

A MODELAGEM E A SIMULAÇÃO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS SOLIDIFICAM CONHECIMENTOS EM ANÁLISE DE SISTEMAS DE POTÊNCIA

Elíbia Teresa Moreira Colaço¹, Washington Luiz Araújo Neves²

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática e Departamento de Engenharia Elétrica

Av. Aprígio Veloso, 882 - Bodocongó

CEP: 58.109-970, Campina Grande, PB

¹ elibia.colaco@ee.ufcg.edu.br; ² waneves@dee.ufcg.edu.br

Resumo: Neste trabalho, a integração dos conhecimentos sobre métodos numéricos e sobre a teoria de circuitos elétricos é apresentada como um estímulo ao interesse de estudantes pela pesquisa e pelo desenvolvimento de suas habilidades didáticas, bem como uma forma de melhoria do aprendizado dos componentes curriculares da graduação. Especificamente, estudos de caso da modelagem e da simulação de circuitos elétricos, desenvolvidos com auxílio da ferramenta computacional MATLAB®, aceleram o processo de aprendizagem na área de Transitórios Eletromagnéticos e no uso de programas do tipo EMTP (Electromagnetic Transients Program). O projeto de pesquisa foi realizado por uma aluna do quarto período letivo do curso de graduação de Engenharia Elétrica, sendo guiado por uma metodologia diferenciada, com foco no ensino, no repasse de conhecimentos. Por fim, é construído um material didático sobre o assunto, dirigido aos alunos de graduação.

Palavras-chave: Ensino, Modelagem, Simulação, Circuitos Elétricos

1. INTRODUÇÃO

O Programa de Educação Tutorial – PET, destina-se a apoiar grupos tutoriais de aprendizagem, organizados a partir de cursos de graduação das Instituições de Ensino Superior do país, propiciando a estes condições para a realização de atividades extracurriculares que complementem a formação acadêmica dos alunos.

Atualmente, a gestão do Programa é de responsabilidade da Coordenação de Relações Acadêmicas da Graduação do Departamento de Modernização e Programas da Educação Superior – DEPEM, após sua transferência, em 1999, para a Secretaria de Ensino Superior do Ministério da Educação – SESu/MEC [SESu/MEC, 2006].

Sempre orientado pelo princípio da indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão, o PET tem como alguns dos seus objetivos específicos: formular novas estratégias de desenvolvimento e modernização do ensino superior no país; e estimular a melhoria do ensino de graduação.

Inserido neste contexto, o Grupo PET do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, o PET-Elétrica, realiza atividades de ensino, de pesquisa e de extensão, ou atividades que contemplem a tríade, individuais ou coletivas, baseando-se sempre nas propostas gerais do programa. Em geral, as atividades de pesquisa são desenvolvidas de forma individual, sendo cada aluno orientado pelo tutor ou por demais professores do Departamento.

A atividade de pesquisa aqui relatada iniciou-se no mês de Abril de 2007 e teve duração de um ano. A aluna ingressou no Grupo PET-Elétrica em Setembro de 2006, e quando começou a atividade de pesquisa cursava o quarto período letivo, orientada pela proposta de execução curricular da Coordenação de Graduação do curso [<http://www.dee.ufcg.edu.br>] (cf. Figura 1).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Introdução à Programação	Técnicas de Programação	Mecânica I	Cálculo Numérico	Dispositivos Eletrônicos	Eletrônica	Máquinas Elétricas	Eletrônica de Potência	Projeto	Estágio
Álgebra Vetorial e Geometria Analítica	Álgebra Linear	Equações Diferenciais	Mecânica II	Circuitos Elétricos II	Conversão Eletromecânica	Sistemas Elétricos	Instalações Elétricas	Instituições do Direito	Optativa
Introdução à Engenharia Elétrica	Química	Circuitos Lógicos	Circuitos Elétricos I	Análise de Sinais e Sistemas	Princípios de Comunicações	Profissional Específica	Profissional Específica	Profissional Específica	Optativa
Física I	Física II	Eletrodinâmica e Magnetismo	Eletromagnetismo	Ondas e Linhas	Arquitetura de Sistemas Digitais	Controle Analógico	Administração	Profissional Específica	
Cálculo Integral e Diferencial I	Cálculo Integral e Diferencial II	Cálculo Integral e Diferencial III	Variáveis Complexas	Processos Estocásticos	Fenômenos dos Transportes	Materiais Elétricos	Controle Digital	Profissional Específica	
Expressão Gráfica	Física Experimental	Lab. Eletricidade e Magnetismo	Probabilidade e Estatística	Introdução à Ciência dos Materiais		Sociologia Industrial	Economia	Profissional Específica	
Gência do Ambiente								Engenharia Econômica	
25	25	26	26	26	26	27	27	25	12

Figura 1. Proposta de Execução Curricular da Coordenação de Graduação do Curso de Engenharia Elétrica da UFCG.

Observando a proposta da Coordenação, conclui-se que a reclamação dos alunos, de que no ensino de engenharia elétrica, do curso da UFCG, ainda existe uma grande distância entre as atividades de um engenheiro e as disciplinas cursadas nos primeiros anos, é plausível.

Analisando também as taxas de evasão e de reprovação do curso de Engenharia Elétrica, verifica-se a necessidade da contribuição dos docentes e discentes para a melhoria do ensino da graduação, de forma a atrair e reter estes alunos.

É com este panorama que é iniciada a atividade de pesquisa, que visa não só o amadurecimento intelectual individual, mas também a disseminação de conhecimentos a outros alunos. Outro objetivo seria o desenvolvimento de novas habilidades, como por exemplo, a da escrita e a da oratória.

Com estes argumentos, o orientador e a orientanda decidem realizar uma atividade de pesquisa com uma metodologia diferenciada, de forma que o foco da mesma torna-se o ensino, o repasse de conhecimentos.

Outra característica intrigante da metodologia escolhida é o interesse de referenciar a pesquisa ao ensino de graduação, para que a aluna não antecipe conhecimentos profundos e futuros, e sim, que a mesma desenvolva com suas habilidades e seus conhecimentos teóricos atuais um estudo em Sistemas de Potência.

Em seguida, como fruto da atividade, a aluna construirá um material didático e apresentará os conhecimentos adquiridos aos alunos em semelhante situação, contribuindo com a integração entre os estudos e as atividades práticas da Engenharia Elétrica.

2. MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

A Engenharia Elétrica pode ser dividida em áreas de especializações, dentre estas, pode-se citar Sistemas de Potência. Nesta área, os estudos são dedicados a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica; confiabilidade, estabilidade e proteção de sistemas elétricos; e desenvolvimento de técnicas computacionais aplicadas a Sistemas de Potência.

Atualmente, o último tópico está intimamente relacionado aos dois primeiros. Isto ocorre, pois, devido à complexidade dos sistemas elétricos e do advento dos computadores, as simulações digitais têm se tornado cada vez mais comuns e necessárias para o desenvolvimento da análise e do projeto de sistemas elétricos.

Apesar dos sistemas elétricos de potência operarem normalmente em regime permanente, é imprescindível que estes sejam também projetados para suportar solicitações extremas devido a surtos atmosféricos (sobretensões externas) e devido a surtos de manobras (sobretensões produzidas por mudança abrupta da configuração do sistema elétrico).

Descargas atmosféricas ou manobras no sistema elétrico geram transitórios eletromagnéticos devido à propagação de ondas viajantes na rede elétrica, durante o período de acomodação do sistema entre um estado de equilíbrio e outro.

As principais preocupações com relação ao surgimento de transitórios eletromagnéticos em sistemas elétricos de potência são: os danos causados nos dispositivos do sistema; a redução da confiabilidade da rede; a perda da qualidade de energia; e possivelmente, prejuízos causados aos consumidores.

Desta forma, o estudo de transitórios e a ocorrência dos mesmos devem constar no projeto de novos sistemas de energia elétrica, bem como na avaliação dos já existentes. No entanto, os sistemas elétricos de potência são descritos por equações diferenciais e possuem alto grau de complexidade, sendo a obtenção das soluções analíticas difícil. Como a construção e a realização de experimentos de sistemas elétricos também são inconcebíveis, surge a necessidade da simulação de circuitos elétricos.

As principais ferramentas para realizar as simulações são: os modelos em escala reduzida; simuladores analógicos (*Transient Network Analyzers – TNA*); simuladores digitais; e simuladores híbridos.

Citando especificamente a simulação digital, que com a evolução computacional e o desenvolvimento dos métodos numéricos tem se tornado mais robusta e comum, tem-se as plataformas de simulações que podem utilizar: Técnicas no Domínio da Frequência (*Frequency Domain Transients Program – FDTP*); ou Técnicas no Domínio do Tempo (*Electromagnetic Transients Program – EMTP*). As Técnicas no Domínio do Tempo são hoje mais difundidas devido a maior simplicidade na representação de dispositivos não lineares e chaves.

2.1 Descrição do Projeto

O projeto de pesquisa consiste em iniciar o estudo sobre Transitórios Eletromagnéticos em Sistemas de Potência, através do estudo da modelagem de componentes e da simulação de circuitos elétricos a partir do uso de uma ferramenta computacional.

A atividade é a realização de uma experimentação metodológica, de tal modo que o foco do projeto de pesquisa consista no ensino, no repasse de conhecimentos. Nesta experiência, também é verificado a coerência entre os assuntos abordados e os conhecimentos atuais da aluna, providos da execução curricular da graduação.

Desta forma, por intermédio da atividade a aluna será estimulada a continuar os estudos de Sistemas de Potência, e obterá amadurecimento para a realização de pesquisas com conhecimentos técnicos e científicos mais especializados.

2.2 Objetivos

Os objetivos da atividade de pesquisa são:

- Iniciar o estudo sobre Transitórios Eletromagnéticos em Sistemas de Potência;
- Adquirir o conhecimento básico das Técnicas no Domínio do Tempo;
- Aprender a realizar simulações usando estas técnicas;
- Compreender a modelagem dos componentes em um programa EMTP;
- Integralização de conhecimentos, da teoria de circuitos elétricos e dos métodos numéricos, em uma aplicação prática da Engenharia Elétrica;
- Demonstrar a utilidade dos tópicos ministrados nas disciplinas do curso;
- Compartilhar os conhecimentos;

2.3 Programação

A execução do projeto foi dividida em três etapas distintas: revisão de conceitos; estudo da modelagem e da simulação de circuitos elétricos; e construção de material didático.

Revisão de Conceitos

Antes do estudo da modelagem de componentes básicos de circuitos elétricos, foi necessária a realização de uma etapa prévia, na qual foi feita a revisão de Métodos Numéricos e da Teoria de Circuitos Elétricos.

Durante esta etapa, objetivou-se a conciliação entre os estudos direcionados a atividade de pesquisa da aluna e as disciplinas que esta cursava no mesmo período letivo. Desta forma, o aprofundamento do conhecimento teórico no conteúdo programático das Disciplinas Cálculo Numérico e Circuitos Elétricos I foi naturalmente sendo agregado.

Após a consolidação dos conceitos básicos, considerou-se que a aluna estava capacitada a avançar para a próxima etapa, estudando os assuntos mais relacionados à área de Sistemas de Potência.

Estudos da modelagem e da simulação de circuitos elétricos

Com o fim da primeira etapa, iniciaram-se os estudos da modelagem e da simulação de circuitos elétricos propriamente ditos.

Primeiramente, estudou-se a modelagem dos componentes básicos de circuitos elétricos. Com a garantia dos conhecimentos de métodos numéricos, esta etapa foi superada com facilidade.

Em seguida, com uso de modelos e das teorias de análise de circuitos elétricos, foi possível criar modelos numéricos simplificados para a análise de transitórios eletromagnéticos em circuitos elétricos.

Por uma questão de didática, os circuitos escolhidos para a realização das simulações foram circuitos simples, com os quais a aluna já estava familiarizada devido aos estudos dedicados à Disciplina Circuitos Elétricos I.

Estando definidas as simulações a serem realizadas, iniciou-se o estudo de uma ferramenta computacional para implementação da atividade: o MATLAB®. Após o período de adaptação e conhecimento do uso do software, a aluna criou sub-rotinas capazes de implementar e comparar as soluções analíticas e numéricas dos circuitos elétricos em estudo.

Construção do Material Didático

Após os estudos teóricos, as simulações e a obtenção de resultados, inicia-se a construção de um material didático. O material apresentará um resumo teórico, as simulações e os resultados da atividade.

Por fim, uma apresentação oral realiza a explicação da pesquisa e a divulgação do material construído.

2.4 Modelagem

O estudo sobre Transitórios Eletromagnéticos em Sistemas de Potência é baseado em conceitos básicos de circuitos com parâmetros concentrados e em noções de propagação de ondas eletromagnéticas em circuitos com parâmetros distribuídos [ZANETTA JÚNIOR,2003].

No cálculo destes transitórios e na simulação digital de circuitos elétricos lineares, faz-se necessário converter as equações diferenciais que relacionam tensão e corrente nos elementos do circuito por relações algébricas. Para tanto, utiliza-se os métodos de integração numérica.

Métodos de Integração Numérica

Os métodos de integração numérica são de grande utilidade quando integrais são difíceis ou até mesmo impossíveis de serem resolvidas analiticamente. Estes métodos podem ser vistos como uma aproximação da integral por uma soma finita de termos.

Para o caso em estudo, foram utilizados os métodos de integração Euler Regressivo e Trapezoidal. A interpretação gráfica destes métodos é mostrada na Figura 2, para uma dada função $f(\tau)$ no tempo, considerando um passo de discretização no tempo.

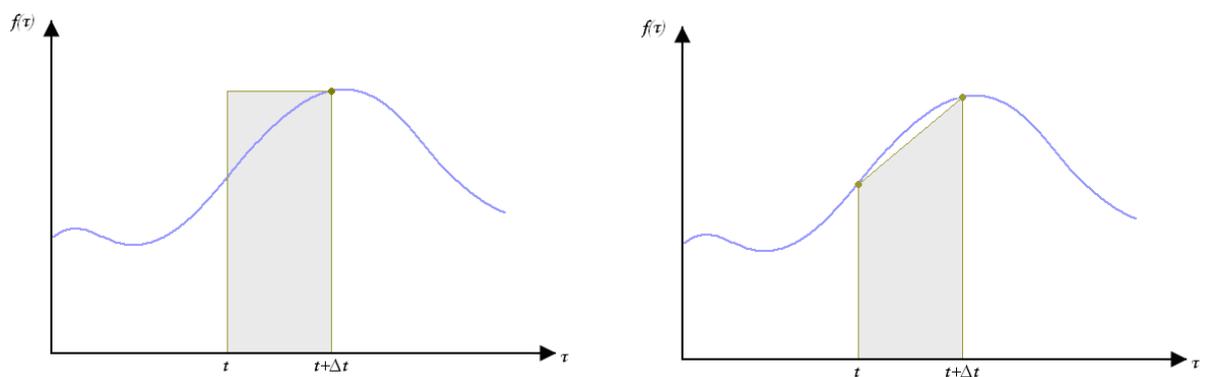


Figura 2. Métodos de Integração Euler Regressivo (esquerda) e Trapezoidal (direita).

Analicamente, os métodos de integração numérica Euler Regressivo e Trapezoidal podem ser representados pelas equações (1) e (2), respectivamente.

$$\int_t^{t+\Delta t} f(\tau) d\tau = f(t + \Delta t) * \Delta t \quad (1)$$

$$\int_t^{t+\Delta t} f(\tau) d\tau = \frac{\Delta t}{2} * [f(t) + f(t + \Delta t)] \quad (2)$$

Modelos

A partir das fórmulas dadas nas equações (1) e (2), e das equações características dos componentes, realiza-se a modelagem de resistores, indutores e capacitores. Estes modelos consistem em circuitos equivalentes de Thévenin e de Norton, os quais são esquematizados na Figura 3.

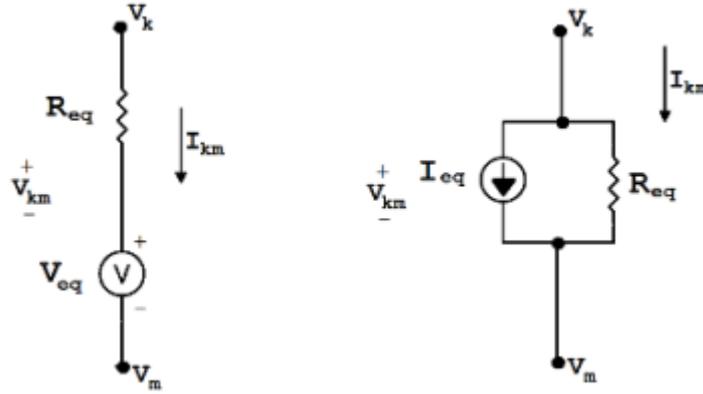


Figura 3. Circuitos Equivalentes de Thévenin (esquerda) e de Norton (direita).

