin, J. Chang e G. Lin, no ano de 2010 escreveram A project-based laboratory for learning embedded system design with industry support. Um projeto de laboratório baseado por aprender desígnio de sistema embutido com apoio de indústria é apresentado neste artigo. Para esses estudantes que adquiriram hardware Planning and development of lab training activities for powerline communications de microcontroller básico e software que programam habilidades de cursos prévios, os exercícios práticos no laboratório incluem vários circuitos de hardware específicos e algoritmos de software para o projeto final de construção de um robô.

A. Drosopoulos e M. Hatziprokopiou. discutem em seu artigo Planning and development of lab training activities for powerline communications um estudo realizado no Laboratório no Instituto de Educação Técnico (TEI), Patras, Grécia. Comunicações de Powerline é considerada pelos autores uma área ativa de pesquisa e desenvolvimento que combinam três especializações separadas do treinamento standard de engenheiros elétricos: comunicações, energia e sistemas de controle.

C. A. Canesin, F. A. S. Goncalves e L. P. Sampaio em 2010 escreveram Simulation tools for power electronics courses based on java technologies. Este artigo apresenta ferramentas interativas educacionais para alunos de eletrônica. Estas ferramentas interativas utilizam os benefícios da plataforma Java para prover uma aproximação dinâmica e interativa a simular retificadores ideais. Adicionalmente, este artigo discute o desenvolvimento e uso de applet em Java para ajudar o ensino em circuitos convencionais e servir como uma primeira ferramenta de desígnio para laboratório básico experimental em cursos de eletrônicas.

Design of Interactive Learning System Based on Intuition Concept Space tendo como autor Ping He escrito em 2010 onde inicialmente a teoria da aprendizagem da intuição é brevemente revista e um modelo do processo de aprendizagem foi apresentado. O artigo, em seguida, discute e caracteriza um Sistema de Ensino Interativo de Intuição (IILS) e sua relação com o padrão de aprendizagem experimental. Após uma série de experimentos utilizando tal princípio um protótipo de um ambiente de aprendizagem de intuição é projetado e construído pelo autor, e então, discutido junto com sua aplicação no projeto de uma análise criteriosa para a aprendizagem de circuitos elétricos.

### **Concentração dos Trabalhos**

Concentração dos Trabalhos Pesquisados	
Período	Número de trabalhos pesquisados
De 1979 a 1989	3
De 1990 a 1999	8
De 2000 a 2009	10
2010	5

Tabela 1 – distribuição dos trabalhos

Conforme podemos observar na tabela 1 o estudo de circuitos elétricos básicos utilizando as Tecnologias de Informação e Comunicação tem um número que podemos considerar muito pequeno em cada período pesquisado, levando-se em conta a produção textual mundial em ensino de física. Nossa busca começou com uma expectativa que teríamos uma quantidade expressiva de tais atividades e estudos. Levantamos também que no período de 1979 a 1989 do total e três trabalhos produzidos um se enquadrava como de atividades para ensino médio, outro para ensino superior e um terceiro para ambos. No período de 1990 a 1999 constatamos que dos oito trabalhos encontrados um era de ensino médio, um com utilização tanto em médio como superior e seis com aplicação em ensino superior. No período de 2000 a 2009 foram cinco de ensino médio e superior, quatro de ensino superior e um de ensino fundamental. No ano de 2010 foram publicados dois de ensino superior e três de ensino médio concomitante com ensino superior.

## Conclusão

Ao todo foram encontrados vinte e seis trabalhos utilizando algum software aplicado ao estudo de circuitos elétricos no período pesquisado nos doze periódicos analisados. Em se tratando de assunto de grande dificuldade enfrentada por nossos alunos e o grande avanço das Tecnologias de Comunicação e Informação podemos considerar que é um número insignificante de estudos neste tema.

Um fato que nos chamou a atenção durante nossa busca foi o fato da simulação utilizando softwares estar presente em atividades envolvendo circuitos mais avançados, em cursos de engenharia elétrica e eletrônica. Devemos também citar que, embora a computação esteja presente em inúmeras atividades em sala de aula, ela não está presente no estudo dos circuitos elétricos simples, como forma de auxiliar a aprendizagem dos conceitos básicos envolvidos.

Verificamos que não houve um crescimento na produção em atividades envolvendo circuitos elétricos na mesma proporção que cresce a informática. Temos um aumento na quantidade de ferramentas utilizadas que possibilitariam um melhor aproveitamento na aprendizagem de nossos estudantes. Podemos concluir também que as pesquisas não estão evoluindo para um patamar em que estejam juntas atividades com simulação e experimentos em laboratório e que é necessário verificar de que forma as duas contribuem na aprendizagem de nossos estudantes em física, com maior robustez metodológica e teórica. É preciso também levantar qual a melhor forma de trabalhá-las.

Destacamos ao longo deste trabalho o artigo de Bayrak, Kanli e Kandil com o título *To compare the effects of computer based learning and the laboratory based learning on students' achievement regarding electric circuits*. Não achamos que sua conclusão esteja totalmente correta em dizer que não existe uma diferença significativa entre a instrução em laboratório e as instruções ao computador para influenciar a aprendizagem dos alunos no domínio dos circuitos elétricos e sobre a conclusão de que a aprendizagem por computador é tão eficaz

quanto à aprendizagem de laboratório. De qualquer forma pensamos que as atividades em laboratório e as de computador podem juntas fazer com que os alunos possam adquirir conhecimentos nesta área. Ainda se trata de uma área que carece de grandes estudos. São muitos os questionamentos que devem ser feitos com relação a estarem juntas atividades de laboratório com atividades de aplicação das Tecnologias de informação e comunicação.

