

GANHOS NA APRENDIZAGEM DE CONCEITOS FÍSICOS ENVOLVIDOS EM CIRCUITOS ELÉTRICOS POR USUÁRIOS DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL *MODELLUS*¹

IMPROVEMENTS IN THE LEARNING OF PHYSICAL CONCEPTS INVOLVED IN ELECTRIC CIRCUITS BY USERS OF THE SOFTWARE *MODELLUS*

Pedro Fernando Teixeira Dorneles¹
Eliane Angela Veit², Marco Antonio Moreira³

¹UFRGS/Instituto de Física/pdorneles@if.ufrgs.br

²UFRGS/Instituto de Física/eav@if.ufrgs.br

³UFRGS/Instituto de Física/moreira@if.ufrgs.br

Resumo

O objetivo deste trabalho de pesquisa foi investigar o desempenho de alunos que trabalharam com atividades de simulação e modelagem computacionais no estudo de circuitos elétricos, utilizando o *software Modellus*, comparado com alunos expostos apenas ao sistema tradicional de ensino. O estudo envolveu 193 alunos de cursos de Engenharia, da disciplina de Física-II oferecida pela UFRGS no 2º semestre de 2004. O procedimento didático ocorreu em duas etapas. Na primeira, os alunos do grupo experimental trabalharam com um conjunto de atividades sobre circuitos elétricos simples durante cinco aulas e na etapa seguinte, com um conjunto de atividades sobre circuitos RLC durante quatro aulas. Cada aula teve duração de 1h40min. Os resultados quantitativos mostram que houve melhorias estatisticamente significativas no desempenho dos alunos do grupo experimental, quando comparado aos alunos do grupo de controle, submetidos apenas ao método tradicional de ensino.

Palavras-chave: simulação computacional, modelagem computacional, circuitos elétricos e Ensino de Física.

Abstract

The purpose of this work was to investigate the performance of students that worked with simulation and modeling computational activities in the study of electric circuits, using the software *Modellus*, compared with students exposed just to the traditional system of education. The study was carried out with 193 engineering students taking the Physics-II course offered by UFRGS in the 2º semester of 2004. The instructional procedure occurred in two stages. In the first one, the students of the experimental group worked with a set of activities about simple electric circuits during five classes and in the following stage, with a set of activities about RLC circuits during four classes. Each class was 1h40min long. The quantitative results show that there was a statistically significant improvement in the experimental group students' performance when compared to the control group, submitted just to the traditional teaching method.

Keywords: computational modeling; computational simulation; electric circuits and physics instruction.

¹ Apoio: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

I. Introdução

Este trabalho de pesquisa está inserido em uma linha em que se pretende desenvolver atividades computacionais, levando em conta as dificuldades de aprendizagem apresentadas pelos alunos em áreas específicas da Física, que contribuam para a melhoria do processo ensino-aprendizagem de modo a propiciar condições favoráveis à aprendizagem significativa, no referencial de Ausubel (2003).

Na seção II são apresentados estudos (Duit & Von Rhöneck (2005), Shaffer & McDermott (1992) e Engelhardt & Beichner (2004)) referentes a obstáculos de aprendizagem, que incluem concepções alternativas, dificuldades conceituais e de raciocínio por parte dos alunos, no estudo de circuitos elétricos. Sintetizamos estes obstáculos em duas tabelas, a partir das quais, na seção III, estabelecemos os objetivos a serem atingidos com as atividades de simulação e modelagem computacionais propostas. Todas as atividades estão disponíveis na *Internet* (Dorneles, Araujo & Veit, 2005). Ainda na seção III argumentamos sobre a motivação para o uso de simulação e modelagem computacionais, especialmente com o *software Modellus*. O conteúdo destas seções iniciais foi submetido para publicação², a fim de divulgar as atividades computacionais propostas. Os resultados originais deste trabalho são apresentados nas seções subsequentes, onde apresentamos o objetivo do estudo e o delineamento da pesquisa (Seção IV) os resultados quantitativos obtidos nesta experiência didática (na seção V) e as considerações finais na seção VI.

