



## Plano de Ensino para o Ano Letivo de 2020

| IDENTIFICAÇÃO  |  |                                     |
|--|--|-------------------------------------|
| Disciplina:<br>Sistemas de Potência  |  | Código da Disciplina:<br>EET262     |
| Course:<br>Electrical engineering  |  |                                     |
| Materia:<br>Ingeniería Eléctrica   |  |                                     |
| Periodicidade: Anual   | Carga horária total: 160   | Carga horária semanal: 02 - 00 - 02 |
| Curso/Habilitação/Ênfase:<br>Engenharia Elétrica<br>Engenharia Elétrica  | Série:<br>4<br>5   | Período:<br>Diurno<br>Noturno       |
| Professor Responsável:<br>Romildo de Campos Paradelo Junior  | Titulação - Graduação<br>Engenheiro em Elétrica e Licenciado em Matemática | Pós-Graduação<br>Mestre             |
| Professores:<br>Romildo de Campos Paradelo Junior  | Titulação - Graduação<br>Engenheiro em Elétrica e Licenciado em Matemática | Pós-Graduação<br>Mestre             |
| OBJETIVOS - Conhecimentos, Habilidades, e Atitudes   |  |                                     |
| <p>Objetivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Preparar o futuro engenheiro eletricitista para lidar com os aspectos energéticos e fornecer o conhecimento necessário para escolher os equipamentos para desempenhar as funções operacionais, para cada aplicação específica após a análise do sistema onde o mesmo se inserirá.</li> <li>- Propiciar ao futuro engenheiro eletricitista desempenhar suas funções profissionais a contento, pois, a disciplina ensina a analisar o desempenho do equipamento em uma rede elétrica.</li> <li>- Conscientizar o futuro profissional sobre a utilidade de qualquer equipamento que esteja projetando, fabricando ou especificando, seja de alta tensão ou de baixa tensão, seja um equipamento de manobra, seja um equipamento rotativo, ou um equipamento para realizar manutenção do sistema elétrico de potência.</li> <li>- Criar condições para o futuro profissional planejar um novo sistema de potência, com base no resultado de fluxo de potência e da análise de curtos-circuitos.</li> <li>- Colocar os alunos em contato com: Os dispositivos de medidas e as suas ligações; a montagem dos circuitos de laboratório e os cuidados com os equipamentos e medidores, além de aspectos relacionados à segurança pessoal.</li> <li>- Apresentar ferramentas computacionais que podem ser utilizadas para simular sistemas elétricos de potência, permitindo verificar a aplicação dos conceitos teóricos desenvolvidos.</li> </ul> <p>Conhecimentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Representação do sistema elétrico de potência em pu (por unidade).</li> </ul> |  |                                     |



- Teoria das componentes simétricas e as suas aplicações em sistemas de potência.
- Formação da matriz admitância de barras (nós).
- Análise de curtos-circuitos em redes elétricas.
- Análise de fluxo de potência em redes elétricas.
- Medição de grandezas elétricas em laboratório.
- Montagem e análise de circuitos em laboratório.

#### Habilidades:

- Resolução de curtos-circuitos objetivando elaborar especificação de equipamentos elétricos e elaborar estudos de seletividade da proteção.
- Interpretação de resultados obtidos na análise de fluxo de potência, para fins de planejamento de sistema e para fins de especificações de equipamentos.
- Utilizar instrumentos de medidas e realizar experimentos práticos.

#### Atitudes:

- Saber planejar, investigar e analisar redes elétricas de potência.
- Saber definir parâmetros básicos para a especificação de equipamentos elétricos.
- Projetar e conceber sistemas elétricos de potência.

