

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA****CENTRO TECNOLÓGICO**

Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica

Campus Trindade - CEP 88040-900 - Florianópolis SC

Tel: 48 3721-2260

**PLANO DE ENSINO 2020.2<sup>1</sup>****I. IDENTIFICAÇÃO DA DISCIPLINA:**

CÓDIGO	NOME DA DISCIPLINA	HORAS-AULA SEMANAIS		HORAS-AULA SEMESTRAIS
		TEÓRICAS	PRÁTICAS	
EEL7202	Acionamentos Elétricos e Eletrônicos	4	0	64 horas

**II. PROFESSOR(ES) MINISTRANTE(S)**

Prof. Denizar Cruz Martins

**III. PRÉ-REQUISITO(S) (Código(s) e nome da(s) disciplina(s))**

EEL7074	Eletrônica de Potência 1
EEL7064	Conversão Eletromecânica de Energia A
EEL7073	Conversão Eletromecânica de Energia B

**IV. CURSOS PARA OS QUAIS A DISCIPLINA É OFERECIDA**

Engenharia Elétrica

**V. EMENTA**

Comportamento do motor de corrente contínua em regime permanente; Métodos tradicionais de variação de velocidade de motores CC; Métodos para o estudo do comportamento dinâmico e transitório do motor CC; Princípio de regulação de velocidade e de corrente (torque); Projeto dos reguladores em cascata e em paralelo; Determinação dos parâmetros do motor CC; Introdução ao estudo da associação dos motores de corrente contínua aos conversores estáticos; Estudo do motor CC alimentado por retificador controlado; Estudo comparativo de estruturas retificadoras monofásicas a tiristor e a diodo associadas à máquina CC; Motor CC associado a conversores CC-CC. Motor de indução alimentado com tensão senoidal, frequência variável em regime permanente; Estudo dos valores instantâneos da corrente do estator e do torque para alimentação retangular em tensão; Motor de indução alimentado em corrente (senoidais) sob frequência variável em regime permanente; Motor de indução alimentado por corrente retangulares; Controle de velocidade do motor de indução por meio de gradador e por meio de conversor CC-CC no rotor; Acionamento do motor de indução com rotor bobinado por meio de cascata de conversores. Princípios básicos de acionamento elétrico do motor síncrono; Controle de velocidade do motor síncrono; Alimentação em corrente do motor síncrono; Comutador eletrônico (Brushless Machine).

**VI. OBJETIVOS**

Proporcionar o aprendizado de:

- Princípios básicos de modelagem e de especificação das máquinas de corrente contínua e corrente alternada;
- Funções básicas dos conversores estáticos e máquinas elétricas;
- Noções básicas de acionamento de máquinas elétricas associadas a conversores estáticos.

**VII. CONTEÚDO PROGRAMÁTICO****Capítulo 1: Princípios básicos de acionamentos elétricos de máquinas de corrente contínua**

- 1.1) Comportamento do motor de corrente contínua em regime permanente
  - 1.1.1) Modelo geral
  - 1.1.2) Motor com excitação separada constante e tensão de armadura variável
  - 1.1.3) Motor com excitação separada, corrente de armadura constante e corrente de campo variável
  - 1.1.4) Motor com excitação separada, tensão de armadura constante e corrente de campo variável
  - 1.1.5) Motor com excitação série
- 1.2) Métodos tradicionais de variação de velocidade dos motores de corrente contínua
  - 1.2.1) Resistência em série
  - 1.2.2) Sistema ward-leonard
  - 1.2.3) Transformador com taps variáveis acoplado a um retificador
- 1.3) Modelos para o estudo do comportamento dinâmico e transitório do motor de corrente contínua
  - 1.3.1) MODELO COMPLETO

<sup>1</sup> Plano de ensino adaptado, em caráter excepcional e transitório, para substituição de aulas presenciais por aulas em meios digitais, enquanto durar a pandemia do novo coronavírus – COVID-19, em atenção à Resolução Normativa 140/2020/CUn.

