



# UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações - Patos de Minas

Rua Major Gote, 808, Bloco G, Sala 414 - Bairro Centro, Patos de Minas-MG, CEP 38702-054  
Telefone: (34) 3821-0588 - telecom\_patos@eletrica.ufu.br



## PLANO DE ENSINO

### 1. IDENTIFICAÇÃO

Componente Curricular:	LINHAS DE TRANSMISSÃO E RADIAÇÃO						
Unidade Ofertante:	FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA						
Código:	FEELT36605	Período/Série:	6º PERÍODO	Turma:	U		
Carga Horária:				Natureza:			
Teórica:	30	Prática:	15	Total:	45	Obrigatória: (X)	Optativa: ( )
Professor(A):	André Antônio dos Anjos				Ano/Semestre:	2023/2	
Observações:							

### 2. EMENTA

Revisão de ondas planas, Linhas de transmissão, Projetos de linhas de transmissão, Casamento de impedâncias, Carta de Smith e Guias de ondas metálicos.

### 3. JUSTIFICATIVA

Segundo o projeto pedagógico do curso de Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações, os assuntos abordados nessa componente curricular são necessários para que o aluno desenvolva conhecimentos relacionados com a propagação de ondas eletromagnética em meios ilimitados e meios confinados, tais como linhas de transmissão e guias de ondas. Os parâmetros relacionados a tais propagações serão tratados nesse curso. Além disso, outro assunto importante e necessário para a formação do aluno, também abordado na componente curricular, são as técnicas de casamento de impedância. Tais conhecimentos serão aplicados em matérias posteriores do curso de Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações.

### 4. OBJETIVO

Ao final do curso o estudante deverá ser capaz de:

1. Analisar fenômenos relacionados a linhas de transmissão (impedâncias, atenuação, velocidade, potência associada, frequências de corte, modos de propagação, reflexão de ondas e métodos para casamento de impedâncias).
2. Projetar diversos modelos de linhas de transmissão nas faixas de radiofrequência e micro-ondas.

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

1. Ser capaz de modelar os fenômenos, os sistemas físicos e químicos, utilizando as ferramentas matemáticas, estatísticas, computacionais e de simulação, entre outras;
2. Prever os resultados dos sistemas por meio dos modelos;
3. Conceber experimentos que gerem resultados reais para o comportamento dos

fenômenos e sistemas em estudo;

4. Verificar e validar os modelos por meio de técnicas adequadas;
5. Ser capaz de conceber e projetar soluções criativas, desejáveis e viáveis, técnica e economicamente, nos contextos em que serão aplicadas;
6. Projetar e determinar os parâmetros construtivos e operacionais para as soluções de Engenharia;
7. 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;
8. Ser capaz de interagir com as diferentes culturas, mediante o trabalho em equipes presenciais ou a distância, de modo que facilite a construção coletiva;
9. Gerenciar projetos e liderar, de forma proativa e colaborativa, definindo as estratégias e construindo o consenso nos grupos;
10. Aprender a aprender.

## **5. PROGRAMA**

### **1. Revisão de ondas planas**

- 1.1 Equações de Maxwell
- 1.2 Solução da equação da onda
- 1.3 Polarização de onda
- 1.4 Velocidade de fase
- 1.5 Índice de refração
- 1.6 Velocidade de grupo
- 1.7 Impedância dos meios dielétricos

### **2. Linhas de transmissão**

- 2.1 Circuito equivalente de uma linha de transmissão
- 2.2 Ondas caminhantes
- 2.3 Ondas estacionárias
- 2.4 Coeficiente de reflexão, padrão e razão de onda estacionária
- 2.5 Comportamento de linha de transmissão em alta frequência

### **3. Projetos de linhas de transmissão**

- 3.1 Dimensionamento do cabo coaxial
- 3.2 Dimensionamento da microfita

### **4. Casamento de impedâncias**

- 4.1 Transferência de potência nas linhas de transmissão
- 4.2 Controle do coeficiente de reflexão
- 4.3 Casamento de impedâncias com elementos reativos
- 4.4 Casamento de impedâncias com trecho de linha
- 4.5 Casamento de impedâncias com transformador de quarto de onda
- 4.6 Casamento de impedâncias com teco de linha de transmissão