### EMENTA

Apresentação de um Sist. Elétrico de Potência. Valores por unidade (pu): Representação dos equipamentos elétricos em pu; vantagens do sistema pu. Componentes simétricas: aplicação em circuitos trifásicos desequilibrados; Estudo de faltas de vários tipos. Análise nodal em SP ; solução de equações matriciais; eliminação de nós. Estudo de SP em regime permanente: Fundamentos; dependência da potência ativa e reativa com a tensão e a frequência; balanço energético; formulação básica do problema de fluxo de potência; potência líquida em um nó; métodos iterativos aplicados na solução do fluxo de potência: Gauss Seidel e Newton-Raphson; fluxo de potência linearizado. Atividades de laboratório: Circuitos monofásicos em CA ; regime permanente senoidal (CA). Circuitos trifásicos em CA com cargas equilibradas e desequilibradas. Medição de potência e verificação experimental do Teorema de Blondel. Medição de grandezas elétricas utilizando o analisador de energia. Determinação da impedância percentual de um transformador. Ligação de bancos de transformadores. Paralelismo de transformadores. Determinação das componentes simétricas. Medição da resist. isolam/terra, Simulação computac



## SYLLABUS

Presentation of a System Electric Power. Values per unit (pu): Representation of electrical equipment in pu; advantages of the pu system. Symmetrical components: application in unbalanced three-phase circuits; Study of faults of various types. Nodal analysis in SP; solution of matrix equations; eliminating knots. Study of SP under permanent regime: Foundations; dependence on active and reactive power with voltage and frequency; energetic balance; basic formulation of the power flow problem; net power in one node; Iterative methods applied in the power flow solution: Gauss Seidel and Newton-Raphson; linearized power flow. Laboratory activities: Single-phase circuits in AC - permanent sinusoidal (AC) regime. Three-phase AC circuits with balanced and unbalanced loads. Power measurement and experimental verification of Blondel's Theorem. Measurement of electrical quantities using the energy analyzer. Determination of the percentage impedance of a transformer. Connection of transformer banks. Transformer parallelism. Determination of symmetrical components. Resistance measurement. isolate / earth, Computer simulation

## TEMARIO

Presentación de un Sist. Eléctrico de Pot. Valores por unidad: Representación de los equipos eléctricos en pu; ventajas del sistema pu. Comp. simétricos: aplicación en circ.trif. desequil.; Estudio de faltas de varios tipos. Análisis nodal en SP; solución de ecuaciones matriciales; eliminación de nodo. Estudio de SP en régimen permanente: Fundamentos; dependencia de la potencia activa y reactiva con la tensión y la frecuencia; balance energético; la formulación básica del problema de flujo de potencia; potencia en un nodo; métodos iterativos aplicados en la solución del flujo de potencia: Gauss Seidel y Newton-Raphson; flujo de potencia linealizado. Actividades de laboratorio: Circuitos monofásicos en CA - régimen permanente sinusoidal (CA). Circuitos trifásicos en CA con cargas equilibradas y desequilibradas. Medición de potencia y verificación experimental del Teorema de Blondel. Medición de magnitudes eléctricas utilizando el analizador de energía. Det de la impedancia porcentual de un transformador. Conexión de bancos de transformadores. Paralelismo de los transformadores. Det de los componentes simétricos. Medición de la resistencia. Simulation Comput.

## ESTRATÉGIAS ATIVAS PARA APRENDIZAGEM - EAA

Aulas de Teoria - Não  
Aulas de Laboratório - Não

## METODOLOGIA DIDÁTICA

### PARTE TEÓRICA:

- Aulas expositivas com utilização do quadro negro tradicional complementada com a apresentação de arquivos em data show.
- Utiliza-se uma quantidade de exercícios padrão que reforçam a compreensão da teoria.
- Utiliza-se também da prática de elaboração de exercícios como tarefa caseira, com entrega obrigatória, sendo solicitadas de uma a quatro folhas de exercícios a cada bimestre letivo.

**PARTE PRÁTICA:**

- Uso do laboratório de eletrotécnica com experiências envolvendo circuitos trifásicos equilibrados e desequilibrados, transformadores e medidores de grandezas elétricas.
- Utilização de computadores com programas para cálculo de curtos-circuitos e de fluxo de carga de redes elétricas.
- Realização de exercícios avaliativos.

|  |
|--|
| <b>CONHECIMENTOS PRÉVIOS NECESSÁRIOS PARA O ACOMPANHAMENTO DA DISCIPLINA</b> |
|--|

Conhecimentos Prévios Necessários para o Acompanhamento da Disciplina:

- Operações com matrizes.
- Conhecimentos básicos de física, tais como força, conjugado, energia, leis da conservação da energia.
- Bons conhecimentos na análise e resolução de circuitos elétricos em regime permanente senoidal. Em particular, dominar a utilização e a aplicação do teorema de Thévenin.
- Saber aplicar e resolver circuitos elétricos por equações de malha e por equações de nós. Leis de Kirchhoff (primeira e segunda).