II. Dificuldades de aprendizagem em circuitos elétricos

A Eletricidade é uma das áreas da Física que possuem mais estudos sobre dificuldades de aprendizagem dos alunos. Em nossa revisão da literatura, incluímos nove revistas especializadas em Ensino de Física, a saber: *American Journal of Physics* (1985-2005), *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*³ (1985-2005), *Journal of Research in Science Teaching* (1985-2005), *Revista Brasileira de Ensino de Física*⁴ (1985-2005), *International Journal of Science Education* (1987-2005), *Science Education* (1985-2005), *Enseñanza de las Ciencias* (1985-2005), *Investigações em Ensino de Ciências* (1996-2005) e *Ciência e Cultura* (1985-2005). Além disso foi também utilizado o sistema ERIC (Education Resources Information Center). Encontramos 50 publicações. Dentre estas, destacamos, em relação a circuitos simples de corrente contínua, Duit & Von Rhöneck (2005), que em 1998 dedicaram um capítulo de um livro⁵ para uma ampla revisão da literatura referente às dificuldades de aprendizagem dos alunos; Shaffer & McDermott (1992), que desenvolveram um exaustivo estudo de identificação de dificuldades e Engelhardt & Beichner (2004), que desenvolveram um teste com 29 questões para detectar e interpretar conceitos sobre circuitos resistivos de corrente contínua (DIRECT – *Determining and Interpreting Resistive Electric Circuit Concepts Test*), testado com centenas⁶ de alunos de nível médio e universitário nos Estados Unidos e Canadá, cuja aplicação reproduziu dificuldades relatadas na literatura. Em relação a dificuldades de aprendizagem em circuitos RC, RL, LC e RLC - genericamente designados por circuitos RLC - destacamos Eylon & Ganiel (1990);

²DORNELES, P. F. T.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Simulação e modelagem computacionais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos básicos de Eletricidade: Parte I – circuitos elétricos simples (a ser publicado).

³Intitulado Caderno Catarinense de Ensino de Física até 2001.

⁴Intitulada Revista de Ensino de Física até 1991.

⁵*Learning and understanding key concepts of electricity*. In: *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education, An I.C.P.E. Book* © International Commission on Physics Education 1997,1998.

⁶ A primeira versão do teste foi aplicada a 1135 alunos e a segunda a 695.

Thacker, Ganiel & Boys (1999) e Moreira & Greca (1996,1998). Uma síntese das principais concepções alternativas e das dificuldades de natureza específica relatadas na literatura em relação aos conceitos físicos envolvidos em circuitos elétricos simples e RLC são apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 : Síntese das concepções alternativas e dificuldades conceituais detectadas e identificadas na terceira coluna por [1] Duit & Von Rhöneck (2005), [2] Shaffer & McDermott (1992b) e [3] Engelhardt & Beichner (2004).

Conceitos	Dificuldades conceituais	Concepções alternativas: Os alunos...
1. Corrente elétrica	<ol style="list-style-type: none"> 1. Visualizar que a intensidade da corrente elétrica em um circuito depende das características da fonte, mas também da resistência equivalente do que foi acoplado entre os seus terminais. 2. Considerar a conservação espacial da corrente elétrica. 3. Reconhecer que a intensidade da corrente elétrica não depende da ordem em que se encontram os elementos no circuito e nem do sentido da corrente. 	<ol style="list-style-type: none"> a) ... pensam que a bateria é uma fonte de corrente elétrica constante [1- 3]. b) ... pensam que a corrente se desgasta ao passar por uma resistência elétrica [1- 3]. c) ... acreditam que a ordem dos elementos no circuito e o sentido da corrente elétrica são relevantes [1- 3]. d) ... pressupõem que a fonte fornece os portadores de carga responsáveis pela corrente elétrica no circuito [3].
2. Diferença de potencial	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dificuldades em diferenciar os conceitos: diferença de potencial e corrente elétrica. 2. Dificuldades em diferenciar os conceitos de diferença de potencial e de potencial elétrico. 3. Deficiência para reconhecer que uma bateria ideal mantém uma diferença de potencial constante entre seus terminais. 4. Calcular a diferença de potencial entre pares de pontos ao longo do circuito. 	<ol style="list-style-type: none"> e) ... pensam que a bateria é uma fonte de corrente elétrica constante e não como uma fonte de diferença de potencial constante [1- 3]. f) ... percebem a diferença de potencial como uma propriedade da corrente elétrica [3]. g) ... consideram que as diferenças de potencial entre pares de pontos ao longo do circuito permanecem constantes [1]. h) ... associam o brilho de uma lâmpada com o valor do potencial em um dos terminais da lâmpada [2].
3. Resistência elétrica	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dificuldades para distinguir resistência equivalente de uma parte do circuito e a resistência elétrica de um elemento individual. 2. Perceber que a resistência equivalente é uma abstração útil para obter a corrente total ou a diferença de potencial em uma parte do circuito. 3. Compreender que as divisões de correntes elétrica em um ponto de junção do circuito dependem da configuração do circuito. 4. Entendimento da associação em série de resistores como um impedimento à passagem de corrente; e da associação em paralelo como um caminho alternativo, para a passagem de corrente. 5. Identificar associações em série e em paralelo. 	<ol style="list-style-type: none"> i) ... freqüentemente pensam na resistência equivalente no circuito como se fosse uma propriedade de um elemento individual do circuito [2]. j) ... ao determinar como se divide a corrente elétrica em ramos paralelos de um circuito, consideram somente o número de ramos e não as resistências elétricas relativas dos vários ramos [1- 3]. k) ... pensam que se um resistor reduz a corrente por x, dois resistores vão reduzi-la por $2x$, independentemente do arranjo dos resistores [3]. l) ... consideram que resistores alinhados em série estão associados em série quer haja uma junção ou não entre eles e que resistores alinhados geometricamente em paralelo estão associados em paralelo mesmo se há uma bateria no ramo [3].