### **5. Carta de Smith**

5.1 Carta de Smith

5.2 Técnicas de casamento de impedância: tocos fixos e móveis

5.3 Carta de impedância-admitância

5.4 Redes L e Pi

## 6. Guias de ondas metálicos

6.1 Propagação em guias de ondas metálicos

6.2 Propagação longitudinal de ondas planas em estruturas guiantes: reflexão total, interferência construtiva, condições de propagação sustentada

6.3 Ondas evanescentes nos meios confinantes

6.4 Equação modal de guias de onda retangulares e circulares

6.5 Mapa modal. Guiamento fraco e forte. Propagação monomodo

## 6. METODOLOGIA

### • Disponibilização de Materiais, Avisos e Dinâmica da Disciplina

- Todas as informações referentes à disciplina, tais como: acesso ao material de apoio, referências bibliográficas, plano de aulas, slides, lista de exercícios, apostilas, vídeos e avisos serão disponibilizados por meio do ambiente virtual do Microsoft Teams.

- O (A) discente interessado(a) em cursar a disciplina deve se inscrever pelo link abaixo.

Link

Teams: <https://teams.microsoft.com/l/team/19%3aTVAftbyqi94GdxdTaASGnookIJZe8-4ZBGvalW8Y5kc1%40thread.tacv2/conversations?groupId=35f5458b-e717-498f-bf6c-bc51b8d060c4&tenantId=cd5e6d23-cb99-4189-88ab-1a9021a0c451>

- É obrigatória a participação na equipe da disciplina no Microsoft Teams.

- Os resultados das atividades avaliativas serão disponibilizados por meio da plataforma.

### • Conteúdo Programático para Atividades Teóricas Presenciais

As aulas teóricas serão realizadas às quintas-feiras, de 7h10min até 8h50min, no Bloco G da UNIPAM, sala 206. Na tabela a seguir é apresentado o conteúdo programado para as atividades teóricas da disciplina.

Aula	Data	Conteúdo Teórico
1-2	11/01	<b>Apresentação da disciplina e contextualização dos tópicos abordados. Início do Conteúdo teórico.</b>  <b>Parte 1 - Propagação das ondas eletromagnéticas (Revisão de Ondas planas)</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Campo eletromagnético. Propriedades dos meios. Classificações dos meios. Revisão de operações vetoriais.</li></ul>
3-4	18/01	<ul style="list-style-type: none"><li>• Equações de Maxwell. Utilização das equações de Maxwell para encontrar campo elétrico e magnético. Equação de onda e solução da equação de onda.</li></ul>

5-6	25/01	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cálculos utilizando a equação de onda. Atenuação da onda eletromagnética. Análise do fator de propagação para diversos tipos de meios.</li> </ul>
7-8	01/02	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impedância do meio. Vetor de Pointing e cálculo de densidade média de potência. Frente de onda e velocidades de fase e de grupo, índice de refração e comprimento de onda.</li> </ul>
9-10	08/02	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polarização das ondas eletromagnéticas (Linear, Circular e Elíptica).</li> </ul>
11-12	15/02	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Prova 1</b></li> </ul>
13-14	22/02	<p><b>Parte 2 - Linhas de Transmissão</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Propagação em linhas de transmissão e circuito equivalente.</li> </ul>
15-16	29/02	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudo do fator de propagação e da impedância característica da linha. Velocidades envolvidas na linha de transmissão.</li> </ul>
17-18	07/03	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ondas caminantes, estacionárias. Análise do coeficiente de reflexão e do coeficiente de onda estacionária. Impedância ao longo da linha de transmissão.</li> </ul>
19-20	14/03	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerando efeitos reativos com trechos de linhas de transmissão (toco em curto e em aberto). Transformador de meia onda. Transformador de quarto de onda. Carga fantasma.</li> </ul>
21-22	21/03	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potência na linha de transmissão (Ativa, incidente e refletida). Perda por reflexão, perda de retorno, Atenuação total na linha de transmissão. <b>(Reposição de quinta-feira na terça-feira)</b></li> </ul>
23-24	28/03	<p><b>Parte 3 - Casamento de Impedância, Carta de Smith e Carta de Impedância Admitância.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Técnicas de adaptação de impedância célula em L, transformador de quarto de onda.</li> </ul>
25-26	04/04	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Técnicas de adaptação de impedância: tocos em curto-circuito ou aberto em paralelo com a linha.</li> </ul>
27-28	11/04	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carta de Smith e Carta de impedância Admitância. Trabalho de Guias de Onda.</li> </ul>
29-30	18/04	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Prova 2</b></li> </ul>
31-32	25/04	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Prova 3 (Recuperação) (Período da tarde - Aula extra)</b></li> </ul>

