



Ministério da Educação
 UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
 Setor de Tecnologia
 Departamento de Engenharia Elétrica

Ficha 2

Disciplina: Ondas Eletromagnéticas								Código: TE338	
Natureza: Obrigatória			Semestral						
Pré-requisito: Não há			Co-requisito: Não Há			Modalidade: EaD (100%)			
CH Total: 60 CH semanal: 04	Padrão (PD): 60/04	Laboratório (LB): 0	Campo (CP): 0	Estágio (ES): 0	Orientada (OR): 0	Prática Específica (PE): 0	Estágio de Formação Pedagógica (EFP): 0		
EMENTA (Unidade Didática)									
Campo eletromagnético, Equações de Maxwell, Onda plana uniforme, Guias de onda, Potenciais Eletromagnéticos, Dipolo eletromagnético, Antenas									
PROGRAMA (itens de cada unidade didática)									
<ol style="list-style-type: none"> 1. Apresentação da disciplina e da ementa. 2. Números Complexos e Cálculo Vetorial: Teoremas e Identidades Importantes. 3. Campos Ondulatórios: A equação de ondas, definições básicas de ondulatória 4. Indução Eletromagnética e a Lei de Faraday Lenz 5. Corrente de Deslocamento e a Lei de Ampère-Maxwell 6. Equações de Maxwell: forma diferencial e integral 7. Leis de Conservação e o Vetor de Poynting 8. Equações de Maxwell em Regime Harmônico 9. Dedução da equação de ondas eletromagnéticas a partir das Equações de Maxwell 10. Onda plana uniforme e as equações de Maxwell para ondas planas uniformes 11. Ondas Planas em Meios Materiais: Meios Dielétricos, Meios Condutores, Efeito Pelicular 12. Polarização de Ondas: Linear e Circular 13. Interfaces Planas: lei de Snell, refração e reflexão, ângulo de Brewster 14. OEM em linhas de transmissão. Equações do Telegrafista. Propagação sem perdas. 15. Guia de onda: Noções Gerais, Modo transversal magnético (TM) e Modo transversal elétrico (TE). 16. Potenciais eletromagnéticos – potencial escalar, vetorial e transformações de calibre. 17. Radiação Eletromagnética e Antenas 18. Potenciais e campo eletromagnéticos de um dipolo elétrico. 19. Campo próximo e campo distante. 20. Potência radiada e resistência de radiação. 21. Características básicas de Antenas: Diretividade, Eficiência de Radiação e Ganho da antena. 22. Abertura efetiva das antenas. Equação de Friis para enlace sem fio. 									
OBJETIVO GERAL									
Familiarizar o estudante com os conceitos fundamentais das Equações de Maxwell para Campos Eletromagnéticos Variantes no tempo e das Ondas Eletromagnéticas. O estudante deverá ser capaz de compreender as Equações de Maxwell e a teoria das Ondas Eletromagnéticas e ser capaz de estabelecer correlações entre teoria e problemas contextualizados. tendo uma visão ampla dos conceitos inerentes à propagação de ondas eletromagnéticas em meios materiais, antenas e guias de onda.									

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar as Equações de Maxwell no regime variante no tempo e o seu significado físico;
- Apresentar Leis de Conservação de Carga e o Teorema de Poynting;
- Abordar conceitos fundamentais relacionados às ondas eletromagnéticas e a sua importância para a Engenharia
- Discutir o limite de validade da teoria de circuitos elétricos
- Aplicar a teoria eletromagnética em problemas de antenas e guias de onda.
- Transitar por diferentes formas de representação matemática com reconhecimento das variáveis associadas.
- Possuir discernimento quanto ao melhor método de solução de questões e problemas contextualizados.
- Determinar com clareza as variáveis e parâmetros relacionados ao eletromagnetismo.

