

PLANO DE ENSINO 2020.2¹

I. IDENTIFICAÇÃO DA DISCIPLINA:

CÓDIGO	NOME DA DISCIPLINA	HORAS-AULA SEMANAIS		HORAS-AULA SEMESTRAIS
		TEÓRICAS	PRÁTICAS	
EEL 7416	Introdução à Codificação	4	0	72 horas-aula

II. PROFESSOR(ES) MINISTRANTE(S)

Prof. Bartolomeu F. Uchôa Filho

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

IV. CURSOS PARA OS QUAIS A DISCIPLINA É OFERECIDA

Graduação em Engenharia Elétrica, Graduação em Engenharia Eletrônica

V. EMENTA

1. Introdução à teoria da informação e codificação
2. Códigos de bloco
3. Códigos cíclicos
4. Códigos LDPC
5. Códigos convolucionais
6. Códigos turbo

VI. OBJETIVOS

Compreender os princípios fundamentais sobre códigos corretores de erros, tanto os algébricos (Hamming, etc.) quanto os sobre grafos (Turbo e LDPC). Desenvolver competências e habilidades para projetar e analisar códigos corretores de erros. Aprender diferentes decodificadores e suas implementações.

VII. CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

1. Introdução à Teoria da Informação e Codificação

- 1.1. Uma Medida de Informação
- 1.2. Entropia e Taxa de Informação
- 1.3. Fontes Discretas Sem Memória
- 1.4. Canais Discretos Sem Memória
- 1.5. Entropias *A Priori* e *A Posteriori*
- 1.6. Informação Mútua: Definição
- 1.7. Informação Mútua: Propriedades
- 1.8. Capacidade de um Canal Discreto
- 1.9. Os Teoremas de Shannon
 - 1.9.1. Teorema da Codificação de Fonte
 - 1.9.2. Capacidade de Canal e Codificação
 - 1.9.3. Teorema da Codificação de Canal
- 1.10. Espaços de Sinais e o Teorema da Codificação de Canal
 - 1.10.1. Capacidade do Canal Gaussiano
- 1.11. Codificação para Controle de Erros
- 1.12. Limites da Comunicação e Suas Consequências

2. Códigos de Bloco

- 2.1. Codificação para Controle de Erros
- 2.2. Detecção e Correção de Erros
 - 2.2.1. O Código de Repetição
- 2.3. Códigos de Bloco: Introdução e Parâmetros
- 2.4. O Espaço Vetorial sobre o Campo Binário

¹ 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.

