

# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA  
DE MINAS GERAIS  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



## Plano de Ensino

<b>DISCIPLINA:</b> TESE: Análise de Transitórios em Redes Elétricas no Domínio do Tempo.	<b>CÓDIGO:</b> XXXXXX
--	--------------------------

**Validade:** A partir do 1º semestre de 2020.

**Carga Horária:** 60 horas-aula

**Créditos:** 04

**Área de Concentração / Módulo:** Sistemas Elétricos / Formação Básica

### Ementa:

Análise de circuitos elétricos de parâmetros concentrados utilizando equações diferenciais e transformada de Laplace. Análise de circuitos lineares com parâmetros concentrados utilizando métodos numéricos. Modelagem teórica e computacional de transformadores para análise de transitórios. Teoria e modelagem da propagação de ondas em linhas monofásicas e polifásicas sem perdas ou com perdas constantes. Teoria e modelagem da propagação de ondas em linhas monofásicas e polifásicas com perdas variáveis na frequência. Métodos e programas computacionais de análise de redes elétricas no domínio do tempo.

### INTERDISCIPLINARIDADES

#### Inter-relações desejáveis

É desejável que os conteúdos abordados na disciplina *Análise de Redes Elétricas no Domínio do Tempo* tenham relações diretas, principalmente, com as seguintes disciplinas e linhas de pesquisa:

- **Disciplinas** □ Métodos Numéricos, Teoria e Projeto de Sistemas Lineares, Análise de Redes Elétricas, Teoria Eletromagnética, Transitórios Eletromagnéticos em Altas Frequências, Interação entre Descargas Atmosféricas e Sistemas Elétricos, Desempenho de Linhas de Transmissão Aéreas Frente a Descargas Atmosféricas.
- **Linhas de Pesquisa** □ Eletromagnetismo Aplicado e Planejamento e Operação de Sistemas Elétricos de Potência (área de concentração: Sistemas Elétricos).

#### Objetivos - Possibilitar ao estudante:

- Discutir e compreender os principais conceitos associados à análise de redes elétricas no domínio do tempo.
- Aplicar conceitos fundamentais de eletromagnetismo, circuitos elétricos e sistemas elétricos de potência na modelagem e análise de redes elétricas no domínio do tempo.
- Modelar numericamente circuitos lineares, concentrados e distribuídos, para simulação de transitórios eletromagnéticos em sistemas elétricos.
- Modelar numericamente elementos não-lineares para simulação de transitórios eletromagnéticos em sistemas elétricos.
- Compreender a teoria e a modelagem computacional da propagação de ondas em linhas monofásicas e polifásicas sem perdas e com perdas (constantes e variáveis com a frequência).
- Simular problemas de análise de redes elétricas no domínio do tempo empregando

# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA  
DE MINAS GERAIS  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



## Plano de Ensino

ferramentas computacionais.

- Analisar transitórios de natureza diversa em sistemas elétricos e propor soluções de engenharia para redução dos níveis de sobretensões resultantes.

### Métodos Didáticos Utilizados

Marque com um X no quadro:

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Aula expositiva em quadro             | <input checked="" type="checkbox"/> Seminário           |
| <input type="checkbox"/> Aula com uso de transparência         | <input checked="" type="checkbox"/> Pesquisa            |
| <input checked="" type="checkbox"/> Aula com uso de multimídia | <input checked="" type="checkbox"/> Trabalho individual |
| <input type="checkbox"/> Aula prática                          | <input type="checkbox"/> Trabalho em grupo              |
| <input type="checkbox"/> Discussão de texto                    | <input type="checkbox"/> Visita técnica                 |
| <input type="checkbox"/> Filme                                 | <input type="checkbox"/> Outros: _____                  |