PROCEDIMENTOS DIDÁTICOS

A disciplina será desenvolvida por meio de aulas semanais, assíncronas, gravadas e disponibilizadas através do YouTube semanalmente, para os participantes regularmente matriculados na disciplina. O participante terá a opção de assistir a aula a qualquer momento que tenha disponibilidade. Cada aula terá associada uma tarefa a ser respondida pelo participante de forma individual e cujo prazo de envio ao professor responsável será de uma semana. O *Ambiente Virtual de Aprendizagem* (AVA) será a plataforma Microsoft® TEAMS, disponível gratuitamente para todos os estudantes com registro ativo na UFPR, para disponibilização de atividades e eventuais reuniões em tempo real. As aulas gravadas serão disponibilizadas através do YouTube, cujos links serão disponibilizados na página da disciplina (www.eletrica.ufpr.br/cadartora/TE338.htm). Serão cadastrados no grupo “Ondas Eletromagnéticas – TE338” da plataforma Microsoft® TEAMS unicamente os alunos com matrícula regularmente realizada na disciplina TE338 através da Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica, para o período letivo 2021/1. O professor responsável pela disciplina atuará como tutor e esclarecerá dúvidas dos estudantes, que devem enviá-las por escrito para o professor através de canal de e-mail institucional da UFPR, a ser divulgado, sendo a resposta do professor-tutor realizada através de resposta ao e-mail.

Material didático:

As aulas serão gravadas a partir de apresentações já existentes da disciplina ofertada na forma presencial, de autoria do próprio docente. O material original sofreu adaptações para o Ensino à Distância. O material didático (Slides das Aulas em Formato PDF, Livro texto da disciplina e Listas de Exercícios) estão disponíveis no site da disciplina (www.eletrica.ufpr.br/cadartora/TE338.htm).

Requisitos digitais:

Para participar das atividades da disciplina o estudante deverá ter acesso a computador, *notebook* ou *desktop*, ou ainda a *tablet*, com acesso à Internet em banda larga. Não é necessária aquisição ou instalação de nenhum *software* em especial, uma vez que todos alunos da UFPR tem acesso gratuito ao pacote Microsoft® Office para Web. Recomenda-se que a participação na Reunião Virtual Semanal seja feita com o uso de computador, mas pode ser feita – caso necessário – através de *smartphone* onde seja instalado previamente o aplicativo Microsoft® TEAMS, disponível gratuitamente para as plataformas Android e iOS.

Para o cadastramento dos participantes na plataforma Microsoft® TEAMS e obter acesso gratuito ao pacote Microsoft® Office para Web é obrigatório ao aluno ter um e-mail institucional da UFPR, na forma seunome@ufpr.br. Os alunos que porventura não tiverem ainda seu e-mail institucional devem obtê-lo gratuitamente acessando ao serviço da AGETIC (Agência de Tecnologia da Informação e Comunicação) da UFPR pelo *link*: <https://intranet.ufpr.br/intranet/public/solicitacaoEmail!inputFormCPF.action>

Estudantes que fazem parte dos programas de assistência estudantil da UFPR e estudantes com comprovação de vulnerabilidade socioeconômica e falta de acesso digital devem buscar auxílio em editais específicos coordenados pela Pró-reitoria de Assuntos Estudantis (PRAE) da UFPR.

Controle de frequência das atividades:

Fica estabelecido o controle de frequência somente por meio da realização, de forma assíncrona, de trabalhos e exercícios domiciliares desenvolvidos pelos estudantes.