- 2.4.1. Subespaços Vetoriais
 - 2.4.2. Subespaço Dual
 - 2.4.3. Forma Matricial
 - 2.4.4. Matriz do Subespaço Dual
 - 2.5. Códigos de Bloco Lineares
 - 2.5.1. Matriz Geradora, **G**
 - 2.5.2. Códigos de Bloco em Forma Sistemática
 - 2.5.3. Matriz de Verificação de Paridade, **H**
 - 2.6. Detecção de Erros por Síndrome
 - 2.7. Distância Mínima de um Código de Bloco
 - 2.7.1. Distância Mínima e a Estrutura da Matriz **H**
 - 2.8. Capacidade de Correção de Erros de um Código de Bloco
 - 2.9. Detecção por Síndrome e o Arranjo Padrão
 - 2.10. Códigos de Hamming
- 3. Códigos Cíclicos**
- 3.1. Descrição
 - 3.2. Representação Polinomial das Palavras-Código
 - 3.3. Gerador Polinomial de um Código Cíclico
 - 3.4. Códigos Cíclicos na Forma Sistemática
 - 3.5. Matriz Geradora de um Código Cíclico
 - 3.6. Cálculo de Síndrome e Detecção de Erros
 - 3.7. Decodificação de Códigos Cíclicos
 - 3.8. Exemplo: CRC para o Padrão Ethernet
- 4. Códigos de Verificação de Paridade de Baixa Densidade (LDPC)**
- 4.1. Diferentes Formas Sistemáticas de Um Código de Bloco
 - 4.2. Descrição de Códigos LDPC
 - 4.3. Construção de Códigos LDPC
 - 4.3.1. Códigos LDPC Regulares
 - 4.3.2. Códigos LDPC Irregulares
 - 4.3.3. Decodificação de Códigos LDPC: O Grafo de Tanner
 - 4.4. O Algoritmo Soma-Produto
 - 4.5. Algoritmo Soma-Produto para Códigos LDPC: Um Exemplo
 - 4.6. Simplificações no Algoritmo Soma-Produto
 - 4.7. Um Decodificador Logaritmo para LDPC
- 5. Códigos Convolucionais**
- 5.1. Circuitos Sequenciais Lineares
 - 5.2. Códigos e Codificadores Convolucionais
 - 5.3. Descrição no Domínio da Transformada D
 - 5.4. Representação do Codificador Convolutivo
 - 5.4.1. Representação das Conexões
 - 5.4.2. Representação por Diagrama de Estados
 - 5.4.3. Representação por Treliças
 - 5.5. Códigos Convolucionais na Forma Sistemática
 - 5.6. Estrutura Geral das Respostas ao Impulso Finita e Infinita (FSSMs)
 - 5.7. Matriz Função de Transferência de Estados: Cálculo da Função de Transferência
 - 5.8. Relação Entre as Formas Sistemáticas e Não Sistemáticas
 - 5.9. Propriedades de Distâncias de Códigos Convolucionais
 - 5.10. Distância Livre Mínima de um Código Convolutivo
 - 5.11. Detecção de Máxima Verossimilhança
 - 5.12. Decodificação de Códigos Convolucionais: o Algoritmo de Viterbi
 - 5.13. Diagrama de Estados Modificado e Estendido
 - 5.14. Análise de Probabilidade de Erros de Códigos Convolucionais
 - 5.15. Decisões Suave e Abrupta
 - 5.16. Códigos Convolucionais Puncionados e Esquemas Compatíveis em Taxa
- 6. Códigos Turbo**
- 6.1. Um Codificador Turbo
-

- 6.2. Decodificação de Códigos Turbo
- 6.3. Fontes de Markov e Canais Discretos
- 6.4. O Algoritmo BCJR: Codificação de Treliça e Canais Discretos sem Memória
- 6.5. Cálculo Interativo de Coeficiente
- 6.6. O Algoritmo MAP BCJR e a LLR
- 6.7. Decodificação Turbo

VIII. METODOLOGIA DE ENSINO / DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

A disciplina é completamente teórica. Os sistemas codificados e suas propriedades serão apresentados com o devido rigor matemático. O material será apresentado a partir de aulas pré-gravadas (usando os aplicativos OBS para gravação e Avidemux para edição dos vídeos), nas quais o professor fará uso de slides (preparado em LaTeX) e do quadro branco (através do Microsoft Whiteboard). Os alunos terão acesso às aulas através de links para o YouTube, disponibilizados no Moodle nas terças-feiras. Depois de 3 dias para visualização, teremos aula síncrona, nas sextas-feiras, para discussões e esclarecimentos de dúvidas, adotando o recurso ConferenciaWeb do próprio Moodle. Haverá aula síncrona também no primeiro dia de aula, para apresentação e esclarecimentos sobre a disciplina, e nas semanas de prova, para resolução de exercícios e esclarecimentos de dúvidas sobre a matéria. A comunicação por e-mail e por grupo do WhatsApp será sempre utilizada ao longo do semestre letivo.

IX. ATIVIDADES PRÁTICAS

Não há

X. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO E CONTROLE DE FREQUÊNCIA

Listas de exercícios serão passadas aos alunos, para que consolidem os seus conhecimentos.

O desempenho do aluno será avaliado a partir de 3 provas teóricas com consulta e de um trabalho computacional. A nota será a média aritmética das 4 avaliações. No trabalho, o aluno deverá desenvolver uma simulação de um ou mais dos sistemas codificados estudados, para estimar empiricamente a taxa de erro de bit do(s) sistema(s). Alternativamente, os alunos poderão estudar novas formas de codificação para a Redes 5G/6G e fazer uma apresentação síncrona com slides, além de entregar um relatório ao professor.