- 1.3.1) Modelo completo
  - 1.3.2) Modelo simplificado
  - 1.4) Princípio de regulação de velocidade e de corrente
    - 1.4.1) Introdução
    - 1.4.2) Função de transferência do motor e do conversor
    - 1.4.3) Regulador de velocidade
      - a) Regulador proporcional
      - b) Regulador proporcional-integral
    - 1.4.4) Regulador de corrente
    - 1.4.5) Métodos de monitoração de velocidade
      - a) Método da força-eletromotriz
      - b) Uso de tacogerador
    - 1.4.6) Sensores de corrente
      - a) Uso de transformador de corrente no lado AC
      - b) sensor resistivo (Shunt)
      - c) Transdutor magnético de corrente contínua
      - d) Transdutor eletrônico de corrente contínua
      - e) Sensor afeito hall
    - 1.4.7) Reguladores de corrente e de velocidade em paralelo
  - 1.5) Projeto dos reguladores em cascata
    - 1.5.1) Estudo da malha de corrente
    - 1.5.2) Ganho do regulador de corrente em função do erro estático
    - 1.5.3) Estudo da malha de velocidade
  - 1.6) Projeto dos reguladores em paralelo
    - 1.6.1) Estudo da malha de corrente
    - 1.6.2) Estudo da malha de velocidade
  - 1.7) Determinação dos parâmetros dos motores de corrente contínua
    - 1.7.1) Resposta da velocidade
    - 1.7.2) Resposta da corrente
    - 1.7.3) Procedimento para a medição dos parâmetros de um motor de corrente contínua
  - 1.8) Introdução ao estudo das associações dos motores de corrente contínua e dos conversores estáticos
    - 1.8.1) Generalidade (critérios de desempenho)
      - a) Características torque-velocidade
      - b) Fator de potência
      - c) Conteúdo harmônico
      - d) Fator de forma da corrente de armadura
      - e) Corrente de pico
      - f) Rendimento
    - 1.8.2) Teoria básica dos retificadores alimentando carga RLE
      - a) Introdução
      - b) Ábaco de puschlowski
      - c) Indutância crítica
      - d) Estruturas retificadoras em questão
      - e) Cálculo das tensões médias
      - f) Tensão média produzida pelo retificador
      - g) Expressão clássica da tensão
      - h) Comportamento do motor cc com excitação separada alimentado por retificador a tiristor
    - 1.8.3) Estudo do motor cc com excitação separada alimentado por retificador controlado
      - a) Retificador de meia onda
      - b) Retificador de meia onda com diodo de roda livre
      - c) Retificador misto de onda completa com diodo de roda livre
        - c.1) Estrutura
        - c.2) Formas de onda
          - c.2.1) Condução Contínua
          - c.2.2) Condução Descontínua
        - c.3) Equacionamento
          - c.3.1) Condução Contínua
          - c.3.2) Condução Descontínua
        - c.4) Cálculo da indutância crítica
    - 1.8.4) Motor de corrente contínua associado a conversores cc-cc
-

- a) Introdução
  - b) Comportamento do motor em regime permanente
  - c) Cálculo da indutância crítica
  - d) Conversor cc-cc a transistor alimentando um motor cc
    - d.1) Introdução
    - d.2) Circuito de ajuda à comutação (cac)
    - d.3) Comando de base dos transistores de potência
  - e) Conversor cc-cc reversível de dois quadrantes
  - f) Conversor cc-cc reversível de quatro quadrantes
  - g) Conversor cc-cc de corrente em quatro quadrante
    - g.1) Introdução
    - g.2) Princípio da técnica
      - g.2.1) Apresentação
      - g.2.2) Configuração do conversor cc-cc de corrente
      - g.2.3) Seqüência de Funcionamento do Conversor de Corrente
      - g.2.4) Dimensionamento do Circuito de Comutação
    - g.3) Resultados experimentais
- 1.8.5) Conversores cc-cc para o acionamento do servomotor de corrente contínua
- a) Introdução
  - b) O conversor dual
  - c) O conversor cc-cc
  - d) Técnicas empregando a conversão direta
  - e) Técnicas empregando a conversão indireta
    - e.1) Primeira estrutura
    - e.2) Segunda estrutura
    - e.3) Terceira estrutura

## Capítulo 2: Princípios básicos de acionamento elétrico do motor de indução

- 2.1) Motor de indução, alimentação senoidal, frequência variável, regime permanente
    - 2.1.1) Modelo para alimentação senoidal
    - 2.1.2) Princípio do controle de velocidade a frequência variável
    - 2.1.3) Característica torque-velocidade
    - 2.1.4) Lei tensão-frequência para manter o fluxo constante
    - 2.1.5) Alimentação direta
    - 2.1.6) Alimentação com  $\omega_r$  imposto (autopilotagem)
    - 2.1.7) Regulação de velocidade
    - 2.1.8) Controle indireto do torque
  - 2.2) Estudo dos valores instantâneos da corrente do estator e do torque para alimentação retangular em tensão
    - 2.2.1) Introdução
    - 2.2.2) Cálculo da corrente do estator por fase em regime permanente
      - a) Método das harmônicas
      - b) Método da exponencial de matrizes
    - 2.2.3) Cálculo da pulsação do torque para alimentação retangular
      - a) Exemplo
      - b) Comentários
    - 2.2.4) Influência da reatância de dispersão
    - 2.2.5) Perdas adicionais
      - a) Perdas joule no estator ( $P_1$ )
      - b) Perdas joule no rotor ( $P_2$ )
      - c) Perdas no ferro
    - 2.2.6) Método aproximado para o estudo do comportamento dinâmico
      - a) Função de transferência
      - b) Regulador proporcional
      - c) Regulador proporcional-integral
      - d) Observações importantes
  - 2.3) Motor de indução alimentado em corrente sob frequência variável em regime permanente e correntes senoidais
    - 2.3.1) Introdução
    - 2.3.2) Tensão estatórica e fluxo
    - 2.3.3) Torque eletromagnético
    - 2.3.4) Comportamento com  $\omega_r$  imposto
    - 2.3.5) Influência da saturação sobre o torque
-