Nestes modelos, as fontes de tensão e de corrente são fictícias e representam os parâmetros históricos do circuito, enquanto as resistências modelam o comportamento atual. Desta forma, existe um modelo discreto equivalente para cada passo de discretização [ARAÚJO E NEVES, 2004].

Na Figura 4, são apresentados os componentes que serão modelados, com a simbologia correspondente, como modelos discretos mostrados na Figura 3.

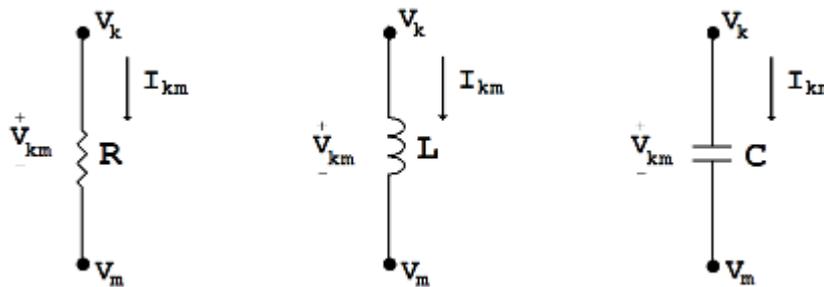


Figura 4. Resistor (esquerda), indutor (centro) e capacitor (direita).

A equação característica para um resistor linear e invariante com o tempo é dada na equação (3). Como a relação tensão/corrente para este dispositivo já é uma relação algébrica, então o circuito equivalente do resistor é ele próprio [DOMMEL, 1969].

$$V = R * I \tag{3}$$

Para um indutor linear e invariante com o tempo, cuja equação característica é dada na equação (4), faz-se necessário utilizar os métodos de integração numérica, sendo possível aproximar a tensão e a corrente no indutor por uma equação algébrica.

$$v = L \frac{di}{dt} \tag{4}$$

Após o desenvolvimento da integração numérica, utilizando os métodos Euler Regressivo e Trapezoidal, e a análise das equações de diferença obtidas, são determinados os modelos discretos equivalentes de Thévenin e Norton. Os parâmetros destes modelos são especificados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros dos modelos discretos de Thévenin e de Norton para o indutor.

Método de Integração	Circuito de Thévenin		Circuito de Norton	
	V_{eq}	R_{eq}	I_{eq}	R_{eq}
Euler Regressivo	$-\frac{L}{\Delta t} i_{km}(t - \Delta t)$	$\frac{L}{\Delta t}$	$i_{km}(t - \Delta t)$	$\frac{L}{\Delta t}$
Trapezoidal	$-v_{km}(t - \Delta t) - \frac{2L}{\Delta t} i_{km}(t - \Delta t)$	$\frac{2L}{\Delta t}$	$\frac{\Delta t}{2L} v_{km}(t - \Delta t) + i_{km}(t - \Delta t)$	$\frac{2L}{\Delta t}$

Para um capacitor linear e invariante com o tempo, cuja equação característica é dada na equação (5), realiza-se os mesmos procedimentos adotados para o indutor. Os parâmetros para os modelos discretos equivalentes são apresentados na Tabela 2.

$$i = C \frac{dv}{dt} \quad (5)$$

Tabela 2. Parâmetros dos modelos discretos de Thévenin e de Norton para o capacitor.

Método de Integração	Circuito de Thévenin		Circuito de Norton	
	V_{eq}	R_{eq}	I_{eq}	R_{eq}
Euler Regressivo	$v_{km}(t - \Delta t)$	$\frac{\Delta t}{C}$	$-v_{km}(t - \Delta t) \frac{C}{\Delta t}$	$\frac{\Delta t}{C}$
Trapezoidal	$v_{km}(t - \Delta t) + \frac{\Delta t}{2C} i_{km}(t - \Delta t)$	$\frac{\Delta t}{2C}$	$-\frac{2C}{\Delta t} v_{km}(t - \Delta t) - i_{km}(t - \Delta t)$	$\frac{\Delta t}{2C}$

2.5 Simulação de Circuitos Elétricos

O estudo introdutório de transitórios eletromagnéticos é realizado com a simulação de circuitos elétricos simples, cuja solução analítica é conhecida, pois assim é possível verificar facilmente a validade dos resultados. Para tanto, foram programadas rotinas básicas no software MATLAB® para solucionar, numericamente, três circuitos: RC, RL e RLC paralelo.

Os objetivos das simulações são: verificar a eficiência da modelagem estudada; demonstrar as qualidades da ferramenta MATLAB® na análise de circuitos elétricos; e integrar os conceitos da teoria de circuitos elétricos e os métodos numéricos em uma aplicação da Engenharia Elétrica.

Circuitos Elétricos

As simulações realizadas implementam a resposta a um degrau de circuitos RL, RC e RLC. A escolha dos circuitos a serem simulados foi realizada de acordo com a ementa da disciplina Circuitos Elétricos I.

Na Figura 5, é apresentado o circuito RL simulado. O circuito RC está exposto na Figura 6.