FORMAS DE AVALIAÇÃO

- Estão previstas 5 (cinco) atividades, cada uma delas recebendo uma nota (n_i) de 0 (zero) a 100 (cem), conforme segue:
 - Atividade 1: Vetores e Números Complexos/Equação de Ondas/Efeito Doppler/Linhas de Transmissão
 - Atividade 2: Equações de Maxwell/Leis de Conservação/Eq. de Ondas Eletromagnéticas
 - Atividade 3: Ondas Planas Uniformes/ Superposição de Ondas/Ondas EM em meios materiais
 - Atividade 4: Potenciais Eletromagnéticos, Radiação e Antenas/Fórmula de Friis
 - Atividade 5: Guias de Ondas/Decomposição Transverso-Longitudinal/Modos TE e TM

- Atividades postadas fora do prazo são penalizadas com a perda de 30% da nota.
- A **Média Parcial** ($m_{parcial}$) será calculada pela média das notas obtidas nas atividades, através de:

$$m_{parcial} = \frac{\sum_{i=1...5} n_i}{5}$$

- A partir do cálculo da **Média Parcial** ($m_{parcial}$), tem-se os participantes **Aprovados por média** no caso de $m_{parcial} \geq 70$ e a **Média Final** (m_{final}) terá o mesmo valor da **Média Parcial** ($m_{parcial}$).
- Os participantes cuja **Média Parcial** ($m_{parcial}$) seja inferior a 70 porém igual ou superior a 40 ($40 \geq m_{parcial} \geq 70$) será dada a oportunidade da redação de um Trabalho Extra, com tema a ser definido, ao qual será atribuída uma nota (t_{extra}) entre zero e 100. Neste caso a **Média Final** (m_{final}) será obtida através de:

$$m_{final} = \frac{m_{parcial} + t_{extra}}{2}$$

- Participantes cuja **Média Parcial** ($m_{parcial}$) for inferior a 40 serão considerados REPROVADOS, sem direito ao Trabalho Extra.

A frequência mínima para aprovação deve ser maior ou igual a 75%.

BIBLIOGRAFIA BÁSICA (mínimo 03 títulos)

- SADIKU, Matthew N. O. Elementos de eletromagnetismo. Bookman, Porto Alegre, 3a. Ed. ou Superior.
- HAYT, William Hart. Eletromagnetismo, 4a Edição ou superior, Rio de Janeiro, Editora LTC
- GRIFFITHS, David J. (David Jeffery). Eletrodinâmica. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2011. xv, 402 p., il. ISBN 9788576058861 (broch.).

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR (mínimo 05 títulos)

- JACKSON, John David. Classical electrodynamics. 2. ed. ou superior, New York: J. Wiley
- SOPHOCLES J. Orfanidis, Electromagnetic Waves and Antenas, disponível livremente no site www.ece.rutgers.edu/~orfanidi/ewa.
- REITZ, John R; MILFORD, Frederick J; CHRISTY, Robert W. Fundamentos da teoria eletromagnética. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, c1982. 516p., il. Inclui referencias bibliográficas. ISBN 8570011032.
- EDMINISTER, Joseph A. Eletromagnetismo. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1980. 232p., il. (Coleção Schaum).
- RIBEIRO, José Antônio Justino. Propagação das ondas eletromagnéticas: princípios e aplicações. São Paulo: Erica, 2004. 390 p., il. Inclui bibliografia e índice. ISBN 857194993X (broch.).
- DARTORA, C.A., Heilmann, A. Teoria do Campo Eletromagnético e Propagação de Ondas (Ed.1, 2021, ISBN: 978-65-002-4655-1)

Obs.: Devido à impossibilidade de empréstimo dos volumes físicos disponíveis na Biblioteca de Ciência e Tecnologia da UFPR, motivada pelas restrições de acesso às edificações da Universidade devido a Pandemia mundial da COVID-19, será dada ênfase ao uso dos slides/apostila de autoria do próprio docente. No entanto, referências bibliográficas indicadas tem sido disponibilizadas de forma temporária na forma de arquivos digitais fornecidos pelas respectivas editoras.

Professor da Disciplina: César Augusto Dartora

Assinatura: _____

Chefe de Departamento ou Unidade equivalente: Luiz Antônio Belinaso

Assinatura: _____

Cronograma Detalhado de Aulas e Avaliações – Período Letivo 2021/1

Data	Assunto
Semana 1 20/09/21 a 26/09/21 CH: 8h	Aula 0: Introdução – Engenharia Elétrica e a Importância das Equações de Maxwell Revisão: Números complexos e cálculo vetorial (Leitura/Exercícios – 3,5 horas) Aula 1: Partículas e Campos; Campos Ondulatórios (em inglês, disponível no Youtube) Aula 2: Equação de Ondas e Fundamentos da Ondulatória Aula 3: Solução da Equação de Ondas Aula 4: Equação de Ondas e a Invariância e Relatividade
Semana 2 27/09/21 a 03/10/21 CH: 7h	Aula 5: Linhas de Transmissão, Guias de Ondas – definições principais e tipos, Limites de Validade da Teoria de Circuitos Elétricos Aula 6: Equações do Telegrafista/Ondas em LT – Dedução a partir do Modelo de Parâmetros Distribuídos Aula 7: Solução da Eq. De Ondas em LT
Semana 3 04/10/21 a 10/10/21 CH: 7h	Aula 8: Coefficiente de Reflexão, Impedância, Cargas Especiais Atividade 1 (entregar até ...) Aula 9: Pulsos em Linhas de Transmissão e Cargas Puramente Resisivas Aula 10: Carta de Smith Atividade 1 (entregar até 14/10)
Semana 4 11/10/21 a 17/10/21 CH: 8h	Aula 11: Equações de Maxwell: definições e significado físico Aula 12: Equações de Maxwell: Equações de Continuidade e consistência interna Aula 13: Equações de Maxwell: Leis de conservação, teorema de Poynting Aula 14: Equação de Ondas Eletromagnéticas: dedução a partir das Eqs. de Maxwell Atividade 2 (entregar até 20/10)
Semana 5 18/10/21 a 24/10/21 CH: 8h	Aula 15: Ondas Planas Uniformes Eletromagnéticas Aula 16: Princípio de Superposição de Ondas e Conexão com Problemas reais Aula 17: Interfaces Planas, Reflexão e Refração Aula 18: Ondas Planas Uniformes: Exercícios Atividade 3 (entregar até 27/10)
Semana 6 25/10/21 a 31/10/21 CH: 8h	Aula 19: Potenciais Eletromagnéticos e Liberdade de Calibre Aula 20: Equações de Ondas para os Potenciais Eletromagnéticos Aula 21: Solução Formal das Equações com Fontes e Aproximações Aula 22: Radiação Eletromagnética e Dipolo Elétrico
Semana 7 01/11/21 a 07/11/21 CH: 7h	Aula 23: Características básicas de Antenas: Diretividade, Ganho e Diagramas de radiação Aula 24: Fórmula de Friis e Aplicações Aula 25: Exercícios de Antenas e Fórmula de Friis Atividade 4 (entregar até 10/11)
Semana 8 08/11/21 a 14/11/21 CH: 7h	Aula 26: Ondas guiadas Revisitadas: Decomposição Transverso-Longitudinal Aula 27: Modos TE e TM em Guias de Microondas Aula 28: Fundamentos das Fibras ópticas (Informativa) Atividade 5 (entregar até 17/11)
Semana 9 15/11/21 a 20/11/21	Fechamento de Notas das Atividades/Período de Estudos.
Semana 10 21/11/21 a 27/11/21	Exame Final: a ser disponibilizado até 06/07/21 com prazo de entrega até 25/11/21.

*CH: Carga Horária Estimada para cada semana.

**Atividades serão contabilizadas como 1,5h para o cômputo da carga horária total daquela semana, embora possam requerer mais tempo para a realização.

*** Possíveis alterações de datas de aulas poderão ocorrer, a depender do andamento da disciplina e eventuais alterações em datas de avaliação serão previamente comunicadas aos alunos através da homepage da disciplina.

<http://www.eletrica.ufpr.br/cadartora/TE338.htm>