- 2.3.6) Operação com fluxo constante
- 2.3.7) A questão da reversibilidade
  - a) Tração
  - b) Frenagem
- 2.3.8) Controle da velocidade
- 2.3.9) Obtenção de características para um motor particular
- 2.4) Motor alimentado por correntes retangulares
  - 2.4.1) Ondulação de torque
  - 2.4.2) Estudo analítico da comutação
    - a) Estrutura do conversor
    - b) Descrição da comutação
    - c) Estudo analítico da comutação
    - d) Indutância de comutação
    - e) Cálculo de  $\tau_2$
    - f) Correntes de fase durante a comutação
    - g) Cálculo da tensão do capacitor
    - h) Cálculo de  $\tau_1$
    - i) Considerações sobre o tempo  $tq$
    - j) Considerações sobre o dimensionamento dos parâmetros envolvidos na comutação
    - k) Possibilidade de existência de comutação natural
    - l) Tensões de fase durante a comutação – método aproximado
- 2.5) Controle de velocidade do motor de indução por meio de gradador
  - 2.5.1) Introdução
  - 2.5.2) O emprego do gradador
  - 2.5.3) Emprego privilegiado do motor alimentado por gradador
    - a) Características gerais
    - b) Controle da partida do motor de indução
    - c) Controle de velocidade do motor de indução
  - 2.5.4) Vantagens em relação aos métodos clássicos de partida
  - 2.5.5) Controle de potência
  - 2.5.6) Conexões da carga e diagrama de blocos do gradador
  - 2.5.7) Questionário resolvido
- 2.6) Controle de velocidade do motor de indução por meio de conversor cc-cc no rotor
  - 2.6.1) Introdução
  - 2.6.2) O emprego do conversor cc-cc
  - 2.6.3) Relação entre a resistência vista pelo rotor e a resistência vista pelo retificador
  - 2.6.4) Uma nova técnica de controle do motor de indução com rotor bobinado (MIRB)
    - a) Introdução
    - b) Uma nova técnica de controle do MIRB
    - c) Comportamento do conversor CC-CC
- 2.7) Acionamento do motor de indução de rotor bobinado (mirb) por cascata de conversores
  - 2.7.1) Introdução
  - 2.7.2) A cascata de conversores
  - 2.7.3) Cálculo aproximado do torque
  - 2.7.4) Características torque-velocidade levando-se em conta os parâmetros do motor
  - 2.7.5) Característica torque-velocidade considerando a resistência do indutor de filtragem
  - 2.7.6) Expressão do torque considerando o efeito da comutação e das perdas nos diodos e tiristores
  - 2.7.7) Avaliação do fator de potência da cascata (método simplificado)
  - 2.7.8) Dimensionamento dos conversores e do transformador da cascata
    - a) Relação de transformação
    - b) Potência do transformador
    - c) Exemplo de dimensionamento
  - 2.7.9) Partida da cascata
  - 2.7.10) Modelo simplificado para o estudo do comportamento dinâmico
    - a) Equação elétrica
    - b) Equação mecânica
  - 2.7.11) Modelo para pequenas perturbações – linearização do modelo original
    - a) Equação elétrica
    - b) Equação mecânica

- 2.7.12) Controle da velocidade e do torque
- 2.7.13) Modelo da cascata para estudo do comportamento dinâmico empregando as equações completas do motor
- 2.7.14) Aplicações da cascata

### Capítulo 3: Princípios básicos de acionamento elétrico do motor síncrono

- 3.1) Controle de velocidade do motor síncrono
  - 3.1.1) Introdução
  - 3.1.2) Expressão do torque do motor síncrono alimentado em corrente
  - 3.1.3) Alimentação direta
  - 3.1.4) Alimentação com  $\beta$  imposto
  - 3.1.5) A questão da comutação natural
  - 3.1.6) Por que da alimentação em corrente?
- 3.2) Comutador eletrônico (brushless machine)
  - 3.2.1) Comutador mecânico
    - a) Colocação de lâminas
    - b) Desvantagens do comutador mecânico
  - 3.2.2) Comutador eletrônico
    - a) Armadura do estator
    - b) Estrutura trifásica
  - 3.2.3) Exemplos de aplicação
- 3.3) Acionamento eletrônico do motor síncrono
  - 3.3.1) Introdução
  - 3.3.2) Motor síncrono através de inversor de corrente
    - a) Operação em regime permanente
    - b) Métodos de controle
      - b.1) Torque de carga constante para todas as velocidades
      - b.2) Torque aumentando com a velocidade
      - b.3) Torque variável para todas as velocidades

### VIII. METODOLOGIA DE ENSINO / DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

Metodologia e recursos utilizados: As aulas ocorrerão semanalmente com 4 horas de aulas teóricas. Os conteúdos serão desenvolvidos majoritariamente por meio de aulas remotas utilizando-se da ferramenta do Moodle.

Os sistemas de comunicação utilizados para interagir com os alunos serão: Moodle e e-mail.

### IX. ATIVIDADES PRÁTICAS

Não há

### X. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO E CONTROLE DE FREQUÊNCIA

- **Procedimentos para avaliação de desempenho dos alunos:**

A avaliação consistirá na resolução de várias listas de exercícios elaboradas com vista a facilitar o aprendizado do conteúdo da disciplina. Para cada conteúdo apresentado e discutido será gerada uma lista de exercícios voltada especificamente para esse conteúdo, solicitando do estudante a real compreensão do tema. Essas listas de exercícios gerará uma avaliação (nota  $\Rightarrow$  NE).

Em seguida uma segunda avaliação é aplicada com a elaboração de um projeto real de engenharia, onde com o conhecimento adquirido nas listas de exercícios será possível realizar e concluir o projeto. A avaliação desse projeto gerará uma segunda nota (NP).

Média da Avaliação (MA):

$$MA = (NE + NP)/2$$

Critério: Se  $MA \geq 6,0 \Rightarrow$  Aluno aprovado

$MA < 3,0 \Rightarrow$  Aluno reprovado

$3,0 \leq MA < 6,0 \Rightarrow$  Aluno em recuperação

O aluno em recuperação receberá uma lista de exercícios para ser entregue em 24 horas. A recuperação gerará uma nota de recuperação (NR).

A média final (MF) será dada por:

$$MF = (MA + NR)/2$$

Se:  $MF \geq 6,0 \Rightarrow$  Aluno aprovado

$MF < 6,0 \Rightarrow$  Aluno reprovado.

- **Identificação do controle de frequência das atividades:**

A frequência das atividades será computada a partir da entrega das listas de exercícios, que serão disponibilizadas a cada módulo de ensino, cujo tempo de entrega das listas será de 24 horas. As listas de exercícios serão postadas no Moodle, o acesso a essas listas representará a frequência do aluno.

---

## **XI. LEGISLAÇÃO**

Não será permitido gravar, fotografar ou copiar as aulas disponibilizadas no Moodle. O uso não autorizado de material original retirado das aulas constitui contrafação – violação de direitos autorais – conforme a Lei nº 9.610/98 – Lei de Direitos Autorais.

---

## **XI. REFERÊNCIAS**

### **BIBLIOGRAFIA BÁSICA**

- 1) Notas de aulas e slides das apresentações das aulas serão disponibilizadas no Moodle para os alunos;
- 2) Livros de acesso livre (openbooks);
  - 2.1) Robert W. Erickson & Dragan Maksimovic, *Fundamental of Power Electronics*, Springer, 2<sup>nd</sup> Edition, 2001 ⇒ (<http://link.springer.com/openurl?genre=book&isbn=978-0-306-48048-5>);
  - 2.2) Massimo Rudan, *Physics of Semiconductor Devices*, Springer, 2015 ⇒ (<http://link.springer.com/openurl?genre=book&isbn=978-0-306-48048-5>);
  - 2.3) Muhammad H. Rashid, *Power Electronics Devices Circuits and Application*. ⇒ (<https://www.engbookspdf.com/about/>).
  - 2.4) Bimal K. Bose, *Power Electronics and Motor Drives Advances and Trends*, Elsevier, 2006 ⇒ (<https://www.engbookspdf.com/download/Circuits/Electric-Circuit-Analysis-Kumar>)
  - 2.5) *Electrical Machines*. Slobodan N. Vukosavic. DOI <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0400-2>. Copyright Information: Springer Science+Business Media New York 2013. Publisher Name Springer, New York, NY. Print ISBN 978-1-4614-0399-9, Online ISBN 978-1-4614-0400-2 <http://link.springer.com/openurl?genre=book&isbn=978-1-4614-0400-2>.
  - 2.6) *Principles of Electric Machines with Power Electronic Applications*. Mohamed E. El-Hawar. View less. Copyright Year: 2002. Book Type: Wiley-IEEE Press. Content Type: Books. Pages: 496 / Chapters 1-11. Topics: Power, Energy and Industry Applications. ISBN Information: Online ISBN: 9780470545645, Print ISBN: 9780471208129. : <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?bknumber=5264263>.
- 3) Todo o material como: exercícios, projetos, apresentações, etc. serão disponibilizados no Moodle.

