



## PLANO DE ENSINO

### 1. IDENTIFICAÇÃO

Componente Curricular:	ELETRÔNICA PARA RADIOFREQUÊNCIA					
Unidade Ofertante:	FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA					
Código:	FEELT36705	Período/Série:	7º PERÍODO		Turma:	U
Carga Horária:			Natureza:			
Teórica:	30	Prática:	15	Total:	45	Obrigatória: (X)      Optativa: ( )
Professor(A):	Davi Sabbag Roveri				Ano/Semestre:	2023/2
Observações:						

### 2. EMENTA

Componentes e os efeitos da frequência, Filtros passivos, Osciladores, Amplificadores, Mixers, Phase-locked loops (PLL) e Circuitos 'front end' para RF.

### 3. JUSTIFICATIVA

Este componente curricular trata de uma série de efeitos físicos de altas frequências em componentes elétricos (resistores, capacitores e indutores) e componentes eletrônicos (diodos, transistores) quando aplicados à área de circuitos para telecomunicações, ou de forma sinônima, área de circuitos para radiofrequência (RF). Ao longo deste componente curricular os discentes utilizarão conhecimentos e habilidades adquiridos em outras disciplinas deste curso de engenharia (como exemplos: Eletrônica Analógica 1, Princípios de Comunicações e Sinais e Sistemas) a fim de projetar circuitos e protótipos que envolvam algum tipo de comunicação sem fio, ou transferência de informações, no espectro de RF. Este componente curricular também se articula com o PPC vigente, fornecendo base para outras disciplinas mais avançadas a exemplo de Antenas, Projeto Integrador e Projeto Final de Curso.

### 4. OBJETIVO

Ao final da disciplina o estudante será capaz de:

1. Analisar, projetar e implementar circuitos voltados à transmissão e recepção de dados;
2. Compreender os principais efeitos da frequência em circuitos eletrônicos no espectro de radiofrequência;
3. Analisar, montar e testar circuitos eletrônicos em laboratório, com a utilização de diversos instrumentos.

Entre as competências a serem desenvolvidas no estudante destacam-se:

1. Ser capaz de utilizar técnicas adequadas de observação, compreensão, registro e análise das necessidades dos usuários e de seus contextos sociais, culturais, legais, ambientais e econômicos;
2. Formular, de maneira ampla e sistêmica, questões de engenharia, considerando o usuário e seu contexto, concebendo soluções criativas, bem como o uso de técnicas adequadas;
3. Ser capaz de modelar os fenômenos, os sistemas físicos e químicos, utilizando as ferramentas matemáticas, estatísticas, computacionais e de simulação, entre outras;
4. Prever os resultados dos sistemas por meio dos modelos;
5. Conceber experimentos que gerem resultados reais para o comportamento dos fenômenos e sistemas em estudo;
6. Verificar e validar os modelos por meio de técnicas adequadas;
7. Ser capaz de conceber e projetar soluções criativas, desejáveis e viáveis, técnica e economicamente, nos contextos em que serão aplicadas;
8. Projetar e determinar os parâmetros construtivos e operacionais para as soluções de Engenharia;
9. Ser capaz de expressar-se adequadamente, seja na língua pátria ou em idioma diferente do Português, inclusive por meio do uso consistente das tecnologias digitais de informação e comunicação (TDICs), mantendo-se sempre atualizado em termos de métodos e tecnologias disponíveis;
10. Ser capaz de interagir com as diferentes culturas, mediante o trabalho em equipes presenciais ou a distância, de modo que facilite a construção coletiva;
11. Gerenciar projetos e liderar, de forma proativa e colaborativa, definindo as estratégias e construindo o consenso nos grupos;
12. Ser capaz de assumir atitude investigativa e autônoma, com vistas à aprendizagem contínua, à produção de novos conhecimentos e ao desenvolvimento de novas tecnologias;
13. Aprender a aprender.