**PARTE PRÁTICA:**

- Conversão eletromecânica de energia. (disciplina ministrada no primeiro semestre letivo)
- Circuitos elétricos.
- Medição de tensão, corrente contínua, corrente alternada e potência.

|                                   |
|-----------------------------------|
| <b>CONTRIBUIÇÃO DA DISCIPLINA</b> |
|-----------------------------------|

A disciplina contribui amplamente na formação do Engenheiro Eletricista, possibilitando que o mesmo, ao término do curso, seja capaz de:

- Representar os equipamentos constituintes de um sistema elétrico de potência em pu (por unidade).
- Utilizar e aplicar a teoria das componentes simétricas na resolução de circuitos e sistemas elétricos de potência.
- Calcular e analisar o sistema de potência na ocorrência de uma falta (curto-circuito).
- Dominar as operações com matrizes e as suas aplicações nos sistemas elétricos de potência (Matrizes impedância de barras e admitâncias de barras).
- Analisar o comportamento de um sistema elétrico de potência em regime permanente senoidal (Fluxo de Potência).
- Utilizar software para análise de sistemas elétricos de potência.



## BIBLIOGRAFIA

**Bibliografia Básica:**

ELGERD, Olle I. Introdução a teoria de sistemas de energia elétrica. Tradução de Ademaro Alberto Machado Bittencourt Cotrim. São Paulo, SP: McGraw-Hill, 1976. 604 p.

OLIVEIRA, Carlos César Barioni de. Introdução a sistemas elétricos de potência: componentes simétricas. 2. ed. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 1996. 467 p.

SATO, Fujio; FREITAS, Waldir. Análise de curto-circuito e princípios de proteção em sistemas de energia elétrica: fundamentos e prática. Rio de Janeiro: Elsevier, c2015. 447 p. ISBN 9788535268867.

STEVENSON JR., William D. Elementos de análise de sistemas de potência. Trad. de Ademaro A. M. B. Cotrim. São Paulo, SP: McGraw-Hill, 1974. 347 p.

ZANETTA JR., Luiz Cera. Fundamentos de sistemas elétricos de potência. São Paulo, SP: Livraria da Física, 2006. 312 p. ISBN 8588325411.

**Bibliografia Complementar:**

ANDERSON, Paul M. Analysis of faulted power systems. New York: IEEE, c1995. 513 p. (IEEE Press Power System Engineering Series). ISBN 9780780311459.

BRENNER, Egon; JAVID, Mansour. Analysis of electric circuits. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1967. 724 p.

GLOVER, J. Duncan; SARMA, Mulukutla. Power system analysis and design. 2. ed. Boston: PWS, 1994. 583 p. ISBN 0-53493-960-0.

GRAINGER, John J; STEVENSON JR., William D. Power system analysis. New York: McGraw-Hill, 1994. 787 p. ISBN 0-07-061293-5.

GUILE, A. E; PATERSON, W. Electrical power systems. Edinburgh: Oliver & Boyd, 1969. v. 1.

GUILE, A. E; PATERSON, W. Electrical power systems. Edinburgh: Oliver & Boyd, 1969. v. 2.

KAGAN, Nelson. Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica. 2. ed. rev. São Paulo, SP: Blucher, 2012. 328 p. ISBN 9788521205395.

MENDES, Serafim Bragança. Sistemas de potência. [s.l.]: CEUN-EEM, 1981. v. 3. s p.



- MENDES, Serafim Bragança. Sistemas de potência. s.l.p: CEUN-EEM, 1981. v. 1.
- MENDES, Serafim Bragança. Sistemas de potência: teoria. s.l.p: CEUN-EEM, 1982. 241 p.
- MENDES, Serafim Bragança; EEM/DEL. Sistemas de potência: exercícios. : CEUN-EEM, 1982. 133 p.
- MOHAN, Ned. Sistemas elétricos de potência: curso introdutório. Rio de Janeiro: GEN/LTC, c2016. 217 p. ISBN 9788521627722.
- PORTELA, Carlos Manoel de J. C. Medeiros. Sistemas de potência. São Caetano do Sul, SP: CEUN-EEM, 1982. v. 1.
- PORTELA, Carlos Manoel de J. C. Medeiros. Sistemas de potência. São Caetano do Sul, SP: CEUN-EEM, 1982. v. 2.
- PORTELA, Carlos Manoel de J. C. Medeiros. Sistemas de potência. São Caetano do Sul, SP: CEUN-EEM, 1982. v. 3.
- WEEDY, Birron Mathew. Sistemas elétricos de potência. Tradução de Ernesto João Robba. São Paulo, SP: Polígono, EDUSP, 1973. 363 p.

#### **AValiação (conforme Resolução RN CEPE 16/2014)**

Disciplina anual, com trabalhos e provas (quatro e duas substitutivas).

Pesos dos trabalhos:

$k_1$ : 1,0    $k_2$ : 1,0    $k_3$ : 1,0    $k_4$ : 1,0

Peso de MP( $k_p$ ): 7,0

Peso de MT( $k_T$ ): 3,0

#### **INFORMAÇÕES SOBRE PROVAS E TRABALHOS**

Os trabalhos previstos nesta disciplina são:

- 1) Laboratórios de experiências elétricas.
- 2) Exercícios avaliativos de sistemas elétricos de potência.
- 3) Simulações computacionais.

O aluno deverá participar dos laboratórios e entregar os respectivos relatórios das experiências.

A nota de trabalhos de cada bimestre ( $T_i$ ) será composta de duas partes:

- 1) Nota de participação efetiva nos laboratórios e respectivos relatórios.



2) Nota de exercícios avaliativos (1 por bimestre) e complementares.

A nota Ti será a média aritmética simples entre as notas de participação, relatórios, exercícios avaliativos e complementares. Alguns trabalhos de maior complexidade, a critério do professor responsável pela disciplina, poderão ter pesos diferentes na composição da nota Ti.

Observações:

1)Os relatórios devem ser entregues na aula seguinte a realização do experimento.

2)Os exercícios avaliativos devem ser entregues no final da aula destinada para a sua realização.

3)Não haverá reposição das atividades de laboratório e exercícios avaliativos, salvo nos casos amparados pela legislação Brasileira e pelo regimento do CEUN - IMT.

**OUTRAS INFORMAÇÕES**

A critério exclusivo do professor responsável pela disciplina, os trabalhos poderão ser entregues no dia da prova bimestral.



**SOFTWARES NECESSÁRIOS PARA A DISCIPLINA**

Para o desenvolvimento da disciplina poderão ser utilizados os seguintes softwares:

i) Matlab;

ii) Power World;

iii) PSP-UFU - Plataforma de Sistemas de Potência - Universidade Federal de Uberlândia. Software gratuito desenvolvido por pesquisador da UFU, disponível em: <https://thales1330.github.io/PSP/>

iv) Anafas e Anarede (CEPEL). Ferramentas disponíveis para uso dos alunos no laboratório de informática do CEUN-IMT - Bloco W.



## APROVAÇÕES

Prof.(a) Romildo de Campos Paradelo Junior  
Responsável pela Disciplina

Prof.(a) Edval Delbone  
Coordenador(a) do Curso de Engenharia Elétrica

Data de Aprovação:



## PROGRAMA DA DISCIPLINA

| Nº da semana | Conteúdo   |
|--------------|--|
| 1 L          | Semana de recepção aos calouros.   |
| 1 T          | Semana de recepção aos calouros.   |
| 2 T          | Apresentação do professor, da disciplina e dos critérios de avaliação. Conceitos básicos sobre sistemas de potência. Introdução ao estudo de valores percentuais e por unidade (pu). |
| 2 L          | Laboratório 1: Apresentação do laboratório e regras de segurança no ambiente laboratorial. Noções sobre a norma regulamentadora NR 10.   |
| 3 T          | Carnaval - Não letivo.   |
| 3 L          | Carnaval - Não letivo.   |
| 4 T          | Valores por unidade. Representação dos equipamentos constituintes de um sistema de potência e análise de diagramas unifilares.   |
| 4 L          | Laboratório 2: Circuitos Monofásicos em Corrente Alternada no regime permanente senoidal. Medidas de Tensão, Corrente, Potência, Energia.  |
| 5 L          | Laboratório 3: Circuitos Trifásicos em Corrente Alternada no regime permanente senoidal com cargas equilibradas e desequilibradas - Parte 1: Fundamentação Teórica.                  |
| 5 T          | Valores por unidade. Representação do transformador monofásico.  |
| 6 T          | Valores por unidade. Mudança de base.  |
| 6 L          | Laboratório 3: Circuitos Trifásicos em Corrente Alternada no regime permanente senoidal com cargas equilibradas e desequilibradas - Parte 2: Montagem e medição em laboratório.      |
| 7 L          | Laboratório 4: Determinação experimental da impedância em pu de um transformador monofásico.   |
| 7 T          | Transformadores trifásicos e banco de transformadores. Vantagens da representação em pu.   |
| 8 T          | Exercício de aplicação envolvendo a representação de um sistema de potência em pu.   |
| 8 L          | Laboratório 5: Exercício Avaliativo 1 - Representação e cálculo de sistemas de potência em pu (por unidade).   |
| 9 L          | Prova P1.  |
| 9 T          | Prova P1.  |
| 10 T         | Componentes simétricas. Apresentação do Teorema de Fortescue e as suas aplicações nos sistemas elétricos de potência.  |
| 10 L         | Correção e comentários da prova P1.  |
| 11 L         | Laboratório 6: Banco de transformadores.   |
| 11 T         | Resolução de circuitos trifásicos utilizando as componentes simétricas.  |
| 12 T         | Resolução de circuitos trifásicos utilizando as componentes simétricas. Potência em termos das componentes simétricas.   |
| 12 L         | Laboratório 7: Determinação experimental das componentes simétricas - Montagem e medição em laboratório.   |
| 13 L         | Laboratório 8: Medição de Potência em circuitos trifásicos - Parte 1: Fundamentação Teórica.   |
| 13 T         | Representação dos equipamentos constituintes de um sistema de potência em termos das componentes simétricas.   |