## Cronograma

Aula	Data	CH	Conteúdo
1	02/02	2h	1) Introdução à disciplina. 2) Aula de apresentação do planejamento didático, plano de ensino e princípios teóricos que fazem a base dos estudos a serem desenvolvidos. 3) Capítulo 1: Princípios básicos de acionamentos elétricos de máquinas de corrente contínua. 3.1) Comportamento do motor de corrente contínua em regime permanente. 3.1.1) Modelo geral. 3.1.2) Motor com excitação separada constante e tensão de armadura variável. 3.1.3) Motor com excitação separada, corrente de armadura constante e corrente de campo variável. 3.1.4) Motor com excitação separada, tensão de armadura constante e corrente de campo variável. 3.1.5) Motor com excitação série. 4) 1º Exercício de avaliação.
2	04/02	2h	1) Moodle da disciplina. 2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior. 3) Dúvidas sobre o 1º exercício de avaliação. 4) Retomada do capítulo 1. 4.1) Métodos tradicionais de variação de velocidade dos motores de corrente contínua. 4.1.1) Resistência em série. 4.1.2) Sistema Ward-Leonard. 4.1.3) Transformador com taps variáveis acoplado a um retificador. 4.2) Modelos para o estudo do comportamento dinâmico e transitório do motor de corrente contínua. 4.2.1) Modelo completo. 4.2.2) Modelo simplificado. 5) 2º Exercício de avaliação.
3	09/02	2h	1) Moodle da disciplina. 2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior. 3) Dúvidas sobre o 2º exercício de avaliação. 4) Retomada do capítulo 1. 4.1) Princípio de regulação de velocidade e de corrente. 4.1.1) Introdução. 4.1.2) Função de transferência do motor e do conversor. 4.1.3) Regulador de velocidade. a) Regulador proporcional. b) Regulador proporcional-integral. 5) 3º Exercício de avaliação.
4	11/02	2h	1) Moodle da disciplina. 2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior. 3) Dúvidas sobre o 3º exercício de avaliação. 4) Retomada do capítulo 1. 4.1) Regulador de corrente. 4.2) Métodos de monitoração de velocidade. 4.2.1) Método da força-eletromotriz. 4.2.2) Uso de tacogerador. 4.3) Sensores de corrente. 4.3.1) Uso do transformador de corrente no lado AC. 4.3.2) Sensor resistivo (Shunt). 4.3.3) Transdutor magnético de corrente contínua. 4.3.4) Transdutor eletrônico de corrente contínua. 4.4.5) Sensor efeito hall. 4.4) Reguladores de corrente e de velocidade em paralelo. 5) 4º Exercício de avaliação.

			6) Definição de um projeto de engenharia em acionamento do motor de corrente contínua e corrente alternada que deverá ser entregue em 03/12
5	18/02	2h	1) Moodle da disciplina. 2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior. 3) Dúvidas sobre o 4º exercício de avaliação. 4) Retomada do capítulo 1: 4.1) Projeto dos reguladores em cascata. 4.1.1) Estudo da malha de corrente. 4.1.2) Ganho do regulador de corrente em função do erro estático. 4.1.3) Estudo da malha de velocidade. 5) 5º Exercício de avaliação.
6	23/02	2h	1) Moodle da disciplina. 2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior. 3) Dúvidas sobre o 5º exercício de avaliação. 4) Retomada capítulo 1. 4.1) Projeto dos reguladores em paralelo. 4.1.1) Estudo da malha de corrente. 4.1.2) Estudo da malha de velocidade. 5) 6º Exercício de avaliação.
7	25/02	2h	1) Moodle da disciplina. 2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior. 3) Dúvidas sobre o 6º exercício de avaliação. 4) Retomada capítulo 1. 4.1.1) Determinação dos parâmetros dos motores de corrente contínua. a) Resposta da velocidade. b) Resposta da corrente. c) Procedimentos para a medição dos parâmetros de um motor de corrente contínua. 5) 7º Exercício de avaliação.
8	02/03	2h	1) Moodle da disciplina. 2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior. 3) Dúvidas sobre o 7º exercício de avaliação. 4) Retomada capítulo 1. 4.1.1) Introdução ao estudo das associações dos motores de corrente contínua e dos conversores estáticos. a) Generalidade (critérios de desempenho). a.1) Características torque-velocidade. a.2) Fator de potência. a.3) Conteúdo harmônico. a.4) Fator de forma da corrente de armadura. a.5) Corrente de pico. a.6) Rendimento. b) teoria básica dos retificadores alimentando carga RLE. b.1) Introdução. b.2) Ábaco de Puschilowski. b.3) Indutância crítica. b.4) Estruturas retificadores em questão. b.5) Cálculo das tensões médias. b.6) Tensão média produzida pelo retificador. b.7) Expressões clássicas da tensão. b.8) Comportamento do motor cc com excitação separada alimentado por retificador controlado. 5) 8º Exercício de avaliação.
9	04/03	2h	1) Moodle da disciplina. 2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior. 3) Dúvidas sobre o 8º exercício de avaliação. 4) Retomada capítulo 1. 4.1.1) Estudo do motor cc com excitação separada alimentado por retificador controlado.