Tabela 2 : Síntese das dificuldades conceituais e concepções alternativas detectadas e identificadas na terceira coluna por [1] Eylon & Ganiel (1990); [2] Thacker, Ganiel & Boys (1999) e [3,4] Greca & Moreira (1996, 1998) respectivamente.

	Conceitos	Dificuldades	Os alunos...
Circuito RC	1. Carga elétrica	1. Compreender os processos de carga e descarga do capacitor.	... pensam que a corrente se desgasta ao passar por uma resistência elétrica [2].
	2. Intensidade da corrente elétrica	1. Compreender que durante os processos de carga e descarga a intensidade da corrente elétrica decai exponencialmente. 2. Considerar a conservação espacial da corrente elétrica. 3. Entender a relação entre carga elétrica e corrente elétrica.	... acreditam que em um circuito RC: a) a corrente elétrica é constante em ambos os lados do capacitor, desde que a diferença de potencial fornecida pela fonte e a resistência elétrica permaneçam constantes [1]; b) não passará corrente elétrica entre as placas do capacitor, pois o capacitor representa uma interrupção no circuito [1, 2]; c) quando o capacitor estiver totalmente carregado a corrente elétrica permanecerá constante e não-nula [1]; d) a ordem dos elementos importa [2]; e) as cargas elétricas saltam de uma placa para a outra do capacitor [2];
	3. Diferença de potencial	1. Relacionar a diferença de potencial em C com a quantidade de carga armazenada no capacitor e a diferença de potencial em R com a intensidade de corrente elétrica.	c) quando o capacitor estiver totalmente carregado a corrente elétrica permanecerá constante e não-nula [1]; d) a ordem dos elementos importa [2]; e) as cargas elétricas saltam de uma placa para a outra do capacitor [2];
Circuitos LC e RLC	4. Carga elétrica e corrente elétrica	1. Relacionar a intensidade da corrente elétrica com a quantidade de carga elétrica armazenada no capacitor em função do tempo. 2. Identificar o sentido das linhas de campo magnético no indutor, durante os processos de carga e descarga do capacitor.	... reproduzem mecanicamente os gráficos de barra que estão no livro texto (Halliday, Resnick & Walker, 1993), para as energias armazenadas em um circuito LC, não conseguem representar nem sequer o sentido das linhas de campo magnético durante uma oscilação completa [4].
	5. Energia eletromagnética	1. Compreender o comportamento das energias elétrica, magnética e eletromagnética, durante uma oscilação completa.	... desenvolvem um raciocínio mecânico, baseado em fórmulas, sem se preocupar com o que ocorre fisicamente em circuitos LC e RLC [2-4].

III. Simulação e modelagem computacionais com o *software Modellus*

Propomos simulação e modelagem computacionais, no ensino de circuitos elétricos, como complemento às atividades em sala de aula e no laboratório de Física ou Eletrônica. Assim como Araujo (2005), consideramos que a forma como os alunos têm acesso ao modelo matemático ou icônico subjacente à implementação da atividade computacional serve para distinguir entre dois tipos de atividades computacionais, de acordo com os diferentes níveis de interação do aluno com o computador. Em atividades que denominamos de *simulação computacional* o aluno tem autonomia para inserir valores iniciais para variáveis, alterar parâmetros e, eventualmente, modificar relações entre as variáveis, entretanto, ele não tem autonomia para modificar o cerne do modelo computacional, ou seja, acesso aos elementos mais básicos, matemáticos ou icônicos, que o constituem. Em atividades que denominamos de *modelagem computacional*, além de poder atuar sobre a variação de parâmetros e valores iniciais,

o aluno tem acesso aos elementos básicos. Em ambos os casos, o aluno pode explorar um modelo computacional já construído. Por isto, chama-se este modo de uso de *exploratório*. No caso da *modelagem computacional*, o aluno pode, também, construir seu próprio modelo desde sua estrutura matemática ou icônica, até a análise dos resultados gerados por ele ou fazer alterações em modelos computacionais previamente construídos. Neste caso, diz-se que o modo de uso é *expressivo* ou de *criação*. Neste trabalho, classificamos como atividade de simulação toda aquela em que não instigamos o aluno a alterar a janela modelo do *Modellus*.