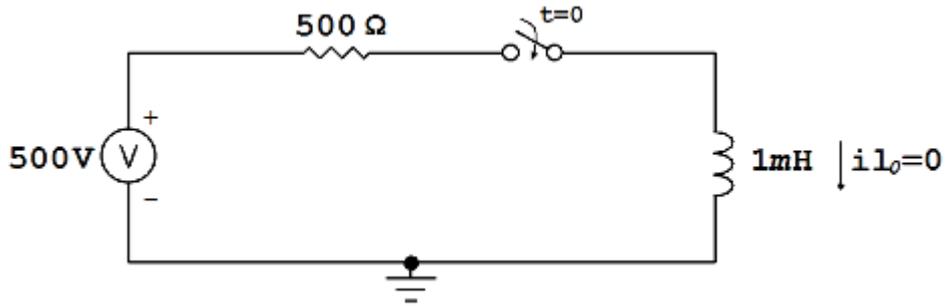


Figura 5. Circuito RL escolhido para simulação: configuração e parâmetros.

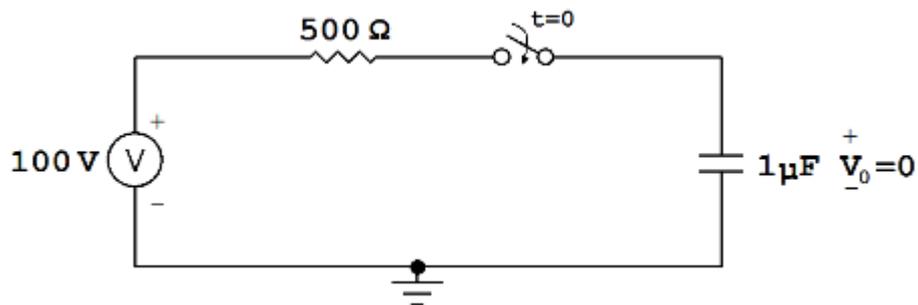


Figura 6. Circuito RC escolhido para simulação: configuração e parâmetros.

Para o circuito RLC foram realizadas três simulações. A configuração do circuito está exposta na Figura 7. As diferenças entre as simulações consistem nos valores dos parâmetros do circuito RLC, de tal modo que foram obtidas as respostas criticamente amortecida, subamortecida e superamortecida. O parâmetro alterado foi o valor da resistência: $R=400, 500, 625\Omega$. Os valores para a indutância e a capacitância são: $L=25\text{mH}$; $C=25\text{nF}$. Foi considerado também que as condições iniciais são nulas (corrente no indutor e tensão no capacitor).

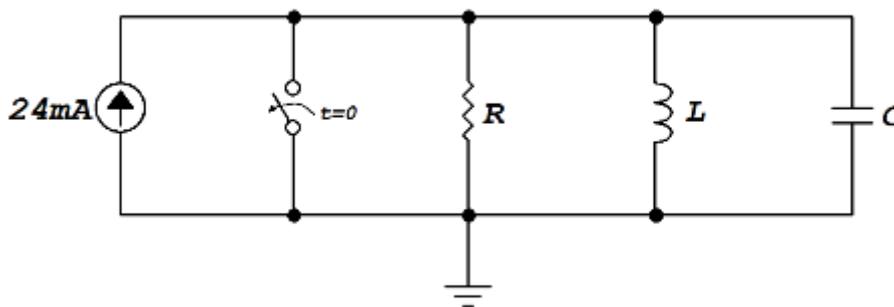


Figura 7. Configuração do circuito RLC escolhido para simulação.

Solução Numérica

Primeiramente, é necessário definir qual método de integração será utilizado para modelar os componentes em cada experimento. Para a simulação da resposta a um degrau do circuito RC foram utilizados os dois métodos de integração citados, com o objetivo de comparar as respostas numéricas obtidas, para cada método, com a solução analítica.

Na simulação da resposta a um degrau do circuito RL também foram utilizadas ambas as técnicas citadas, no entanto, desta vez a resposta numérica foi obtida com o uso do método Euler Regressivo nos primeiros passos, e o método Trapezoidal no restante da simulação.

Para as três simulações com o circuito RLC, utilizou-se apenas o método de integração Trapezoidal.

Estando definidos os métodos utilizados em cada experimento, realiza-se a modelagem dos componentes de cada circuito, a partir dos parâmetros fornecidos. Em seguida, substituem-se os elementos do circuito por seus modelos discretos, e então, realiza-se a simplificação e a análise do circuito equivalente discreto, com uso da teoria de circuitos elétricos.

Com a análise do circuito discreto, são obtidas as equações numéricas do circuito e as condições iniciais do sistema.

Por fim, é implementada uma rotina que calcula os valores das tensões e/ou correntes no circuito a cada passo de discretização. É importante ressaltar que o tempo foi discretizado em intervalos regulares.

Na Figura 8, é apresentado o circuito discreto equivalente obtido a partir do circuito RLC a ser simulado.

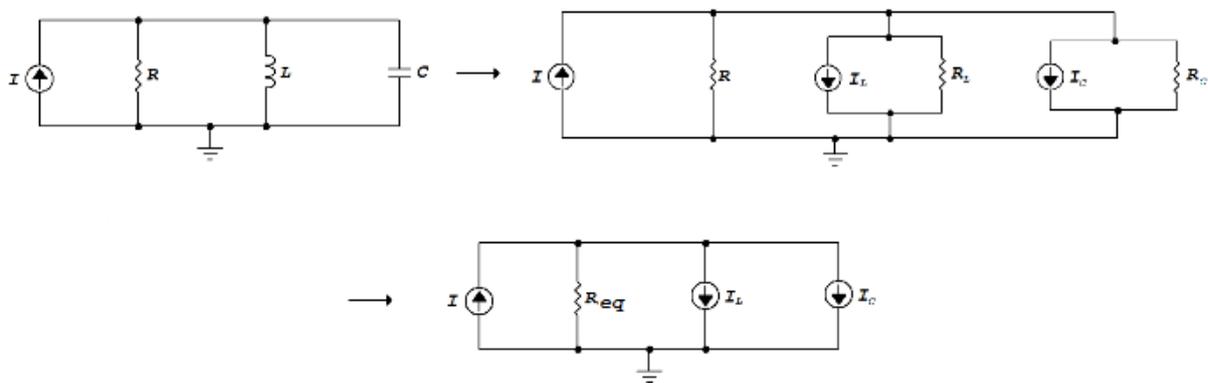


Figura 8. Circuito discreto equivalente para o circuito RLC.