			<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Retificador de meia onda.</li> <li>b) Retificador de meia onda com diodo de roda livre.</li> <li>c) Retificador misto de onda completa com diodo de roda livre. <ul style="list-style-type: none"> <li>c.1) Estrutura.</li> <li>c.2) Formas de onda. <ul style="list-style-type: none"> <li>c.2.1) Condução contínua.</li> <li>c.2.2.) Condução descontínua.</li> </ul> </li> <li>c.3) Equacionamento. <ul style="list-style-type: none"> <li>c.3.1) Condução contínua.</li> <li>c.3.2.) Condução descontínua.</li> </ul> </li> <li>c.4) Cálculo da indutância crítica.</li> </ul> </li> <li>5) 9º Exercício de avaliação.</li> </ul>
<b>10</b>	09/03	2h	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Moodle da disciplina.</li> <li>2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior.</li> <li>3) Dúvidas sobre o 9º exercício de avaliação.</li> <li>4) Retomada do capítulo 1: <ul style="list-style-type: none"> <li>4.1) Motor de corrente contínua associado a conversores cc-cc. <ul style="list-style-type: none"> <li>4.1.1) Introdução.</li> <li>4.1.2) Comportamento do motor em regime permanente.</li> <li>4.1.3) Cálculo da indutância crítica.</li> <li>4.1.4) Conversor cc-cc a transistor alimentando um motor cc.</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>5) 10º Exercício de avaliação.</li> </ul>
<b>11</b>	11/03	2h	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Moodle da disciplina.</li> <li>2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior.</li> <li>3) Dúvidas sobre o 10º exercício de avaliação.</li> <li>4) Análise parcial sobre os exercícios de avaliação.</li> <li>5) Retomada do capítulo 1: <ul style="list-style-type: none"> <li>5.1) Conversor cc-cc reversível em dois quadrantes.</li> <li>5.2) Conversor cc-cc reversível em quatro quadrantes.</li> <li>5.3) Conversor cc-cc de corrente em quatro quadrantes. <ul style="list-style-type: none"> <li>5.3.1) Introdução.</li> <li>5.3.2) Princípio da técnica. <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Apresentação.</li> <li>b) Configuração do conversor cc-cc de corrente.</li> <li>c) Sequência de funcionamento do conversor de corrente.</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> </li> <li>6) 11º Exercício de avaliação.</li> </ul>
<b>12</b>	16/03	2h	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Moodle da disciplina.</li> <li>2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior.</li> <li>3) Dúvidas sobre o 11º exercício de avaliação.</li> <li>4) Discussão e avaliação das listas de exercícios via Moodle e/ou e-mail (momentos de reflexão por parte dos alunos e professor sobre o aproveitamento das aulas e o aprendizado do conteúdo).</li> <li>5) Retomada do capítulo 1: <ul style="list-style-type: none"> <li>5.1) Conversor cc-cc para o acionamento de Servomotor de corrente contínua. <ul style="list-style-type: none"> <li>5.1.1) Introdução.</li> <li>5.1.2) O conversor dual.</li> <li>5.1.3) O conversor cc-cc.</li> <li>5.1.4) Técnicas empregando a conversão direta.</li> <li>5.1.5) Técnicas empregando a conversão indireta.</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>6) 12º Exercício de avaliação.</li> </ul>
<b>13</b>	18/03	2h	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Moodle da disciplina.</li> <li>2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior.</li> <li>3) Dúvidas sobre o 12º exercício de avaliação.</li> <li>4) Capítulo 2: Princípios básicos de acionamento elétrico do motor de indução. <ul style="list-style-type: none"> <li>4.1) Motor de indução, alimentação senoidal, frequência variável, regime permanente. <ul style="list-style-type: none"> <li>4.1.1) Modelo para alimentação senoidal.</li> <li>4.1.2) Princípio do controle de velocidade a frequência variável.</li> <li>4.1.3) Característica torque-velocidade.</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>