Escolhemos como ferramenta para a simulação e modelagem computacionais o *software Modellus* (Teodoro, Vieira & Clérigo, 1997) por permitir que o usuário crie, veja e interaja com representações analíticas, analógicas e gráficas de objetos matemáticos (Teodoro, 1998). O *Modellus* possui uma interface gráfica intuitiva, o que facilita a interação dos alunos com os modelos em tempo real, permitindo, também, observar múltiplos experimentos (conceituais) simultaneamente. Se o aluno for instigado com questões apropriadas, que requeiram interação com o modelo pode-se favorecer a reflexão sobre os efeitos de suas ações sobre os resultados gerados pelo modelo computacional. Usualmente isto significa que constantemente o aluno está se perguntando: se eu alterar isto, o que acontece com aquilo?

Uma vez que definimos o foco das nossas atenções em termos das dificuldades conceituais em circuitos elétricos simples e do tipo RLC apresentadas nas tabelas 1 e 2, estabelecemos os objetivos a serem alcançados pelos alunos ao trabalharem com as atividades de simulação e modelagem computacionais propostas.

- a) *dada uma diferença de potencial entre pontos de um circuito simples, o aluno deverá: i) ser capaz de perceber a corrente elétrica como consequência da diferença de potencial e da resistência elétrica; ii) relacionar o aumento da corrente elétrica no circuito à diminuição da resistência equivalente;*
- b) *dada uma associação de resistores em série, o aluno deverá perceber que: i) a corrente que circula pelos resistores é a mesma; ii) a resistência equivalente aumenta quando mais um resistor é associado em série; iii) a soma das diferenças de potencial entre as extremidades dos resistores é igual à diferença de potencial aplicada entre os extremos da fonte; iv) a diferença de potencial aplicada entre os extremos da fonte é característica própria da fonte; v) é necessário tratar o circuito elétrico como um sistema;*
- c) *dada uma associação de resistores em paralelo, o aluno deverá perceber que: i) a diferença de potencial entre os extremos dos resistores é a mesma; ii) a resistência equivalente diminui quando mais um resistor é associado em paralelo; iii) as divisões de correntes em um ponto de junção do circuito (divisor de corrente) dependem do que no restante do circuito; iv) a intensidade da corrente elétrica que passa em um resistor depende da sua resistência elétrica e da diferença de potencial entre os extremos; v) é necessário tratar o circuito elétrico como um sistema;*
- d) *dado um circuito com resistores em associação mista, o aluno deverá ser capaz de: i) tratar o circuito como um sistema; ii) identificar o comportamento da diferença de potencial nas extremidades dos resistores; iii) identificar qual é a intensidade de corrente elétrica que passa em cada resistor;*
- e) *dado um circuito com lâmpadas, o aluno deverá ser capaz de: i) identificar que a lâmpada é um resistor e, portanto, os comportamentos observados em relação a resistores se*

manifestam também com lâmpadas (*itens b, c e d*); *ii*) associar o brilho da lâmpada à corrente elétrica.

- f*) *dado um circuito RC, o aluno deverá:* *i*) compreender os processos de carga e descarga do capacitor; *ii*) perceber que a intensidade da corrente elétrica decai exponencialmente com o tempo durante os processos de carga e descarga do capacitor; *iii*) entender a relação entre carga elétrica e corrente elétrica; *iv*) ser capaz de descrever fisicamente o gráfico da quantidade de carga armazenada no capacitor versus tempo, quando a diferença de potencial fornecida pela fonte ou a capacitância do capacitor são alteradas repentinamente durante o processo de carga do capacitor; *v*) perceber que a corrente elétrica não é consumida ao longo do circuito; *vi*) perceber que o módulo da diferença de potencial: *a*) em R é proporcional à intensidade da corrente elétrica e *b*) em C é proporcional à quantidade de carga armazenada no capacitor;
- g*) *dado um circuito LC, o aluno deverá ser capaz de:* *i*) interpretar o comportamento da quantidade de carga armazenada no capacitor em função do tempo; *ii*) interpretar o comportamento da intensidade da corrente elétrica em função do tempo; *iii*) relacionar o comportamento do campo magnético no indutor com a quantidade de carga elétrica armazenada no capacitor em função do tempo; *iv*) relacionar o comportamento do campo elétrico entre as placas do capacitor com a intensidade de corrente elétrica do circuito em função do tempo;
- h*) *dado um circuito RL, o aluno deverá ser capaz de* perceber que a corrente elétrica não atinge seu valor máximo imediatamente;
- i*) *dado um circuito LC ou RLC, o aluno deverá ser capaz de* perceber o comportamento das energias: elétrica, magnética e eletromagnética em função do tempo.