- **Conteúdo Programático para Atividades Práticas Presenciais**

As aulas práticas serão realizadas às quartas-feiras, das 10h40min às 11h30min, no Laboratório de Informática do Bloco Alpha. O cronograma das aulas práticas está apresentado na tabela abaixo.

Aula	Data	Conteúdo
1	10/01	Apresentação parte prática.
2	17/01	Revisão MATLAB/OCTAVE.
3	24/01	<b>Atividade prática 1:</b> Propagação da onda plana uniforme (verificação da influência do fator de propagação, fator de fase e da frequência da onda).
4	31/01	<b>Atividade prática 1:</b> Propagação da onda plana uniforme (verificação da influência do fator de propagação, fator de fase e da frequência da onda).
5	07/02	<b>Atividade prática 2:</b> impacto das propriedades do meio na propagação da onda plana (verificação da influência da condutividade, permissividade elétrica e permeabilidade magnética).
6	21/02	<b>Apresentação resolução da Prova 1</b>
7	28/02	<b>Atividade prática 3:</b> Propagação de sinais em linhas de transmissão com e sem casamento de impedância (análise da onda incidente e refletida).
8	06/03	<b>Atividade prática 3:</b> Propagação de sinais em linhas de transmissão com e sem casamento de impedância (análise da onda incidente e refletida).
9	13/03	<b>Atividade prática 4:</b> Análise do coeficiente de Reflexão e SWR.
10	20/03	<b>Atividade prática 4:</b> Análise do coeficiente de Reflexão e SWR.
11	27/03	<b>Atividade prática 5:</b> Análise de potência (ativa, incidente e refletida) na linha de transmissão. Perdas por reflexão, perda de Retorno e atenuação total na linha.
12	03/04	<b>Atividade prática 5:</b> Análise de potência (ativa, incidente e refletida) na linha de transmissão. Perdas por reflexão, perda de Retorno e atenuação total na linha.
13	10/04	<b>Atividade prática 6:</b> Casamento de impedância por meio da Carta de Smith e Carta de Impedância Admitância.
14	17/04	<b>Atividade prática 6:</b> Casamento de impedância por meio da Carta de Smith e Carta de Impedância Admitância.
15	24/04	Finalização da parte prática

- **Conteúdo Programático para Atividades Acadêmicas Extras (AAE)**

Aula	T/P	Data	Conteúdo - Atividades Acadêmicas Extras (AAE)
1-2-3-4	T	19/04	Trabalho Guias de onda parte teórica.
1-2-3	P	19/04	Trabalho Guias de onda parte prática.

- **Total da carga horária presencial e AAE**

Distribuição da carga horária	Teórica	Prática
<b>Carga Horária Presencial</b>	32 h/a	15 h/a
<b>Carga Horária AAE</b>	4 h/a	3 h/a
<b>Carga Horária Total</b>	36 h/a = 30 horas	18 h/a = 15 horas
<b>Carga total da disciplina</b>	54 h/a = 45 horas	

- **Atendimento**

O atendimento aos discentes se dará tanto de forma assíncrona (via fóruns de dúvidas no Teams/e-mail (andre.anjos@ufu.br)), quanto de forma presencial, na sala dos professores 1, 3º andar do Bloco Alpha, de acordo com o seguinte planejamento: quinta-feira entre 10h50min e 12h10min, ou em outro dia, desde que agendado previamente com o professor.

## 7. AVALIAÇÃO

- **Aproveitamento**

As atividades avaliativas serão realizadas ao longo de todo semestre. A tabela a seguir apresenta a data de entrega e a pontuação de cada atividade avaliativa a ser realizada pelo discente.