			<p>4.1.4) Lei tensão-frequência para manter o fluxo constante.</p> <p>4.1.5) Alimentação direta.</p> <p>5.1.6) Alimentação com <math>\omega_r</math> imposto (autopilotagem).</p> <p>5.1.7) Regulação de velocidade.</p> <p>5.1.8) Controle indireto do torque.</p> <p>5) 13º Exercício de avaliação.</p>
<b>14</b>	23/03	2h	<p>1) Moodle da disciplina.</p> <p>2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior.</p> <p>3) Dúvidas sobre o 13º exercício de avaliação.</p> <p>4) Retomada do capítulo 2:</p> <p>4.1) Estudo dos valores instantâneos da corrente do estator e do torque para alimentação retangular em tensão.</p> <p>4.1.1) Introdução.</p> <p>4.1.2) Cálculo da corrente do estator por fase em regime permanente</p> <p>a) Método das harmônicas.</p> <p>b) Método da exponencial de matrizes.</p> <p>4.1.3) Cálculo da pulsação do torque para alimentação retangular.</p> <p>a) Exemplo.</p> <p>b) Comentários.</p> <p>5) 14º Exercício de avaliação.</p>
<b>15</b>	25/03	2h	<p>1) Moodle da disciplina.</p> <p>2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior.</p> <p>3) Dúvidas sobre o 14º exercício de avaliação.</p> <p>4) Retomada do capítulo 2:</p> <p>4.1) Influência da reatância de dispersão.</p> <p>4.2) Perdas adicionais.</p> <p>4.2.1) Perdas joule no estator.</p> <p>4.2.2) Perdas joule no rotor.</p> <p>4.2.3) Perdas no ferro.</p> <p>4.3) Método aproximado para o estudo do comportamento dinâmico.</p> <p>4.3.1) Função de transferência.</p> <p>4.3.2) Regulador proporcional.</p> <p>4.3.3) Regulador proporcional-integral.</p> <p>4.3.4) Observações importantes.</p>
<b>16</b>	30/03	2h	<p>1) Moodle da disciplina.</p> <p>2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior.</p> <p>3) Retomada do capítulo 2:</p> <p>3.1) Motor de indução alimentado em corrente sob frequência variável em regime permanente e correntes senoidais.</p> <p>3.1.1) Introdução.</p> <p>3.1.2) Tensão estatórica e fluxo.</p> <p>3.1.3) Torque eletromagnético.</p> <p>3.1.4) Comportamento com <math>\omega_r</math> imposto.</p> <p>3.1.5) Influência da saturação sobre o torque.</p> <p>3.1.6) Operação com fluxo constante.</p>
<b>17</b>	01/04	2h	<p>1) Moodle da disciplina.</p> <p>2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior.</p> <p>3) Retomada do capítulo 2:</p> <p>3.1) A questão da reversibilidade.</p> <p>3.1.1) Tração.</p> <p>3.1.2) Frenagem.</p> <p>3.2) Controle de velocidade.</p> <p>3.3) Obtenção de características para um motor particular.</p> <p>4) 15º Exercício de avaliação.</p>
<b>18</b>	06/04	2h	<p>1) Moodle da disciplina.</p> <p>2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior.</p> <p>3) Dúvidas sobre o 15º exercício de avaliação.</p> <p>4) Retomada do capítulo 2:</p> <p>4.1) Motor alimentado por correntes retangulares.</p>