### 5. PROGRAMA

#### 1. Componentes e os efeitos da frequência

- 1.1 Fios, cabos e conectores
- 1.2 Modelos para circuitos equivalentes de componentes discretos
- 1.3 Modelagem de indutores e capacitores para RF e efeito de Q
- 1.4 Transistores para RF e modelagem para análise em frequência
- 1.5 Visão geral sobre os elementos básicos que compõem um circuito de transmissão e recepção de dados

#### 2. Filtros passivos

- 2.1 Circuitos de filtros passivos para RF
- 2.2 Circuito LC ressonante para sintonização e fator Q
- 2.3 Filtros Butterworth, Bessel e Chebyshev e similares
- 2.4 Conversão de filtros para passa-alta, passa-banda e rejeita banda

2.5 Práticas com simulação e montagem

### 3. Osciladores

3.1 Teoria básica de oscilação e realimentação

3.2 Principais osciladores (quase) senoidais e circuitos: sintonizados, Colpitts, Hartley, deslocamento de fase, Wien, piezoelétricos e transistorizados

3.3 Osciladores controlados por tensão (Vco) e aplicações

3.4 Práticas com simulação e montagem de osciladores

### 4. Amplificadores

4.1 Revisão de amplificação e principais modelos de polarização de transistores TBJ e FET

4.2 Efeitos da frequência na amplificação

4.3 Casamento de impedância e carta de Smith

4.4 Amplificadores sintonizados

4.5 Amplificadores lineares de baixo ruído

4.6 Revisão de amplificadores de potência classe A, B e C para telecomunicações

4.7 Práticas com simulação e montagem de amplificadores

### 5. Mixers

5.1 Circuitos básicos e análise em frequência

5.2 Conversores de frequência usando Mixers e Vco

5.3 Modelo super heteródinos

5.4 Práticas com simulação

### 6. Phase-locked loops (PLL)

6.1 Componentes da malha e comportamento básico

6.2 Amarrar frequências

6.3 Multiplicadores de frequência

6.5 Sintetizadores de frequência

### 7. Circuitos 'front end' para RF

7.1 Níveis de integração e arquiteturas

7.2 Tecnologia de rádio definido por software

7.3 Exemplos de moduladores e demoduladores

## 6. METODOLOGIA

### • Organização geral e dinâmica da disciplina

A disciplina utilizará a plataforma **Microsoft Teams** e demais aplicativos da suíte **Microsoft Office 365** como sala de aula virtual; para disponibilização de materiais pelo professor (e.g.: plano de ensino, notas, slides, listas de exercícios, vídeos etc.) e para envio de relatórios e outras atividades avaliativas por parte dos discentes. A inscrição na equipe da disciplina (ambiente de sala de aula virtual), no Teams, **é obrigatória** e deve ser realizada antes do início das aulas, preferencialmente.

Nome da disciplina (equipe): ERF 2023/1 - ELETRÔNICA PARA RADIOFREQUÊNCIA

Link da disciplina (equipe): [link](#) ou copiar abaixo:

<https://teams.microsoft.com/l/team/19%3a6WSVoucjdBluiBMgNqKdMxt3XQKpz9Vd2e57tjzEw1%40thread.tacv2/conversations?groupId=19aa080f-2a52-4836-b20d-cce6cd44f488&tenantId=cd5e6d23-cb99-4189-88ab-1a9021a0c451>

Para avisos emergenciais e comunicação em geral entre discentes e docente, será utilizada a própria sala virtual da disciplina. Portanto, **é imperativo** que os discentes também instalem o **MS-Teams** em seus respectivos celulares e computadores.

A teoria e a prática da disciplina se complementam e são obrigatórias. Não serão aceitas as solicitações de dispensa "informal" da prática ou da teoria por aproveitamento parcial em períodos anteriores ou em outras disciplinas.

### • Atendimento

O atendimento aos alunos da disciplina será realizado apenas de forma presencial, na sala do docente (sala 01, localizada no Bloco Alfa, 3º andar), de acordo com o seguinte planejamento: quintas-feiras entre 13h10 e 16h00, ou outro dia (presencialmente) desde que previamente agendado com o professor. Não será realizado atendimento de dúvidas sobre o conteúdo, de forma remota.

### • Direitos Autorais

Todo o material produzido e divulgado pelo(@) docente, como vídeos, textos, arquivos de voz etc., está protegido pela Lei de Direitos Autorais, a saber, a lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, pela qual fica vetado o uso indevido e a reprodução não autorizada de material autoral por terceiros. Os responsáveis pela reprodução ou uso indevido do material de autoria dos(as) docentes ficam sujeitos às sanções administrativas e as dispostas na Lei de Direitos Autorais.

### • Conteúdo Programático para Atividades Teóricas Presenciais

As aulas teóricas serão realizadas às sextas-feiras das 08h50min às 10h40min, no Bloco G "Unipam", sala 401-G.

Aula	Data	Conteúdo Teórico
-	08/01/2024	Início do período letivo 2023/2
1-2	12/01/2024	Apresentação do plano de ensino, critérios de avaliação e cronograma. Visão geral sobre os elementos básicos que compõem um circuito de transmissão e recepção de dados.
3-4	19/01/2024	Efeito pelicular e modelo de um condutor retilíneo. Modelos e circuitos equivalentes de componentes discretos (R, L e C).
5-6	26/01/2024	Filtros passivos: análise comportamental de reatâncias em função da frequência; circuitos de filtros passivos para RF

7-8	02/02/2024	Filtros passivos: circuito LC ressonante para sintonização e fator Q.
9-10	09/02/2024	Filtros passivos: respostas Butterworth, Bessel e Chebyshev; método de projeto de um FPB (filtro passa-baixa).
11-12	16/02/2024	Filtros passivos: conversão de filtros (FPB) para passa-alta, passa-banda e rejeita banda. Impactos do fator Q na resp
<b>13-14</b>	<b>23/02/2024</b>	<b>PROVA P1</b> (Avaliação parcial, dissertativa, individual)
15-16	01/03/2024	Amplificadores: casamento de impedâncias (topologias L, Pi e T) e carta de Smith (conversões Z-Y e Y-Z; casamento
17-18	08/03/2024	Amplificadores: principais polarizações de transistores TBJ e MOSFET. Efeitos da frequência no desempenho de ampli
19-20	15/03/2024	Amplificadores: sintonizados, de baixo ruído, de potência (classes A, B e C)
21-22	22/03/2024	Osciladores: teoria básica de oscilação e realimentação; critérios de Barkhausen; margem de ganho e margem de fa
-	<b>29/03/2024</b>	<b>Feriado: Paixão de Cristo</b>
23-24	05/04/2024	Osciladores: principais topologias para circuitos discretos (AmpOp ou transistorizados) e integráveis (CMOS). Oscil
25-26	12/04/2024	Mixers: fundamentos dos conversores de frequência, topologias de circuitos. PLL ( <i>phase-locked loops</i> ). Circuitos 'front end' para RF.
<b>27-28</b>	<b>19/04/2024</b>	<b>PROVA P2</b> (Avaliação parcial, dissertativa, individual)
<b>29-30</b>	<b>25/04/2024</b>	<b>* Reposição de aula de sexta-feira em todos os campi.</b> <i>90º dia letivo referente a 2023/2.</i> <b>Recuperação</b> (atividade avaliativa de recuperação de aprendizagem - Resolução CONGRAD nº 46/2022, Art.140)
-	<b>25/04/2024</b>	<b>Término do período letivo 2023/2 (90º dia letivo referente a 2023/2).</b>

#### • Conteúdo Programático para Atividades Práticas Presenciais

As aulas práticas serão realizadas às quartas-feiras das 07h10min às 08h50min no Laboratório de Eletrônica, no prédio dos Laboratórios na Major Jerônimo, sala 404.

Aula	Data	Conteúdo Prático
-	<b>08/01/2024</b>	<b>Início do período letivo 2023/2</b>
1	10/01/2024	Apresentação do laboratório e orientação quanto aos cuidados e manuseio dos equipamentos.
2	17/01/2024	Roteiro 01 - Resposta em frequência de componentes passivos discretos.
3	24/01/2024	Roteiro 02 - Circuito ressonante LC paralelo: aferição das frequências de corte, freq. de sintonização, largura de banda, fator Q.
4	31/01/2024	Roteiro 02 (parte 2) - conclusão dos experimentos.
5	07/02/2024	Roteiro 03 - Circuitos ressonantes: transformação de impedâncias; acoplamento em cascata de 2 sintonizadores.
-	<b>14/02/2024</b>	<b>Feriado: carnaval</b>
<b>6</b>	<b>21/02/2024</b>	<b>Avaliação prática</b> - projeto e protótipo de um circuito sintonizador.
7	28/02/2024	Roteiro 04 - Filtros passivos: aferição e caracterização de um filtro passa-baixas.
8	06/03/2024	Roteiro 05 - Amplificadores em RF (parte 1)
9	13/03/2024	Roteiro 05 - Amplificadores em RF (parte 2)
10	20/03/2024	Roteiro 06 - Oscilador por deslocamento de fase
11	27/03/2024	Roteiro 07 - Oscilador Colpitts (parte 1)
12	03/04/2024	Roteiro 07 - Oscilador Colpitts (parte 2)
13	10/04/2024	Roteiro 08 - Mixers (parte 1)
14	17/04/2024	Roteiro 08 - Mixers (parte 2)
<b>15</b>	<b>24/04/2024</b>	<b>Avaliação prática - Projeto final da disciplina</b> (transmissor FM).
-	<b>25/04/2024</b>	<b>Término do período letivo 2023/2 (90º dia letivo referente a 2023/2).</b>

#### • Conteúdo Programático para Atividades Acadêmicas Extras (AAE)

Aula	Data	Conteúdo - Atividades Acadêmicas Extras (AAE)
1-2-3-4	17/11/2023	<b>Teoria</b> - Seminários sobre topologias de circuitos moduladores e demoduladores AM e FM.

1-2-3	19/10/2023	<b>Prática</b> - Elaboração e realização do projeto final da disciplina.
-------	------------	--

	Teórica	Prática
<b>C.H Presencial Total</b>	30	15
<b>C.H. Atividades Acadêmicas Extras Total</b>	6	3
<b>C.H. Total da disciplina</b>	<b>36</b>	<b>18</b>

\* OBS: as cargas horárias estão em horas-aula.

## 7. AVALIAÇÃO

### • Aproveitamento

O(a) discente necessita obter, no mínimo, uma Nota Parcial (NP) de 60 pontos, dentre 100, para obter aproveitamento na disciplina. Nesta situação, o discente será considerado aprovado e sua nota NP será lançada no sistema acadêmico de registro de resultados.

A avaliação de desempenho dos discentes será feita pela apresentação de listas de exercícios referentes às atividades AAE (que podem solicitar simulações), protótipos funcionais, relatórios das atividades práticas e pela realização de provas presenciais (dissertativas e individuais). O cronograma de atividades avaliativas e a distribuição da pontuação é apresentada abaixo:

DATA	ATIVIDADE AVALIATIVA	PONTUAÇÃO
15/09/2023	Prova P1	30 pontos
06/09/2023	Avaliação prática individual	10 pontos
10/11/2023	Prova P2	30 pontos
08/11/2023	Avaliação prática individual	20 pontos
* a combinar	Relatórios dos experimentos	10 pontos
<b>Notal Parcial (NP):</b>		<b>Total = 100 pontos</b>

\* OBS: Os relatórios dos experimentos serão entregues ao longo do período letivo.

Os relatórios das atividades práticas deverão ser entregues no formato de arquivo PDF; os discentes deverão fazer o upload do arquivo no ambiente da disciplina no Teams, em pasta e data definidos com o professor durante o período letivo. A entrega do relatório do projeto final da disciplina seguirá as mesmas regras.