## Referências

ALBANO, G., D'Apice, C., & Tomasiello, S. Simulating harmonic oscillator and electrical circuits: A didactical proposal. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, v.33, n.2, p.157-170, 2002.

AMRIN, R., BATERSEH, F., BATERSEH, I. Adaptive Electronic Quizzing Method for Introductory Electrical Circuit Course. *International Journal of Online Engineering*, v.5, n.3, p.4-7, 2009.

BAYRAK, B., KANLI, U., & INGEC, S. K. To compare the effects of computer based learning and the laboratory based learning on students' achievement regarding electric circuits. *Turkish Online Journal of Educational Technology – TOJET*, v.6, n.1, 2007.

BETH, T. Computer Aided Systems Theory – Eurocast '91. *Computer Science*, v.585, p.21-31, 1991.

CANESIN, C. A., GONCALVES, F. A. S. e SAMPAIO, L. P. Simulation tools for power electronics courses based on java technologies. *IEEE Transactions on Education*, v.53, n.4, p.580-586, 2010.

DORNELES, P., VEIT, E. e ARAÚJO, I. Simulação e modelagem computacionais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade. Parte II - circuitos RLC. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.30, n.3, p.1806-1117, 2006.

DROSOPOULOS, A., e HATZIPROKOPIOU, M. Planning and development of lab training activities for powerline communications. *IEEE Transactions on Education*, v.53, n.3, p.384-389, 2010.

HE, P. Design of Interactive Learning System Based on Intuition Concept Space, *Journal of Computers*, v.5, n.3, p.479-487, 2010.

JENKINS, D. Have More Fun Teaching Physics: Simulating, Stimulating Software. *Escolas MultiMedia*, v.3, n.5, p.42-47, 1996.

KATAN, R. E, AGELIDIS, V. G, e NAYAR, C. V. PSPICE modelagem de painéis fotovoltaicos. *International Journal of Education Engenharia Elétrica*, v.32, n.4, p.319-332, 1995.

KESTER, L., KIRSCHNER, P., e van Merriënboer, J. Information presentation and troubleshooting in electrical circuits. *International Journal of Science Education*, v.26, n.2, p.239-256, 2004.

KONG, S. C., YEUNG, Y. Y., e WU, X. Q. An experience of teaching for learning by observation: Remote-controlled experiments on electrical circuits. *Computers & Education*, v.52, n.3, p.702-717, 2009.

LEE, C., SU, J., LIN, K., CHANG, J., & LIN, G. A project-based laboratory for learning embedded system design with industry support. *Transactions on Education*, v.53, n.2, p.173-181, 2010.

- MAGNUSON, W. G. Circuit analysis and simulation programs: An overview. *Nuclear Science*, v.29, n.1, p. 567-572, 1984
- MAX, L., THIRINGER, T., UNDELAND, T., & KARLSSON, R. Power electronics design laboratory exercise for final-year M.sc. students. *IEEE Transactions on Education*, v.52, n.4, p.524-531, 2009.
- MOORE, W. R.; BAXTER, R. L. Interactive computer graphics: A powerful tool for technical education. *Computers in Education Division of ASEE*, v.4, n.4, p.11-14, 1984.
- ROBBINS, T. Circuit-breaker model for over-current protection simulation of DC distribution systems. Obtido em <http://www.telepower.com.au/INT95c.PDF> em 02/07/2011.
- ROBERTSON, W., C. Eletricidade e magnetismo. parar de fingir! finalmente, a compreensão da ciência para que você possa ensiná-lo National Science Teachers Association. Obtido em <http://search.proquest.com/docview/61990688?accountid=26538> em 27/06/2011.
- SAMATH, J. A., KUMAR, P. S. e BEGUM, A. Solution of Linear Electrical Circuit Problem using Neural Networks, *International Journal of Computer Applications*, v. 2, n.1, p.6-13, 2010.
- SILVA, A. A. Simulating electrical circuits with an electronic spreadsheet. *Computers and Education*, v.22, n.4, p.345-353, 1994
- SING, L., e CHEE, C. T. Microcomputer simulated experiments in the teaching of multi-channel laser system in an undergraduate course. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, v.16, n.1, p.25-36, 1997.
- SNOOKE, N. A. Simulating electrical devices with complex behavior. *AI Communications*, v.24, n.2, p.45-59, 1999.
- SOEGAARD-KNUDSEN, M. Hierarchical specification and switch-level simulation of digital circuits. *IEE PROC.- E COMP.DIGITAL TECH.*, v.132, n.2, p.102-107, 1985.
- VREMAN-DE OLDE, C., e de JONG, T. Student-generated assignments about electrical circuits in a computer simulation. *International Journal of Science Education*, v.26, n.7, p.859-873, 2004.
- WEI, Y. P. Large-scale circuit simulation. Ph.D. Thesis Illinois Univ., Urbana. Coordinated Science Lab/Illinois-USA, 1982.