ATIVIDADES AVALIATIVAS	DATA DE ENTREGA	PONTUAÇÃO
Atividade prática 1	31/01	4
Atividade prática 2	14/02	4
Prova 1	15/02	30
Atividade prática 3	06/03	4
Atividade prática 4	20/03	4
Atividade prática 5	03/04	4
Prova 2	18/04	30
Entrega dos Trabalhos sobre Guias de onda	19/04	10
Participação e exercícios nas aulas presenciais	-	10
<b>Nota Parcial (NP)</b>		Total = 100 pontos

**\*Observação:** as datas apresentadas na tabela anterior podem ser alteradas pelo professor mediante aviso prévio aos alunos.

Os resultados das avaliações serão divulgados na equipe da disciplina no Microsoft Teams. 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).

O(a) discente necessita obter no mínimo 60 pontos de 100 para aprovação na disciplina sem recuperação. Caso ele seja aprovado, a nota lançada no registro de resultados será a NP (obtida ao longo do semestre).

- **Frequência**

A frequência será aferida por meio de chamada oral durante as aulas presenciais. Já a frequência da parte AAE, será contabilizada por meio das entregas das atividades de AAE solicitadas. A carga horária das aulas se encontram discriminadas na coluna "Aula" das tabelas de Conteúdo Programático, apresentadas no item 6 desse plano de ensino.

- **Recuperação**

A prova de recuperação somente será aplicada àquele estudante que não obtiver o rendimento mínimo para aprovação e com frequência mínima de 75% no componente curricular, conforme Resolução do CONGRAD (Nº46/2022). Esta prova

substituirá a menor nota obtida entre as provas 1, 2 ou 3, com o respectivo conteúdo. A avaliação, contemplando todo conteúdo ministrado ao longo do semestre, valerá 100 pontos e será aplicada no 25/04/2024 às 7h10min. A Nota Final de Recuperação (NFR) será calculada como sendo a média ponderada entre a NP e a nota obtida na avaliação de recuperação (NR), conforme apresentado abaixo.

$$\text{NFR} = \text{NP} \cdot 0,5 + \text{NR} \cdot 0,5$$

O discente em recuperação será aprovado na disciplina caso obtenha uma Nota Final de Recuperação maior ou igual a 60 ( $\text{NFR} \geq 60$  pontos).

**Observação:** A média final de aproveitamento do aluno em recuperação para lançamento no registro de resultados ficará limitada a 60 pontos, mesmo que a sua NFR supere este valor.

## 8. BIBLIOGRAFIA

### Básica

1. RIBEIRO, J. A. J.; **Engenharia de micro-ondas: fundamentos e aplicações.** São Paulo: Érica, 2008.
2. BALANIS, C. A. **Advanced engineering electromagnetics**, New York: John Wiley, 1989.
3. SARTORI, J. C. **Linhas de transmissão e carta de Smith.** 2. ed. São Carlos: USP, Escola de Engenharia de São Carlos, 2004.
4. RIBEIRO, J. A. J.; **Propagação das ondas eletromagnéticas - Princípios e Aplicações**, 2ª Edição, São Paulo: Érica, 2008.

### Complementar

1. CARDOSO, J. R. **Engenharia eletromagnética.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
2. CHRISTOPOULOS, Christos. **The Transmission-line modelling methods: TLM.** New York; Oxford: IEEE Press: Oxford University Press, 1995.
3. COLLIN, R. E.; **Foundations for microwave engineering.** 2nd ed. New York: IEEE Press: J. Wiley, 2001.
4. HAYT JR., W. H. **Eletromagnetismo.** São Paulo: McGraw-Hill, 2013.
5. SADIKU, Matthew N. O. **Elementos de eletromagnetismo.** Porto Alegre: Bookman, 2004.

## 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 **Andre Antonio Dos Anjos, Professor(a) do Magistério Superior**, em 03/02/2024, às 15:18, 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 **4943169** e o código CRC **D70406C8**.

---

**Referência:** Processo nº 23117.078172/2023-81

SEI nº 4943169