

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

DISCIPLINA: Tópicos Especiais: Modelagem e Controle de Sistemas de Conversão de Energia Eólica

CÓDIGO:

Validade: a partir do 1º semestre de 2026

Carga Horária: 60 horas-aula

Créditos: 04

Área de Concentração / Módulo: Modelagem e Controle de Sistemas / Disciplinas de Formação Específica

Ementa:

Visão geral dos sistemas de conversão de energia eólica: tipos de aerogeradores, classificações dos aerogeradores e requisitos para conexão com a rede; Fundamentos de controle de aerogeradores: componentes de um aerogerador, características de potência, controles mecânicos, rastreio do ponto de máxima potência; Modelagem de geradores; Conversores de potência para aerogeradores; Sistema com gerador de indução gaiola de esquilo; Sistema com gerador de indução duplamente alimentado; Sistema com gerador síncrono, de rotor bobinado ou de ímãs permanentes.

INTERDISCIPLINARIDADES

Inter-relações desejáveis

É desejável que os conteúdos abordados na disciplina *Modelagem e Controle de Sistemas de Conversão de Energia Eólica* tenham relações diretas, principalmente, com as seguintes disciplinas e linhas de pesquisa:

- **Disciplinas:** Eletrônica de Potência, Modelagem e Controle de Conversores Estáticos de Potência, Dinâmica de Máquinas Elétricas, Controle de Acionamentos Elétricos.
- **Linhas de Pesquisa:** Análise e Modelagem de Sistemas e Sistemas de Controle (área de concentração: Modelagem e Controle de Sistemas).

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

Objetivos

Possibilitar ao estudante obter os seguintes conhecimentos:

1. Conhecer os tipos de aerogerador e suas classificações;
2. Conhecer os componentes de um aerogerador típico;
3. Conhecer os tipos de geradores utilizados em aerogeradores;
4. Conhecer os tipos de conversores utilizados em aerogeradores;
5. Modelar matematicamente uma turbina eólica e desenvolver um método de rastreio do ponto de máxima potência;
6. Modelar matematicamente e desenvolver um sistema de controle para um aerogerador com:
 - Gerador de indução gaiola de esquilo;
 - Gerador de indução duplamente alimentado;
 - Gerador síncrono de rotor bobinado;
 - Gerador síncrono de ímãs permanentes.

Métodos Didáticos Utilizados

Marque com um x no quadro:

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Aula expositiva em quadro | <input checked="" type="checkbox"/> Seminário |
| <input checked="" 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 checked="" 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 Visão geral de sistemas de conversão de energia eólica: <ul style="list-style-type: none">• Classificações gerais: conectado à rede ou isolado, em terra ou em alto mar, eixo horizontal ou vertical, velocidade fixa, semivariável ou variável.• Classificações quanto ao tipo de conversor: velocidade fixa, velocidade variável com conversor de capacidade reduzida, velocidade variável com conversor de capacidade total.	4

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

	Fundamentos de controle de um aerogerador: <ul style="list-style-type: none"> • Componentes de um aerogerador; • Aerodinâmica: característica de potência, relação de velocidade (<i>tipspeedratio</i>), controle de <i>pitch</i>, controle passivo e ativo de <i>stall</i>; • Rastreio do ponto de máxima potência (<i>maximumpower point tracking</i>) (MPPT) 	
2		4
3	Modelagem de geradores: <ul style="list-style-type: none"> • Transformação de coordenadas: abc/$\alpha\beta$ e abc/dq; • Gerador de indução; • Gerador síncrono. 	12
4	Conversores de potência para aerogeradores: <ul style="list-style-type: none"> • Controladores de tensão CA (<i>soft-starters</i>); • Conversores boost <i>interleaved</i>; • Conversores fonte de tensão de dois níveis; • Conversores fonte de tensão de três níveis; • Conversores fonte de corrente. 	8
5	Sistema de conversão de energia eólica com gerador de indução gaiola de esquilo: <ul style="list-style-type: none"> • Controle por campo orientado direto; • Controle por campo orientado indireto; • Controle direto de conjugado. 	8
6	Sistema de conversão de energia eólica com gerador de indução duplamente alimentado: <ul style="list-style-type: none"> • Operação do DFIG super- e sub-síncrona; • Operação do DFIG com fator de potência unitário; • Operação com fator de potência atrasado e adiantado; • Controle orientado pelas tensões do estator. 	12
7	Sistema de conversão de energia eólica com gerador síncrono: <ul style="list-style-type: none"> • Controle com corrente de eixo d nula; • Controle com máximo conjugado por ampère; • Controle com fator de potência unitário; • Configuração com conversor <i>back-to-back</i>; • Configuração com conversor <i>boost</i> de interface; • Controle de potência reativa. 	12
Total		60

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

Métodos de Avaliação		
Avaliação	Unidades	Pontos
Seminário 1	1 e 2	20
Projeto de Simulação 1	3	25
Projeto de Simulação 2	4	25
Projeto de Simulação 3	5, 6 e 7	30

Informações Adicionais

A disciplina será realizada de forma híbrida com base na Instrução normativa PPGEL 003/2023, DE 28 DE ABRIL DE 2023.

- Atividades presenciais:
 - Total de horas: 30 horas (2 horas por semana).
 - Local: Campus III, Prédio 6, 3º andar, sala 6 do DEELP.
 - Encontros dedicados a atendimento aos alunos.
- Atividades remotas:
 - Total de horas: 60 horas-aula (15 encontros remotos).
 - Plataforma: Microsoft Teams.
 - Todos os encontros serão síncronos, com duração de 4 horas-aula (3h20min).
- Presença: é obrigatória a presença em todos os encontros síncronos.
- Recursos: o uso de áudio, inclusive microfone, é obrigatório nos encontros síncronos por parte dos discentes. O uso de câmera é facultativo, mas recomendado.
- Critérios de Aprovação:
 - Mínimo de 75% de presença.
 - Mínimo de 60% na nota final.

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. Wu, Bin, et al. *Power conversion and control of wind energy systems*. John Wiley & Sons, 2011.
2. Teodorescu, Remus, Marco Liserre, and Pedro Rodriguez. *Grid converters for photovoltaic and wind power systems*. John Wiley & Sons, 2011.
3. Ackermann, Thomas, ed. *Wind power in power systems*. John Wiley & Sons, 2012.

Bibliografia Complementar

1. Anaya-Lara, Olimpo, et al. *Offshore wind energy generation: control, protection, and integration to electrical systems*. John Wiley & Sons, 2014.
2. Yaramasu, Venkata, et al. "High-power wind energy conversion systems: State-of-the-art and emerging technologies." *Proceedings of the IEEE* 103.5 (2015): 740-788.
3. Yazdani, Amirmaser, and Reza Iravani. *Voltage-sourced converters in power systems: modeling, control, and applications*. John Wiley & Sons, 2010.

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica