



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

**Ficha 2 (Período Especial 2– Resolução No. 65/2020-CEPE)**

Disciplina: <b>Ondas Eletromagnéticas</b>								Código: <b>TE338</b>	
Natureza: Obrigatória		Semestral							
Pré-requisito: Não há		Co-requisito: não há			Modalidade: EaD (100%)				
<b>CH Total: 60</b> <b>CH semanal:</b> <b>04</b>	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		
<b>EMENTA (Unidade Didática)</b>									
Campo eletromagnético, Equações de Maxwell, Onda plana uniforme, Guias de onda, Potenciais Eletromagnéticos, Dipolo eletromagnético, Antenas									
<b>PROGRAMA (itens de cada unidade didática)</b>									
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apresentação da disciplina e da ementa.</li> <li>2. Números Complexos e Cálculo Vetorial: Teoremas e Identidades Importantes.</li> <li>3. Campos Ondulatórios: A equação de ondas, definições básicas de ondulatória</li> <li>4. Indução Eletromagnética e a Lei de Faraday Lenz</li> <li>5. Corrente de Deslocamento e a Lei de Ampère-Maxwell</li> <li>6. Equações de Maxwell: forma diferencial e integral</li> <li>7. Leis de Conservação e o Vetor de Poynting</li> <li>8. Equações de Maxwell em Regime Harmônico</li> <li>9. Dedução da equação de ondas eletromagnéticas a partir das Equações de Maxwell</li> <li>10. Onda plana uniforme e as equações de Maxwell para ondas planas uniformes</li> <li>11. Ondas Planas em Meios Materiais: Meios Dielétricos, Meios Condutores, Efeito Pelicular</li> <li>12. Polarização de Ondas: Linear e Circular</li> <li>13. Interfaces Planas: lei de Snell, refração e reflexão, ângulo de Brewster</li> <li>14. OEM em linhas de transmissão. Equações do Telegrafista. Propagação sem perdas.</li> <li>15. Guia de onda: Noções Gerais, Modo transversal magnético (TM) e Modo transversal elétrico (TE).</li> <li>16. Potenciais eletromagnéticos – potencial escalar, vetorial e transformações de calibre.</li> <li>17. Radiação Eletromagnética e Antenas</li> <li>18. Potenciais e campo eletromagnéticos de um dipolo elétrico.</li> <li>19. Campo próximo e campo distante.</li> <li>20. Potência radiada e resistência de radiação.</li> <li>21. Características básicas de Antenas: Diretividade, Eficiência de Radiação e Ganho da antena.</li> <li>22. Abertura efetiva das antenas. Equação de Friis para enlace sem fio.</li> </ol>									
<b>OBJETIVO GERAL</b>									
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 semanalmente na página da disciplina ([www.eletrica.ufpr.br/cadartora/TE338.htm](http://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, no Período Especial 2 previsto em Resolução 65/2020-CEPE. O professor responsável pela disciplina atuará como tutor. A tutoria (de participação não obrigatória e considerada atividade extra-classe) será realizada na forma de uma Reunião Virtual de acordo com a necessidade da turma, na plataforma Microsoft® TEAMS, às segundas-feiras com início às 19 horas ou em outro horário a combinar com os discentes matriculados. Os participantes serão orientados a enviar suas dúvidas antecipadamente por escrito para o professor através de canal de e-mail institucional da UFPR, a ser divulgado, sendo a resposta do professor-tutor preferencialmente realizada na Reunião Virtual.

### 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](http://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](mailto: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/solicitacaoEmailInputFormCPF.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 8 (oito) atividades, cada uma delas recebendo uma nota ( $n_i$ ) de 0 (zero) a 100 (cem), conforme segue:

Atividade 1: Vetores e Números Complexos

Atividade 2: Equação de Ondas/Efeito Doppler

Atividade 3: Linhas de Transmissão Parte 1  
Atividade 4: Linhas de Transmissão Parte 2  
Atividade 5: Equações de Maxwell/Leis de Conservação/Eq. de Ondas Eletromagnéticas  
Atividade 6: Ondas Planas Uniformes/ Superposição de Ondas/Ondas EM em meios materiais  
Atividade 7: Potenciais Eletromagnéticos, Radiação e Antenas/ Fórmula de Friis  
Atividade 8: 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:

$$m_{parcial} = \frac{\sum_{i=1...8} n_i}{8}$$

- 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.).

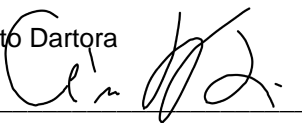
#### **BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR (mínimo 05 títulos)**

- 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](http://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.).

**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:** \_\_\_\_\_

\*OBS: ao assinalar a opção % EAD, indicar a carga horária que será à distância.

**Cronograma Detalhado de Aulas e Avaliações – Período Letivo 2020/Especial 2**  
**Obedecendo a Resolução 65/2020 - CEPE**

<b>Data</b>	<b>Assunto</b>
Semana 1 03/11/20 a 08/11/20 CH: 6h	Aula 0: <b>Introdução – Engenharia Elétrica e a Importância das Equações de Maxwell</b> <b>Revisão: Números complexos e cálculo vetorial (Leitura/Exercícios – 3,5 horas)</b> Aula 1: <b>Partículas e Campos; Campos Ondulatórios (em inglês, disponível no Youtube)</b> <b>Atividade 1 (entregar até 14/11)</b>
Semana 2 09/11/20 a 15/11/20 CH: 7h	Aula 2: <b>Equação de Ondas e Fundamentos da Ondulatória</b> Aula 3: <b>Solução da Equação de Ondas</b> Aula 4: <b>Equação de Ondas e a Invariância e Relatividade</b> <b>Atividade 2 (entregar até 21/11)</b>
Semana 3 16/11/20 a 22/11/20 CH: 7h	Aula 5: <b>Linhas de Transmissão, Guias de Ondas – definições principais e tipos, Limites de Validade da Teoria de Circuitos Elétricos</b> Aula 6: <b>Equações do Telegrafista/Ondas em LT – Dedução a partir do Modelo de Parâmetros Distribuídos</b> <b>Atividade 3 (entregar até 29/11)</b>
Semana 4 23/11/20 a 29/11/20 CH: 8h	Aula 7: <b>Solução da Eq. De Ondas em LT</b> Aula 8: <b>Coefficiente de Reflexão, Impedância, Cargas Especiais</b> <b>Atividade 1 (entregar até ...)</b> Aula 9: <b>Pulsos em Linhas de Transmissão e Cargas Puramente Resisivas</b> Aula 10: <b>Carta de Smith</b> <b>Atividade 4 (entregar até 06/12)</b>
Semana 5 30/11/20 a 06/12/20 CH: 8h	Aula 11: <b>Equações de Maxwell: definições e significado físico</b> Aula 12: <b>Equações de Maxwell: Equações de Continuidade e consistência interna</b> Aula 13: <b>Equações de Maxwell: Leis de conservação, teorema de Poynting</b> Aula 14: <b>Equação de Ondas Eletromagnéticas: dedução a partir das Eqs. de Maxwell</b> <b>Atividade 5 (entregar até 12/12)</b>
Semana 6 07/12/20 a 13/12/20 CH: 8h	Aula 15: <b>Ondas Planas Uniformes Eletromagnéticas</b> Aula 16: <b>Princípio de Superposição de Ondas e Conexão com Problemas reais</b> Aula 17: <b>Interfaces Planas, Reflexão e Refração</b> Aula 18: <b>Ondas Planas Uniformes: Exercícios</b> <b>Atividade 6 (entregar até 19/12)</b>
20/12/2020 a 17/01/2021	<b>RECESSO</b>
Semana 7 18/01/21 a 24/01/21 CH: 8h	Aula 19: <b>Potenciais Eletromagnéticos e Liberdade de Calibre</b> Aula 20: <b>Equações de Ondas para os Potenciais Eletromagnéticos</b> Aula 21: <b>Solução Formal das Equações com Fontes e Aproximações</b> Aula 22: <b>Radiação Eletromagnética e Dipolo Elétrico</b> <b>Atividade 7 (entregar até 31/01)</b>
Semana 8 25/01/21 a 31/01/21 CH: 8h	Aula 23: <b>Características básicas de Antenas: Diretividade, Ganho e Diagramas de radiação</b> Aula 24: <b>Fórmula de Friis e Aplicações</b> Aula 25: <b>Exercícios de Antenas e Fórmula de Friis</b> Aula 26: <b>Ondas guiadas Revisitadas: Decomposição Transverso-Longitudinal</b> Aula 27: <b>Modos TE e TM em Guias de Microondas</b> Aula 28: <b>Fundamentos das Fibras ópticas (Informativa)</b> <b>Atividade 8 (entregar até 06/02)</b>
Semana 9 01/02/21 a 06/02/21	<b>Fechamento de Notas das Atividades/Período de Estudos.</b>
Semana 10 07/02/21 a 14/02/21	<b>Exame Final: Trabalho disponibilizado em 09/02/21 com prazo de entrega até 11/02/21.</b>

\*CH: Carga Horária Estimada para cada semana.

\*\*Atividades serão contabilizadas como 1,25h para o cômputo da carga horária total daquela semana, embora possam requerer mais tempo para a realização.

\*\*\* As datas acima seguem Resolução 65/2020 do CEPE que rege o Período Especial 2 de 2020. 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>