IV. Objeto do estudo e delineamento da pesquisa

Objeto do estudo

Este trabalho teve como objeto de estudo investigar o desempenho (em termos de domínio de situações problemáticas) de alunos que trabalharam com atividades de simulação e modelagem computacionais no estudo de circuitos elétricos simples e RLC, utilizando o *software Modellus*, comparado com alunos expostos apenas às tradicionais aulas expositivas e de laboratório de ensino.

Como hipótese de pesquisa admitimos que o procedimento didático alternativo adotado neste estudo promoveria predisposição do aluno para aprender, relacionando as novas informações, de forma substantiva e não-arbitrária, à sua estrutura cognitiva criando, assim, condições para uma aprendizagem significativa de conceitos físicos envolvidos em circuitos elétricos que resultaria em melhor desempenho dos alunos. Este procedimento didático alternativo se constituiu no envolvimento dos alunos em atividades de simulação e modelagem computacionais na aprendizagem de circuitos elétricos, realizadas no laboratório de informática no horário de aula da disciplina, por pequenos grupos de alunos, dispostos em duplas ou trios.

Delineamento da pesquisa

A investigação ocorreu em duas etapas, envolvendo alunos de cursos de Engenharia matriculados na disciplina de Física II-C, que trata da introdução do Eletromagnetismo em nível

de Física Geral. A primeira etapa ocorreu durante o ensino de circuitos elétricos simples e a segunda, durante o ensino de circuitos elétricos do tipo RLC. Ambas foram desenvolvidas, segundo notação de Campbell e Stanley (1979), com um delineamento quase-experimental do tipo 10, explicitado na Tabela 3, no qual se tem um grupo de controle não-equivalente e um grupo experimental.

Tabela 3 : Delineamento da pesquisa. (Adaptado de Campbell e Stanley, 1979.)

Grupo	Delineamento
Experimental	$O_1 X O_2$
Controle	$O_1 O_2$

O_1 = Pré-teste
 O_2 = Pós-teste
 X = Procedimento didático (atividades de simulação e modelagem computacionais)

Amostra

Participaram da investigação 193 alunos de cursos de Engenharia, que cursaram a disciplina de Física II-C (FIS01082, Eletricidade e Magnetismo para alunos de Engenharia) oferecida pelo Departamento de Física da UFRGS, no 2º semestre do ano letivo de 2004. Na primeira etapa da investigação o grupo experimental – designado por grupo experimental1 – foi composto por 28 alunos das turmas K e KK, ministradas pelo Prof. Marco Antonio Moreira, um dos orientadores deste trabalho, e teve como alunos-monitores Pedro Fernando Teixeira Dorneles, autor deste trabalho, e Ives Solano Araujo, que desenvolveu um estudo piloto sobre atividades computacionais envolvendo equações de Maxwell (Araujo, Veit & Moreira, 2005). Os alunos-monitores participaram de todas as aulas da disciplina. O grupo de controle1 foi composto pelos demais 165 alunos. Na segunda etapa, o grupo experimental2 foi composto por 26 alunos das turmas K e KK, e o grupo de controle2, por 31 alunos, que também participaram do grupo de controle1. Aplicamos aos alunos dos grupos experimentais e de controle testes de conhecimentos, sobre circuitos elétricos simples e RLC, como mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 : Aplicação dos testes aos alunos dos grupos experimentais e de controle nas duas etapas da investigação.

Grupos	Primeira etapa: ensino de circuitos simples		Segunda etapa: ensino de circuitos RLC
	Pré-teste	Pós-teste	Pós-teste
Experimental1	X	X	
Controle1	X	X	
Experimental2	X		X
Controle2	X		X

Instrumento para avaliação da aprendizagem de circuitos elétricos simples

Conforme mencionado na seção II, uma das referências destacadas em relação a circuitos simples, Engelhardt & Beichner (2004), contém um teste com 29 questões para detectar e interpretar conceitos sobre circuitos resistivos de corrente contínua (DIRECT – Determining and Interpreting Resistive Electric Circuit Concepts Test). Apesar disto, preferimos no presente trabalho aplicar o teste proposto por Silveira, Moreira e Axt (1989) porque este é capaz de informar se o aluno possui concepções científicas ou alternativas sobre a corrente elétrica em circuitos simples e teve boa aceitação por parte dos professores que ministram a disciplina em que foi realizada a investigação, o que nos proporcionou um amplo grupo de controle1. Além disto, o teste está em português e sua análise de consistência interna (ACI) foi feita com uma população-alvo semelhante à nossa.