			<p>4.1.1) Ondulação de torque.</p> <p>4.1.2) Estudo analítico da comutação.</p> <p>a) Estrutura do conversor.</p> <p>b) Descrição da comutação.</p> <p>c) Estudo analítico da comutação.</p> <p>d) Indutância de comutação.</p> <p>e) Cálculo de <math>\tau_2</math>.</p> <p>5) 16º Exercício de avaliação.</p>
<b>19</b>	08/04	2h	<p>1) Moodle da disciplina.</p> <p>2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior.</p> <p>3) Dúvidas sobre o 16º exercício de avaliação.</p> <p>4) Retomada do capítulo 2:</p> <p>4.1) Correntes de fase durante a comutação.</p> <p>4.2) Cálculo da tensão no capacitor.</p> <p>4.3) Cálculo de <math>\tau_1</math>.</p> <p>4.4) Considerações sobre o tempo <math>tq</math>.</p> <p>4.5) Considerações sobre o dimensionamento dos parâmetros envolvidos na comutação.</p> <p>4.6) Possibilidade de existência de comutação natural.</p> <p>4.7) Tensões de fase durante a comutação – método aproximado.</p> <p>5) 17º Exercício de avaliação.</p>
<b>20</b>	13/04	2h	<p>1) Moodle da disciplina.</p> <p>2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior.</p> <p>3) Dúvidas sobre o 17º exercício de avaliação.</p> <p>4) Retomada do capítulo 2:</p> <p>4.1) Controle de velocidade do motor de indução por meio de gradador.</p> <p>4.1.1) Introdução.</p> <p>4.1.2) O emprego do gradador.</p> <p>4.1.3) Emprego privilegiado do motor alimentado por gradador.</p> <p>a) Características gerais.</p> <p>b) Controle da partida do motor de indução.</p> <p>c) Controle de velocidade do motor de indução.</p> <p>5) 18º Exercício de avaliação.</p>
<b>21</b>	15/04	2h	<p>1) Moodle da disciplina.</p> <p>2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior.</p> <p>3) Dúvidas sobre o 18º exercício de avaliação.</p> <p>4) Retomada do capítulo 2:</p> <p>4.1) Vantagens em relação aos métodos clássicos de partida.</p> <p>4.2) Controle de potência.</p> <p>4.3) Conexão da carga e diagrama de blocos do gradador.</p> <p>4.4) Questionário resolvido.</p> <p>5) 19º Exercício de avaliação.</p>
<b>22</b>	20/04	2h	<p>1) Moodle da disciplina.</p> <p>2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior.</p> <p>3) Dúvidas sobre o 19º exercício de avaliação.</p> <p>4) Retomada do capítulo 2:</p> <p>4.1) Controle de velocidade do motor de indução por meio de conversor cc-cc no rotor.</p> <p>4.1.1) Introdução.</p> <p>4.1.2) O emprego do conversor cc-cc.</p> <p>4.1.3) Relação entre a resistência vista pelo rotor e a resistência vista pelo retificador.</p> <p>4.1.4) Uma nova técnica de controle do motor de indução com rotor bobinado (MIRB).</p> <p>a) Introdução.</p> <p>b) Uma nova técnica de controle do MIRB.</p> <p>c) Comportamento do conversor cc-cc.</p> <p>5) 20º Exercício de avaliação.</p>
<b>23</b>	22/04	2h	<p>1) Moodle da disciplina.</p>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior.</li> <li>3) Dúvidas sobre o 20º exercício de avaliação.</li> <li>4) Retomada do capítulo 2: <ul style="list-style-type: none"> <li>4.1) Acionamento do motor de indução de rotor bobinado (MIRB) por cascata de conversores. <ul style="list-style-type: none"> <li>4.1.1) Introdução.</li> <li>4.1.2) A cascata de conversores.</li> <li>4.1.3) Cálculo aproximando do torque.</li> <li>4.1.4) Características torque-velocidade levando-se em conta os parâmetros do motor.</li> <li>4.1.5) Característica torque-velocidade considerando a resistência do indutor de filtragem.</li> <li>4.1.6) Expressão do torque considerando o efeito da comutação e das perdas nos diodos e tiristores.</li> <li>4.1.7) Avaliação do fator de potência da cascata (método simplificado).</li> <li>4.1.8) Dimensionamento dos conversores e do transformador da cascata. <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Relação de transformação.</li> <li>b) Potência do transformador.</li> <li>c) Exemplo de dimensionamento.</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> </li> <li>5) 21º Exercício de avaliação.</li> </ul>
24	27/04	2h	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Moodle da disciplina.</li> <li>2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior.</li> <li>3) Dúvidas sobre o 21º exercício de avaliação.</li> <li>4) Retomada do capítulo 2: <ul style="list-style-type: none"> <li>4.1) Partida da cascata.</li> <li>4.2) Modelo simplificado para o estudo do comportamento dinâmico. <ul style="list-style-type: none"> <li>4.2.1) Equação elétrica.</li> <li>4.2.2) Equação mecânica.</li> </ul> </li> <li>4.3) Modelo para pequenas perturbações. <ul style="list-style-type: none"> <li>4.3.1) Equação elétrica.</li> <li>4.3.2) Equação mecânica.</li> </ul> </li> <li>4.4) Controle de velocidade e do torque.</li> <li>4.5) Modelo da cascata para estudo do comportamento dinâmico empregando as equações completas do motor.</li> <li>4.6) Aplicações da cascata.</li> </ul> </li> <li>5) 22º Exercício de avaliação.</li> </ul>
25	29/04	2h	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Moodle da disciplina.</li> <li>2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior.</li> <li>3) Dúvidas sobre o 22º exercício de avaliação.</li> <li>4) Capítulo 3: Princípios básicos de acionamento elétrico do motor síncrono. <ul style="list-style-type: none"> <li>4.1) Controle de velocidade do motor síncrono. <ul style="list-style-type: none"> <li>4.1.1) Introdução.</li> <li>4.1.2) Expressão do torque do motor síncrono alimentado em corrente.</li> <li>4.1.3) Alimentação direta.</li> <li>4.1.4) Alimentação com <math>\beta</math> imposto.</li> <li>4.1.5) A questão da comutação natural.</li> <li>4.1.6) Porque da alimentação em corrente?</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>5) 23º Exercício de avaliação.</li> </ul>
26	04/05	2h	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Moodle da disciplina.</li> <li>2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior.</li> <li>3) Dúvidas sobre o 23º exercício de avaliação.</li> <li>4) Retomada do capítulo 3: <ul style="list-style-type: none"> <li>4.1) Comutador eletrônico (brushless machine). <ul style="list-style-type: none"> <li>4.1.1) Comutador mecânico. <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Colocação das lâminas.</li> <li>b) Desvantagens do comutador mecânico.</li> </ul> </li> <li>4.1.2) Comutador eletrônico. <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Armadura do estator.</li> <li>b) Estrutura trifásica.</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>

			4.1.3) Exemplos de aplicação. 5) 24º Exercício de avaliação.
<b>27</b>	06/05	2h	1) Moodle da disciplina. 2) Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior. 3) Dúvidas sobre o 24º exercício de avaliação. 4) Retomada do capítulo 3: 4.1) Acionamento eletrônico do motor síncrono. 4.1.1) Introdução. 4.1.2) Motor síncrono acionado através de inversor de corrente. a) Operação em regime permanente. b) Métodos de controle. b.1) Torque de carga constante para todas as velocidades. b.2) Torque aumentando com a velocidade. b.3) Torque variável com todas as velocidades.
<b>28</b>	11/05	2h	Atividade Avaliativa. Entrega do projeto de engenharia em acionamento do motor de corrente contínua e corrente alternada.
<b>29</b>	13/05	2h	Apresentação das notas finais e discussão sobre o projeto de engenharia.
<b>30</b>	18/05	2h	Recuperação (Atividades de recuperação aos alunos que não atingiram nota suficiente).
<b>31</b>	20/05	2h	Discussão sobre as notas e médias e finalização da disciplina.