Os resultados das avaliações serão divulgados no Teams, sendo que as notas serão apresentadas pelos números de matrícula dos alunos. A divulgação das notas deve acontecer em até 15 dias úteis após a sua realização e a vista de prova será marcada com os alunos, a partir da data de divulgação das notas, respeitando-se o prazo de no máximo 5 dias úteis, como previsto na Resolução do CONGRAD (Nº46/2022).

### • Frequência

A frequência será aferida pela presença na aula (chamada oral). E em relação às atividades AAE, pela entrega das respectivas atividades. O quantitativo de faltas nas atividades AAE correspondem ao valor de 01(uma) hora-aula nas tabelas de Conteúdo Programático. Caso o(@) discente não obtenha o mínimo de 75% de presença, ocorrerá a reprovação por faltas, ou seja, não obterá aproveitamento na disciplina perante o sistema acadêmico.

### • Recuperação / Exame (atividade avaliativa de recuperação de aprendizagem)

É necessário ter no mínimo 75% de presença para ter direito a realizar a prova de recuperação e, adicionalmente, esta prova somente será aplicada para o aluno que não atingiu 60 pontos na Nota Parcial (NP). Conforme Resolução CONGRAD nº 46/2022, Art.140.

O exame ou a atividade de recuperação (**REC**) consistirá em uma prova escrita no valor de 100 pontos, presencial e individual. Esta prova irá contemplar todo o conteúdo da disciplina ministrado ao longo do período letivo. Será permitida a utilização de 1 folha de consulta (frente/verso) e apenas o uso de calculadoras científicas. Calculadoras gráficas e celulares deverão ser desligados durante a avaliação. Não haverá nenhum tipo de correção parcial de questões na recuperação. A recuperação não terá nenhuma questão que utilize simulação.

Considerando a **Nota Parcial (NP)** como a nota obtida no período letivo antes da recuperação e a **Recuperação (REC)** como acima descrita, a **Nota Final de Recuperação (NF)** será dada pela seguinte maneira:

$$NF = (NP \cdot 0,6) + (REC \cdot 0,4)$$

O discente em recuperação será aprovado na disciplina caso obtenha uma Nota Final de Recuperação **maior ou igual a 60 (NF ≥ 60 pontos)**. Observação: A nota final de aproveitamento do discente em recuperação, para efeito de lançamento no sistema acadêmico de registro de resultados, ficará limitada a 60 pontos, mesmo que a sua NF supere este valor.

## 8. BIBLIOGRAFIA

## Básica

1. HICKMAN, I. **Practical Radio-Frequency Handbook**, 4. Amsterdam; Boston: Newnes, 2006.
2. MAAS, S. A. **The RF and Microwave Circuit Design Cookbook**. 1ed. Boston: Artech House, 1998.
3. YOUNG, P. H. **Electronic communication techniques**, 5. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2003.

## Complementar

1. ABRIE, P. L. D. **Design of RF and microwave amplifiers and oscillators**. Boston: Artech Print on demand, 1999.
2. RAZAVI, B. **RF microelectronics**, 19. New Jersey: Prentice Hall, 2006.
3. **SORRENTINO, R.; BIANCHI, G. Microwave and RF engineering, 1ed. New Jersey: J. Wiley, 2010.**
4. VIZMULLER, P. **RF Design Guide: Systems, Circuits, and Equations**. Boston: Artech House, 1995.
5. WALKER, J. L. B. **Handbook of RF and microwave power amplifiers**. 1ed. New York: Cambridge University Press, 2010.

## 9. APROVAÇÃO

Aprovado em reunião do Colegiado conforme Decisão Administrativa do Colegiado anexada ao processo referenciado.

Coordenação do Curso de Graduação: \_\_\_\_\_



Documento assinado eletronicamente por **Davi Sabbag Roveri, Professor(a) do Magistério Superior**, em 10/02/2024, às 11:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Costa Ramos, Coordenador(a)**, em 15/02/2024, às 08:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4943170** e o código CRC **12C7398F**.