Segundo Moreira & Silveira (1993) é necessário realizar uma análise de consistência interna (ACI) em testes de conhecimento, para estimar o coeficiente de fidedignidade do escore total e identificar, se for o caso, itens que devem ser excluídos porque não se correlacionam com os demais. O coeficiente de fidedignidade de um instrumento refere-se à estabilidade, à reprodutibilidade, à precisão das medidas com ele obtidas, i. e., ao grau de consistência dos valores medidos. Uma maneira de se estimar o coeficiente de fidedignidade é decompondo a variância do escore total em uma parcela atribuída ao que há de comum entre os escores parciais e uma outra parte ao erro da medida. A estimativa desta parcela fidedigna comum aos itens do teste pode ser quantificada pelo coeficiente alfa de Cronbach (Cronbach, 1951, apud. op. cit.). O valor mínimo aceitável para um coeficiente de fidedignidade dependerá da utilização que se fará com os escores gerados pelo instrumento. Quando se deseja utilizar os escores gerados pelo instrumento para comparar grupos em médias, como no presente caso, pode-se tolerar coeficientes da ordem de 0,7 (op. cit., p.83).

Realizamos novamente ACI do teste, proposto por Silveira, Moreira & Axt (1987), baseada nas respostas de alunos dadas antes e após o ensino de circuitos elétricos simples. Os resultados da ACI do teste⁷, aplicado em alunos de cursos de Engenharia da UFRGS, antes e após (pré e pós-teste) o ensino de circuitos elétricos simples, estão apresentados de forma resumida na Tabela 5 e verifica-se que os valores do alfa de Cronbach são satisfatórios. Na primeira etapa da investigação utilizamos este teste como pré e pós-testes para avaliação quantitativa da aprendizagem de circuitos simples.

Tabela 5 : Síntese da ACI para o teste sobre corrente elétrica em circuitos simples (Silveira, Moreira & Axt, 1987) aplicado em alunos de cursos de Engenharia, antes e após o ensino de circuitos elétricos simples.

Teste	N	Média do escore total	Desvio padrão do escore total	Nº de itens	Coeficiente alfa de Cronbach
Pré-teste	66	7,70	2,82	13	0,75
Pós-teste	53	8,36	3,25	13	0,85

Instrumento para avaliação da aprendizagem de circuitos elétricos RLC

Nenhuma das publicações localizadas em nossa revisão de literatura apresenta algum teste que permita avaliar o conhecimento do aluno sobre o comportamento de grandezas eletromagnéticas em circuitos RC, RL, LC e RLC. Decidimos, então, elaborar um teste com este objetivo. Com base nas publicações que tratam de obstáculos de aprendizagem em circuitos RLC (Eylon & Ganiel (1990); Thacker, Ganiel & Boys (1999) e Greca & Moreira (1996, 1998)), definimos capacidades esperadas dos alunos que apresentam aprendizagem significativa de circuitos RLC, apresentadas nos itens *f*, *g*, *h* e *i* da seção V, para nortear a elaboração das questões. O teste é constituído por 17 itens, com cinco alternativas, sendo que 14 itens são de escolha simples e algumas alternativas são coerentes com concepções alternativas e com raciocínios errôneos que os alunos costumam apresentar sobre os circuitos em questão (ver Tabela 2). Os demais itens não são de escolha simples, podendo possuir três alternativas corretas. Por exemplo, alternativas corretas “a”, “b” e “e”, sendo a alternativa “e” enunciada como “a” e “b” estão corretas.

O teste foi inicialmente examinado por um grupo de quatro doutores em Física da UFRGS especialistas no assunto para a validação de conteúdo e, posteriormente, foi aplicado a

⁷ Não fez parte da nossa análise os dados referentes ao item oito do teste, pois o mesmo envolve um circuito RC e na etapa em que aplicamos este teste os alunos haviam estudado apenas circuitos simples.

uma população de alunos de cursos de Engenharia para a análise de consistência interna. Os resultados da ACI são apresentados de forma resumida na Tabela 6 e verifica-se que o valor do alfa de Cronbach é satisfatório, embora o item 8 possui uma correlação com os demais itens bem inferior aos demais. Optamos, então, por desenvolver uma nova versão para o teste⁸ (v. 1.1) na qual reformulamos o item 8, substituímos algumas alternativas dos itens 4, 9 e 14 de modo a torná-los questões de escolha simples e reformulamos o item 17, pois detectamos nele um problema de ordem conceitual. Por isso, não foram analisados os dados coletados para os itens 8 e 17 na versão 1.0 do teste. Na segunda etapa da investigação utilizamos este teste como pós-teste para avaliação quantitativa da aprendizagem de circuitos RLC.