|      |   |
|------|---|
| 14 T | Diagramas sequenciais em pu.  |
| 14 L | Laboratório 8: Medição de Potência em circuitos trifásicos - Parte 2: Montagem e medição em laboratório utilizando wattímetros analógicos.                      |
| 15 T | Semana de inovação - SMILE.   |
| 15 L | Semana de inovação - SMILE.   |
| 16 L | Laboratório 8: Medição de Potência em circuitos trifásicos - Parte 3: Montagem e medição em laboratório utilizando multimetror digital e analisador de energia. |
| 16 T | Análise nodal do sistema elétrico de potência: Conceito de corrente impressa e formação da matriz admitância de barras (Ybus).                                  |
| 17 L | Laboratório 9: Introdução ao Matlab e pequenas simulações de sistemas elétricos de potência e circuitos trifásicos.   |
| 17 T | Redução de rede. Análise da eliminação de nós com ou sem fonte.   |
| 18 T | Redução de rede. Análise da eliminação de nós com ou sem fonte. Exemplo de aplicação.   |
| 18 L | Laboratório 10: Exercício Avaliativo 2 - Análise nodal em sistemas de potência.   |
| 19 L | Prova P2.   |
| 19 T | Prova P2.   |
| 20 L | Prova P2.   |
| 20 T | Prova P2.   |
| 21 T | Prova PS1.  |
| 21 L | Prova PS1.  |
| 22 T | Introdução ao estudo de faltas (curto-circuitos) em um sistema elétrico de potência. Conceitos e fundamentos básicos.   |
| 22 L | Correção e comentários das provas P2 e PS1.   |
| 23 L | Laboratório 11: Defasagem angular de transformadores trifásicos - Parte 1: Fundamentação Teórica.   |
| 23 T | Faltas simétricas. Modelagem através dos conceitos de componentes simétricas.   |
| 24 T | Faltas assimétricas. Modelagem através dos conceitos de componentes simétricas.   |
| 24 L | Laboratório 11: Defasagem angular de transformadores trifásicos - Parte 2: Montagem e medição em laboratório.   |
| 25 T | Potência de curto-circuito trifásica e monofásica. Fundamentação teórica e aplicação em sistemas de potência. Exemplo de aplicação.                             |
| 25 L | Cálculo de curto-circuito em um sistema elétrico de potência com apenas uma fonte. Exemplo de aplicação.  |
| 26 T | Cálculo de curto-circuito em um sistema elétrico de potência com mais de uma fonte. Exemplo de aplicação.   |
| 26 L | Laboratório 12: Cálculo de curto circuito em sistemas de potência utilizando ferramentas computacionais.  |
| 27 L | Laboratório 13: Exercício Avaliativo 3 - Cálculo de curto circuito em sistemas de potência.   |
| 27 T | Cálculo de curto-circuito em um sistema elétrico de potência com mais de uma fonte. Exemplo de aplicação.   |
| 28 L | Prova P3.   |
| 28 T | Prova P3.   |
| 29 T | Introdução ao estudo e análise de um sistema de potência em regime permanente senoidal. Relação entre Potência ativa, Potência reativa, Tensão e Frequência.    |



|   |  |
|---|--|
| 29 L  | Correção e comentários da prova P3.  |
| 30 L  | Laboratório 14: Paralelismo de transformadores trifásicos - Parte 1: Fundamentação Teórica.  |
| 30 T  | Fluxo de potência em uma linha de transmissão. Equacionamento das potências líquidas em uma barra.                                 |
| 31 L  | Laboratório 14: Paralelismo de transformadores trifásicos - Parte 2: Montagem e medição em laboratório.                            |
| 31 T  | Estudo de fluxo de carga em sistemas de potência com n barras. Equacionamentos e exemplo de aplicação.                             |
| 32 T  | Processos iterativos aplicados na solução do fluxo de potência - Método de Gauss-Seidel.   |
| 32 L  | Exercício de aplicação do cálculo de fluxo de potência pelo método de Gauss-Seidel.  |
| 33 L  | Exercício de aplicação do cálculo de fluxo de potência pelo método de Newton-Raphson.  |
| 33 T  | Processos iterativos aplicados na solução do fluxo de potência - Método de Newton-Raphson.   |
| 34 L  | Exercício de aplicação do cálculo de fluxo de potência pelo método de Newton-Raphson. Uso de ferramentas computacionais.           |
| 34 T  | Processos iterativos aplicados na solução do fluxo de potência - Método de Newton-Raphson. Análise e formação da Matriz Jacobiana. |
| 35 L  | Laboratório 15 - Exercício Avaliativo 4: Cálculo de fluxo de potência utilizando processos iterativos.                             |
| 35 T  | Fluxo de potência linearizado (DC). Equacionamento e exemplo de aplicação.   |
| 36 T  | Prova P4.  |
| 36 L  | Prova P4.  |
| 37 L  | Prova P4.  |
| 37 T  | Prova P4.  |
| 38 T  | Correção, vista e comentários da prova P4.   |
| 38 L  | Correção, vista e comentários da prova P4.   |
| 39 L  | A disposição dos alunos para esclarecer dúvidas relativas ao conteúdo da prova PS2.  |
| 39 T  | A disposição dos alunos para esclarecer dúvidas relativas ao conteúdo da prova PS2.  |
| 40 T  | Prova PS2.   |
| 40 L  | Prova PS2.   |
| 41 T  | Encerramento da disciplina.  |
| 41 L  | Encerramento da disciplina.  |
| Legenda: T = Teoria, E = Exercício, L = Laboratório |  |
|   |  |