Unidades de ensino		Carga-horária Horas-aula
1	<b>Parte I – Introdução</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Modelagem de sistemas elétricos.</li><li>• Teoria eletromagnética x teoria de circuitos.</li><li>• Parâmetros concentrados x parâmetros distribuídos.</li><li>• Domínio do tempo x domínio da frequência.</li><li>• Sistemas lineares x sistemas não-lineares.</li></ul>	2
2	<b>Parte II – Transitórios em circuitos de parâmetros concentrados</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Interpretação física.</li><li>• Resposta natural e forçada de circuitos RLC.</li><li>• Resposta completa de circuitos RLC.</li><li>• Análise de circuitos elementares no domínio do tempo utilizando equações diferenciais.</li><li>• Análise de circuitos elementares no domínio da frequência utilizando transformada de Laplace.</li><li>• Convolução e resposta impulsiva.</li><li>• Cálculo da integral de convolução por método recursivo.</li><li>• Simulações no ATP.</li></ul>	10
3	<b>Parte III – Solução numérica de circuitos lineares com parâmetros concentrados</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Métodos básicos de solução de circuitos.</li><li>• Modelo para resistor.</li></ul>	8

# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA  
DE MINAS GERAIS  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



## Plano de Ensino

	<ul style="list-style-type: none"><li>• Modelo para indutor.</li><li>• Modelo para capacitor.</li><li>• Solução de transitórios via análise nodal.</li><li>• Análise de erro em indutores e capacitores.</li><li>• Representação de chaves.</li><li>• Simulações no ATP.</li></ul>	
4	<b>Parte IV – Modelagem de transformadores</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Modelos em estrela para transformadores monofásicos e trifásicos.</li><li>• Modelo “SATURABLE TRANSFORMER MODEL” disponível no ATP.</li><li>• Modelos matriciais para transformadores monofásicos e trifásicos de N enrolamentos.</li><li>• Modelo “BCTRAN” disponível no ATP.</li><li>• Modelos topológicos e modelo “Hybrid Model” disponível no ATP.</li><li>• Modelos de altas frequências.</li><li>• Simulações no ATP.</li></ul>	8
5	<b>Parte V – Propagação de ondas em linhas monofásicas</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Equacionamento básico.</li><li>• Parâmetros de linhas de transmissão monofásicas.</li><li>• Solução das equações de linhas de transmissão com perdas e sem perdas.</li><li>• Impedância característica e impedância de surto.</li><li>• Velocidade de fase e velocidade de propagação.</li><li>• Análise de descontinuidades.</li><li>• Solução numérica de transitórios em linhas monofásicas com perdas e sem perdas:<ul style="list-style-type: none"><li>- Transformação tempo-frequência-tempo;</li><li>- FDTD;</li><li>- Método das características.</li></ul></li><li>• Modelos de linhas monofásicas no ATP.</li><li>• Representação numérica de elementos não lineares.</li><li>• Para-raios.</li><li>• Influência da frequência no cálculo de parâmetros de linhas monofásicas (incluindo o efeito do solo).</li><li>• Regime permanente em linhas de transmissão.</li><li>• Simulações no ATP.</li></ul>	12
6	<b>Parte VI – Propagação de ondas em linhas polifásicas</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Equacionamento básico.</li><li>• Parâmetros de linhas de transmissão polifásicas.</li><li>• Solução das equações de linhas polifásicas sem perdas.</li><li>• Análise de descontinuidades.</li></ul>	12

# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA  
DE MINAS GERAIS  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



## Plano de Ensino

	<ul style="list-style-type: none"><li>• Equacionamento em componentes modais.</li><li>• Solução das equações de linhas polifásicas com perdas.</li><li>• Solução numérica de transitórios em linhas polifásicas com perdas e sem perdas:</li><li>• Modelos de linhas polifásicas no ATP.</li><li>• Variação dos parâmetros modais com a frequência.</li><li>• Simulações no ATP.</li></ul>	
7	<b>Parte IV – Cabos subterrâneos</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Tipos de cabos.</li><li>• Equacionamento no domínio da frequência e do tempo.</li><li>• Matriz de impedâncias longitudinais e admitâncias transversais.</li><li>• Cálculo da matriz de impedâncias internas.</li><li>• Cálculo da matriz de impedâncias de retorno pelo solo.</li></ul>	8
<b>Total</b>		<b>60</b>

### Métodos de Avaliação

O curso será no formato remoto e composto por atividades assíncronas e síncronas.

As atividades assíncronas consistirão, basicamente, em listas de exercícios, trabalhos práticos computacionais, orientações de leitura e disponibilização de vídeos.

As listas e os trabalhos devem ser entregues, sem exceção, em formato PDF e subidas no SIGAA. Elas devem estar apresentáveis e as equações devem ser digitadas utilizando algum editor próprio para isso (vide softwares livres com editores de equações, tais como Open Office, WPS Office, LatTeX, entre outros).

Os trabalhos práticos computacionais serão desenvolvidos em plataformas de programação como o GNU Octave ou similar, além de fazer uso do Alternative Transients Program (ATP). Dada a importância e o maior grau de complexidade desses trabalhos, recomenda-se que o seu desenvolvimento se inicie com antecedência. Os trabalhos devem ser entregues, sem exceção, em formato PDF e subidos no SIGAA.

Com relação à disponibilização de vídeos assíncronos, usar-se-á, preferencialmente, a plataforma Youtube e o link disponibilizado no SIGAA.

As atividades síncronas serão sempre realizadas no horário e dia da aula, segunda-feira e sexta-feira, de 18:50 à 22:30. A plataforma utilizada será o MSTeams.

Todas as avaliações serão realizadas de forma assíncrona e baseadas, mas não limitadas, ao conteúdo discutido de forma síncrona, assíncrona e na forma de listas de exercícios e trabalhos práticos computacionais. As avaliações serão individuais e devem ser feitas à mão, digitalizadas e subidas no SIGAA. É importante que a digitalização esteja legível.

# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA  
DE MINAS GERAIS  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



## Plano de Ensino

### Bibliografia Básica

- 1- L. C. Zanetta Júnior, Transitórios eletromagnéticos em sistemas de potência, Edusp, São Paulo, 2003.
- 2- A. Greenwood, Electrical transients in power systems, 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley & Sons, Inc., 1991.
- 3- A. E. A. de Araújo e W. L. A. Neves, Cálculo de transitórios eletromagnéticos em sistemas de energia, Editora UFMG, Belo Horizonte, 2005.

### Bibliografia Complementar

- 1- H. W. Dommel, Electromagnetic Transients Program Reference Manual: EMTP Theory Book, Bonneville Power Administration, Portland, 1986.
- 2- Electromagnetic Transients Program Rule Book, Bonneville Power Administration, Portland, 1982.
- 3- J. D. Glover, M. S. Sarma, and T. O. Overbye, Power system analysis and design, 5<sup>th</sup> ed., Cengage Learning, 2011.
- 4- C. R. Paul, Analysis of multiconductor transmission lines, 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley & Sons, Inc., 2008.
- 5- C. R. Paul, K. W. Whites, and S. A. Nasar, Introduction to electromagnetic fields, 3<sup>rd</sup> ed. McGraw-Hill, 1998.
- 6- A. P. S. Meliopoulos, Power system grounding and transients: an introduction, Marcel Dekker, Inc., 1988.
- 7- J. A. Martinez-Velasco, Power system transients: parameter determination, CRC Press, 2010.
- 8- Lou van der Sluis, Transients in power systems, John Wiley & Sons Ltd, 2001.
- 9- A. D'Azuz, Transitórios elétricos e coordenação de isolamento – aplicação em sistemas de potência de alta tensão, Universidade Federal Fluminense/EDUFF/FURNAS, Rio de Janeiro, 1987.
- 10- Normas Técnicas – ABNT, IEEE e IEC – a serem indicadas durante o curso.
- 11- Artigos Técnicos na área a serem indicados durante o curso.
- 12- Teses de Doutorado e Dissertações de Mestrado na área a serem indicadas durante o curso.