Tabela 6 : Síntese da ACI para o teste sobre circuitos RLC versão 1.0 aplicado em alunos de cursos de Engenharia.

N	Média do escore total	Desvio padrão do escore total	Nº de itens	Coefficiente alfa de Cronbach
110	12,00	3,60	17	0,80

V. Resultados quantitativos e discussão

Desempenho dos alunos no teste sobre circuitos simples

Na primeira etapa da investigação, relativa a circuitos elétricos simples, utilizamos o teste proposto por Silveira, Moreira & Axt (1987) nos grupos de controle1 e experimental1, como pré-teste e pós-teste. Na Tabela 7 podemos observar que houve um aumento no percentual de acertos do pré-teste para o pós-teste nos dois grupos de alunos.

Tabela 7 : Comparação entre o grupo experimental1 e o grupo de controle1 nas médias do pré-teste e do pós-teste. Escore máximo = 13.

Grupo	Pré-teste			Pós-teste		
	Média do escore total	Desvio padrão	Perc. acertos	Média do escore total	Desvio padrão	Perc. acertos
Experimental1	4,71	2,48	36%	9,18	2,39	71%
Controle1	6,94	2,70	53%	7,48	2,68	58%

Na Tabela 7 observam-se as médias dos grupos experimental1 e de controle1 no pré-teste e no pós-teste. No pré-teste o grupo de controle1 tem uma média (6,94) que é superior a média do grupo experimental1 (4,71), diferença esta que é estatisticamente significativa. (O nível de significância estatística da diferença das médias é inferior a 0,01.) Isto nos sugere que devemos fazer uma análise de Variância e Covariância, ou seja, análise de regressão. Segundo Finn (1997) este procedimento corrige (ajusta por regressão) os escores do pós-teste, equiparando os sujeitos entre si nos escores do pré-teste, ou seja, calcula por regressão quais seriam os escores no pós-teste caso não houvesse diferenças entre os indivíduos no pré-teste (conseqüentemente não houvesse também diferença em média entre os dois grupos). A Tabela 8 mostra os resultados do uso da ANOVA/ANCOVA que apresenta as médias ajustadas no pós-teste para os dois grupos, e também a razão F de Snedecor (através da qual é obtido o nível de significância estatística) para a diferença entre as duas médias e o nível de significância estatística desta diferença.

⁸DORNELES, P. F. T.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Teste sobre circuitos RLC v.1.1 (a ser publicado).

Tabela 8 : Comparação entre o grupo experimental1 e o grupo de controle1 nas médias ajustadas do pós-teste.

Grupo	Média ajustada no pós-teste	F	Nível de Significância Estatística
Experimental1	10,22	38,72	0,000
Controle1	7,30		

Com base na Tabela 8 descartamos a hipótese nula, concluindo, então, que o desempenho médio dos alunos que passaram pelo procedimento didático é superior ao desempenho médio dos demais alunos com um nível de significância estatística menor do que 0,01.

Este resultado nos leva a concluir que houve ganhos, em termos de facilitação da aprendizagem de conceitos físicos envolvidos em circuitos simples, com a utilização de atividades de simulação e modelagem computacionais com o *Modellus* no ensino de circuitos simples.

Desempenho dos alunos no teste sobre circuitos RLC

Na segunda etapa da investigação, relativa a circuitos elétricos RLC, utilizamos como teste anterior os dados coletados com a aplicação do pré-teste na primeira etapa. O teste sobre circuitos RLC foi utilizado como pós-teste nos grupos experimental2 e de controle2. Na Tabela 9 podemos observar que há uma diferença entre as médias do grupo experimental2 e de controle2 no pós-teste. Realizamos novamente uma análise de Variância e Covariância. A Tabela 10 mostra os resultados do uso da ANOVA/ANCOVA, que mostram que também no caso de circuitos RLC foi possível facilitar a aprendizagem de conceitos físicos envolvidos em circuitos RLC, com a utilização de atividades de simulação e modelagem computacionais com o *software Modellus*.

Tabela 9 : Comparação entre o grupo experimental2 e o grupo de controle2 nas médias do pós-teste.

Grupo	Média do escore total	Desvio padrão	Perc. acertos
Experimental2	12,35	1,47	82%
Controle2	9,50	3,19	63%

Tabela 10 : Comparação entre o grupo experimental2 e o grupo de controle2 nas médias ajustadas do pós-teste.