Resultados

Na seqüência, serão apresentados alguns gráficos obtidos da simulação dos circuitos, a partir das rotinas executadas no MATLAB®. Estas curvas foram obtidas a partir dos valores discretos obtidos da simulação.

Na Figura 9, tem-se a comparação das soluções numéricas com a solução analítica para a tensão no capacitor do circuito RC.

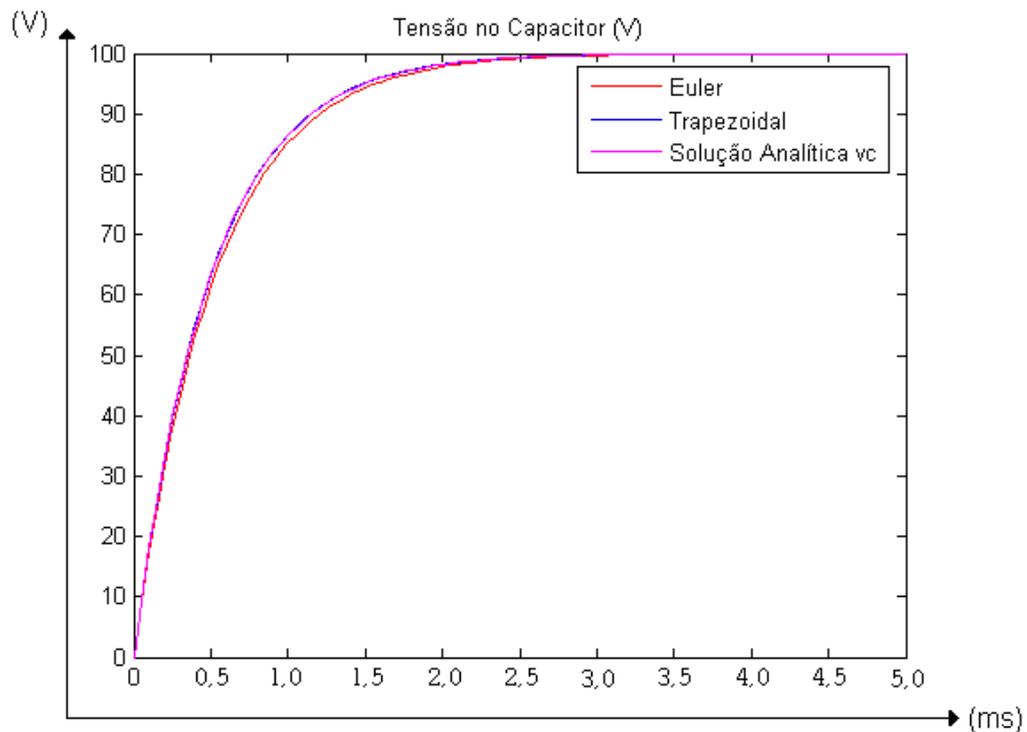


Figura 9. Tensão no capacitor. Passo de tempo: 50 microssegundos.

Na Figura 10 é representada a curva obtida para a corrente no indutor do circuito RL. Para este caso, utilizaram-se ambos os métodos no cálculo da solução. Desta forma, a resposta numérica é otimizada com relação ao uso de um único método de integração.

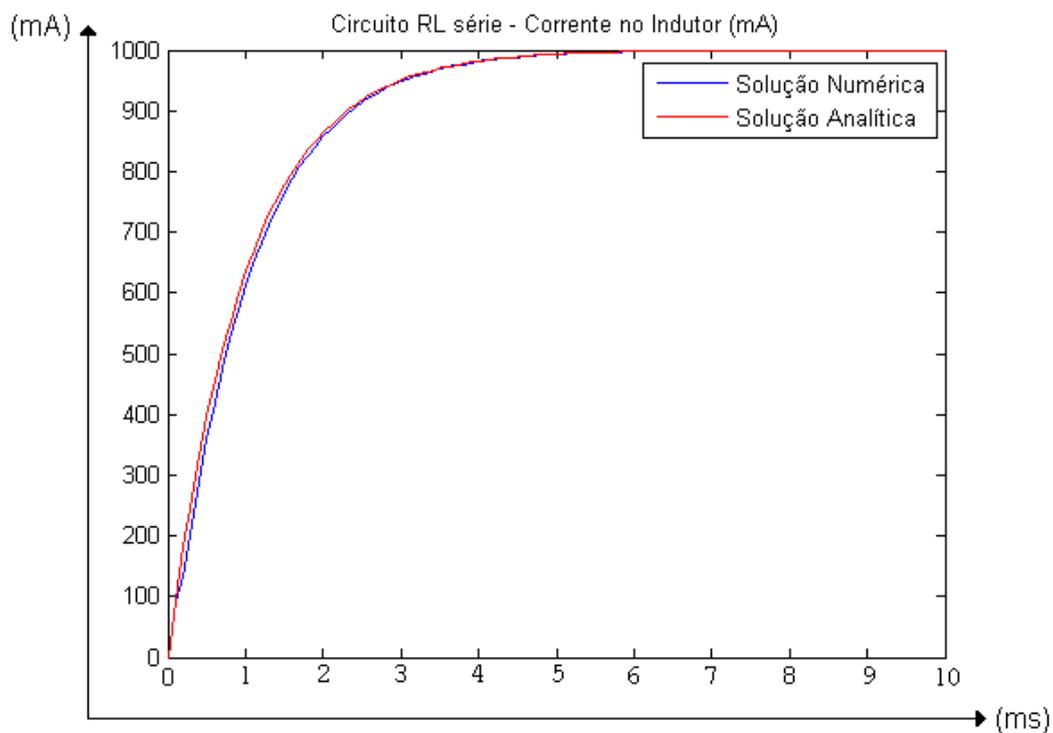


Figura 10. Corrente no indutor. Passo de tempo: 100 microssegundos.