Grupo	Média ajustada no pós-teste	F	Nível de Significância Estatística
Experimental2	12,7	21,90	0,000
Controle2	9,2		

VI. Comentários finais

Nossos resultados mostram que houve uma diferença estatisticamente significativa no desempenho dos alunos dos grupos experimentais, em comparação com os alunos dos grupos de controle, nos levando a concluir que atividades de simulação e modelagem computacionais com

o *software Modellus* podem auxiliar os alunos a superar as dificuldades de aprendizagem sobre conceitos físicos usualmente enfrentadas na aprendizagem de circuitos elétricos. Cabe ressaltar que o procedimento didático adotado exigiu muita interação dos alunos com as atividades computacionais, dos alunos entre si e com o professor, tornando-se um elemento motivador na aprendizagem dos alunos, conforme indicam nossas notas de aula. A predisposição para aprender é uma das condições da aprendizagem significativa. A outra é que o material seja potencialmente significativo. Acreditamos que neste estudo as duas foram alcançadas.

Referências

ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; MOREIRA, M. A. Um estudo exploratório sobre o uso de simulações computacionais na aprendizagem da Lei de Gauss e da Lei de Ampère em nível de Física Geral. *Enseñanza de las Ciencias*, v. especial, n. extra, 2005a.

ARAUJO, I. S. *Simulação e modelagem computacionais como recursos auxiliares no ensino de Física geral*. 2005. p.229. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos**: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano, 2003. 226 p.

CAMPBELL, D. T.; STANLEY, J. C. **Delineamentos experimentais e quase-experimentais de pesquisa**. São Paulo: EPU, 1979. 138 p.

DORNELES, P. F. T.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Circuitos elétricos: atividades de simulação e modelagem computacionais com o *Modellus*. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/circuitos>>. Acesso em: 10 jun. 2005.

DUIT, R.; RHONECK, C. V. Learning and understanding key concepts of electricity. In: TIBERGHIE, A.; JOSSEM, E. L.; BARAJOS, J. (eds.). *Connecting Research in physics education with teacher education*. International Commission on Physics Education. Disponível em: <<http://www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPEC2.html>>. Acesso em: 10 mar. 2005.

ENGELHARDT, P. V.; BEICHNER, R. J. Students' understanding of direct current resistive circuits. *American Journal of Physics*, College Park, v. 72, n. 1, p. 98-115, Jan. 2004.

EYLON, B.; GANIEL, U. Macro-micro relationships: the missing link between electrostatics and electrodynamics in students' reasoning. *International Journal of Science Education*, London, v. 12, n. 2, p. 79-94, Dec. 1990.

FINN, J. D. **Analysis of variance and covariance**. In: KEEVES, J. P. (Org.). *Educational research, methodology, and measurement: an international handbook*. Cambridge: Pergamon, 1997.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Un estudio piloto sobre representaciones mentales, imagenes, proposiciones y modelos mentales respecto al concepto de campo electromagnetico en alumnos de física general, estudiantes de postgrado y físicos profesionales. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 95-108, abr. 1996.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 16, n. 2, p. 289-303, Agu. 1998.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. Rio de Janeiro: LTC, 1993. v.3.

MOREIRA, M. A.; SILVEIRA, F. L. **Instrumentos de pesquisa em ensino e aprendizagem: a entrevista clínica e a validação de testes de papel e lápis**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1993. 101 p.

TEODORO, V. D.; VIEIRA, J. P.; CLÉRIGO, F. C. **Modellus, interactive modelling with mathematica**. San Diego: Knowledge Revolution, 1997.

TEODORO, V. D. From formulae to conceptual experiments: interactive modelling in the physical sciences and in mathematics. In: International CoLos Conference new Network-Based Media in Education. Slovenia: Maribor, 1998. 13 p. Disponível em: <<http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus/papers/Paper%20VDT%20Slovenia%20September%201998.PDF>>. Acesso em 10 de outubro de 2005.

THACKER, B. A.; GANIEL, U.; BOYS, D. Macroscopic phenomena and microscopic processes: student understanding of transients in direct current electric circuits. *Physics Education Research: a supplement to the American Journal of Physics*, Melville, 1, to v. 67, n. 7, p. S25-S31, July 1999.

SHAFFER, P. S.; McDERMOTT, L. C. Research as a guide for curriculum development: an example from introductory electricity. I. Investigation of student understanding. *American Journal of Physics*, College Park, v. 60, n. 11, p. 994-1003, Nov. 1992.

SILVEIRA, F. L.; MOREIRA, M. A.; AXT, R. Validação de um teste para verificar se o aluno possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 41, n. 11, p. 1129–1133, nov. 1989.