As soluções numéricas para as respostas criticamente amortecida, subamortecida e superamortecida do circuito RLC, para a corrente no indutor, são representadas nas Figuras 11 e 12. Na Figura 11 são apresentadas as soluções numéricas e na Figura 12, a comparação das respostas calculadas com a solução analítica.

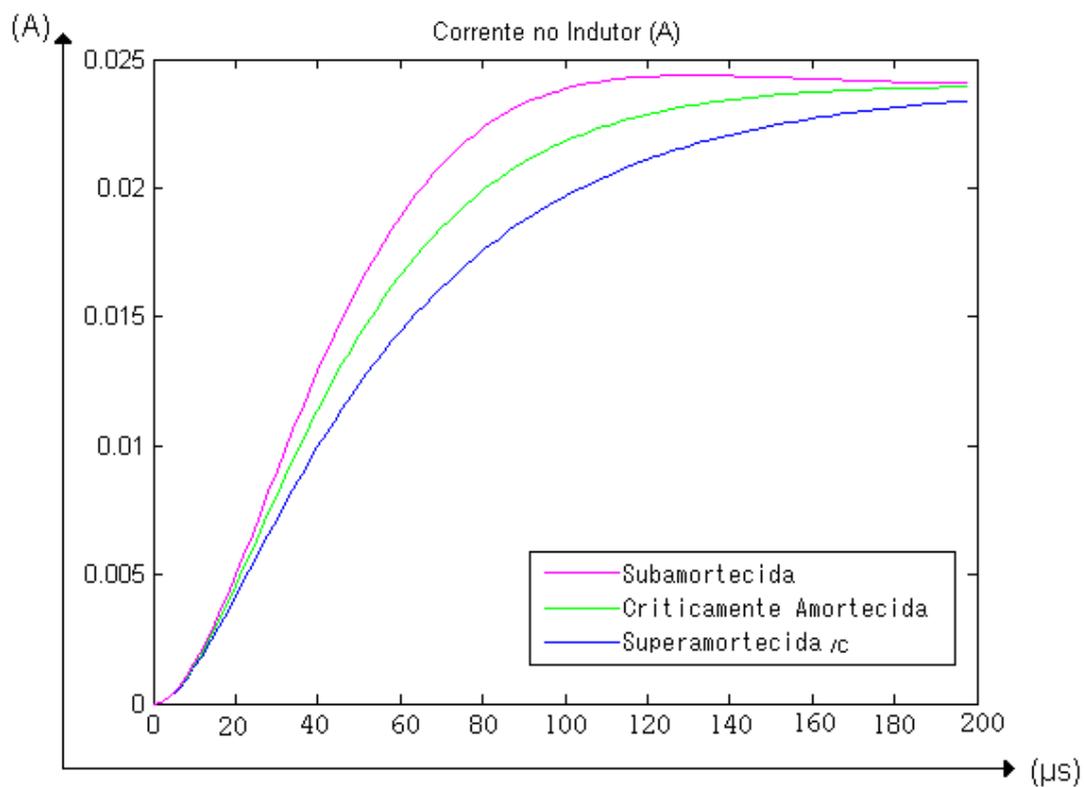


Figura 11. Soluções numéricas: Circuito RLC. Unidade de tempo: 2 microssegundos.

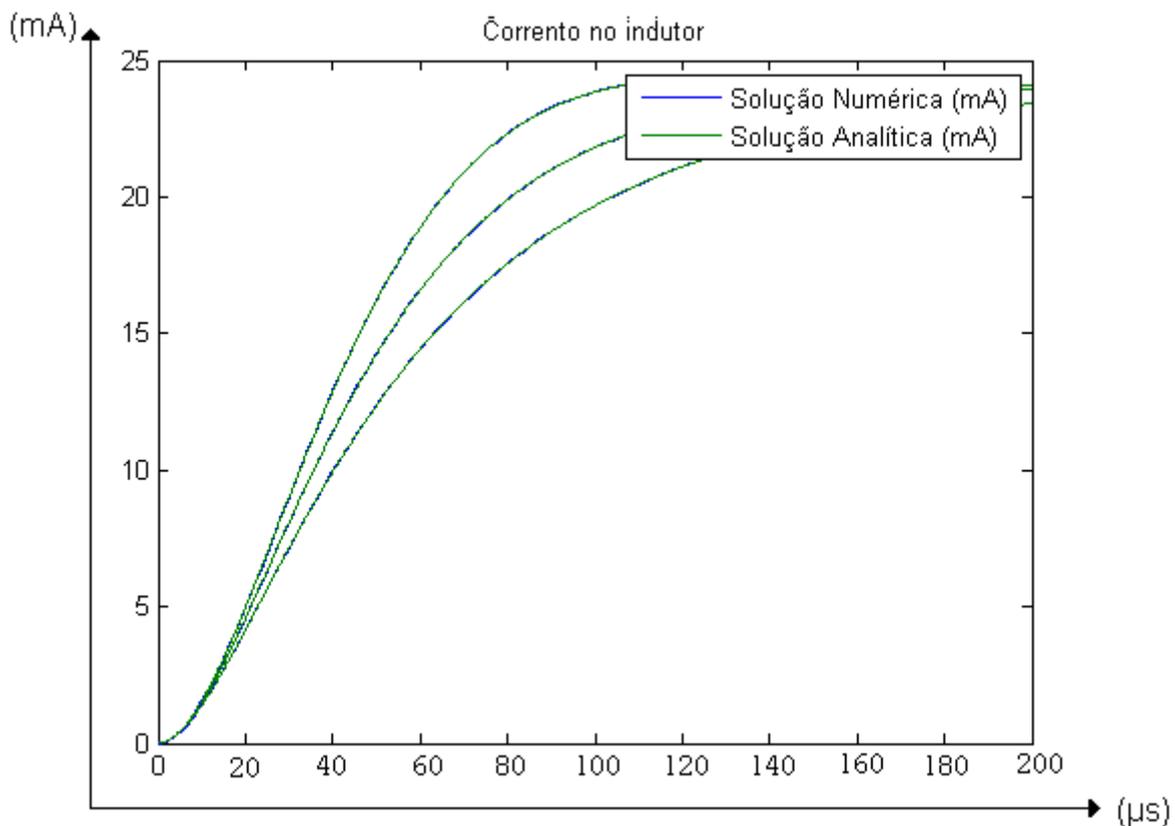


Figura 12. Comparação das solução numérica com a solução analítica.

2.6 Material Didático

O material didático é dividido em duas seções principais: Modelagem dos Componentes Elementares; e Simulação de Circuitos Elétricos. Na primeira, tem-se o desenvolvimento matemático das equações numéricas e, por conseguinte, a obtenção dos parâmetros dos circuitos discretos equivalentes.

Na segunda parte, são apresentadas as soluções analíticas e numéricas, as sub-rotinas implementadas e os resultados, os gráficos. Antes das soluções analíticas, tem-se um resumo teórico sobre os circuitos RL, RC e RLC em paralelo.

O material didático é disponibilizado na página WEB do Grupo PET-Elétrica da UFCG [<http://www.dee.ufcg.edu.br/~pet>].

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experiência de realizar uma atividade de pesquisa voltada para o ensino é bastante gratificante. Os objetivos e os méritos não são os mesmos de uma atividade de pesquisa convencional, mas são igualmente importantes.

É imprescindível que a educação da engenharia seja valorizada perante a produção de ciência. A inovação tecnológica e o desenvolvimento científico são grandes responsabilidades das Instituições de Ensino Superior, no entanto, é preciso lembrar que o principal objetivo da graduação ainda é o ensino, o aprendizado.

Desta forma, uma pesquisa realizada como complemento do ensino de graduação, sem antecipações forçadas, é aconselhável nos casos de alunos iniciantes neste tipo de atividade. A pesquisa com foco no ensino é diferenciada e não necessariamente geradora de ciência, mas, é

contribuinte com a melhoria do aprendizado e com o desenvolvimento de habilidades docentes.

Obviamente, este trabalho não possui a intenção de demonstrar que a metodologia adotada comumente nas pesquisas é errada ou não pedagógica. A pesquisa convencional é fundamental para o desenvolvimento da ciência, da tecnologia, e, portanto, nunca deve ser abandonada, e sim, intensificada.

O intuito do trabalho foi apresentar uma experiência metodológica que poderá ser utilizada por outros em atividades de pesquisas, as quais que poderão ser tão produtivas como as que seguem o método convencional.

Agradecimentos

Ao Programa de Educação Tutorial e à sua filosofia da indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão e da educação tutorial, que fizeram com que os estudos deste projeto de pesquisa não se destinassem apenas ao crescimento acadêmico individual da aluna.

Ao tutor, Prof. Dr. Edmar Candeia Gurjão, e ao orientador, Prof. Dr. Washington Neves, por terem dado credibilidade a idéia de focar o objetivo do projeto de pesquisa sobre Transitórios Eletromagnéticos em Sistemas de Potência no ensino.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A. E. A. de; NEVES, W. L. A. **Cálculo de Transitórios Eletromagnéticos em Sistemas de Energia**. Belo Horizonte: UFMG, 2004.

DOMMEL, H. W. Digital Computer Solution of Electromagnetic Transients in Single- and Multi-Phase Networks. **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems**, Vol. PAS-88, pp. 388-395, Abril, 1969.

NILSSON, J. W.; RIEDEL, S. A. **Circuitos Elétricos**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1999.

PILLAGE, L. T.; ROHRER, R. A.; VISWESWARIAH, C. **Electronic circuit and system simulation methods**. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1995.

SESu/MEC. **Manual de Orientações Básicas do PET**. Brasília, 2006.

ZANETTA JÚNIOR, L. C. **Transitórios Eletromagnéticos em Sistemas de Potência**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003.

THE MODELING AND SIMULATION OF ELECTRONIC CIRCUITS STRENGTHEN BACKGROUND ON POWER SYSTEM ANALYSIS

Abstract: *In this paper, some aspects of electric circuit theory and numerical methods are put together to stimulate the students interest for the research, develop his teaching abilities and improve his overall undergraduate education. More specifically, case studies on modeling and simulation of electronic circuits are coded under MATLAB® to speed up the student ability to learn the principles of electromagnetic transients and the use of general purpose EMTP (Electromagnetic Transient Programs) software. The project was carried out by a fourth semester Electrical Engineering undergraduate student and was brought up under an*

unusual methodology focused on education. The outcome of the project is the student's stronger background in power systems. Detailed written learning materials are made available for undergraduate students.

Key-words: Education, Modeling, Simulation, Electronic Circuits