As provas teóricas, por sua vez, serão disponibilizadas no Moodle em dia e horário pré-determinados, preferencialmente numa sexta-feira, tendo início no horário da aula, como é feito normalmente no modo presencial, porém com um prazo de 24 horas para envio da resolução por e-mail. O professor será totalmente flexível no caso de dificuldades técnicas, estando de prontidão para tirar dúvidas e sanar qualquer problema. Caso a realização da prova no horário previsto não seja possível, por indisponibilidade técnica, a prova será adiada para um outro dia se o problema for do sistema Moodle. Se o problema for específico do aluno, será combinada a realização de uma prova substitutiva em outro dia e horário.

O controle da frequência será feito a partir da participação do aluno nas reuniões síncronas no ConferenciaWeb.

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 (disponível na BU)

1. T. K. Moon, Error Correction Coding: Mathematical Methods and Algorithms, Wiley, 2005. ISBN 978-0471648000 (Número de chamada: 51-74 M818e)

A bibliografia complementar abaixo está disponível online através do VPN UFSC.

1. C. B. Schlegel and L. C. Perez, Trellis and Turbo Coding, Wiley-IEEE, 2004. (<https://ieeexplore.ieee.org/book/5201825>)
 2. Yuan Jiang, A Practical Guide to Error-Control Coding Using MATLAB, Artech, 2010. (<https://ieeexplore.ieee.org/document/9100364>)
 3. George C. Clark Jr. and J. Bibb Cain, Error-Correction Coding for Digital Communications (<https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4899-2174-1>)
 4. Monica Borda, Fundamentals in Information Theory and Coding (<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-20347-3>)
 5. Ezio Biglieri, Coding for Wireless Channels, (<https://link.springer.com/book/10.1007/b136517>)
 6. Branka Vucetic, Jinhong Yuan, Turbo Codes: Principles and Applications (<https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4615-4469-2>)
-

Cronograma das Aulas Síncronas

Aula	Data	CH	
1	02/02	4h	Moodle da disciplina. Aula de apresentação do plano de ensino e planejamento didático. Apresentação de resenha dos textos e vídeos para a próxima aula: Seções 1.1 a 1.7
2	05/02	4h	Moodle da disciplina. Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior. Apresentação de resenha dos textos e vídeos para a próxima aula: Seções 1.8 a 1.12
3	12/02	4h	Moodle da disciplina. Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior. Aula de exercícios
4	19/02	4h	Atividade Avaliativa. (Prova Teórica 1) Apresentação de resenha dos textos e vídeos para a próxima aula: Seções 2.1 a 2.5
5	26/02	4h	Moodle da disciplina. Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior, Apresentação de resenha dos textos e vídeos para a próxima aula: Seções 2.6 a 2.8
6	05/03	4h	Moodle da disciplina. Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior, Apresentação de resenha dos textos e vídeos para a próxima aula: Seções 2.9 a 2.10
7	12/03	4h	Moodle da disciplina. Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior, Apresentação de resenha dos textos e vídeos para a próxima aula: Seções 3.1 a 3.5
8	19/03	4h	Moodle da disciplina. Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior, Apresentação de resenha dos textos e vídeos para a próxima aula: Seções 3.6 a 3.8
9	26/03	4h	Moodle da disciplina. Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior. Aula de exercícios
10	09/04	4h	Atividade Avaliativa. (Prova Teórica 2) Apresentação de resenha dos textos e vídeos para a próxima aula: Seções 4.1 a 4.3
11	16/04	4h	Moodle da disciplina. Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior, Apresentação de resenha dos textos e vídeos para a próxima aula: Seções 4.4 a 4.7 Descrição do trabalho computacional a ser entregue até 21/05
12	23/04	4h	Moodle da disciplina. Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior, Apresentação de resenha dos textos e vídeos para a próxima aula: Seções 5.1 a 5.7
13	30/04	4h	Moodle da disciplina. Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior, Apresentação de resenha dos textos e vídeos para a próxima aula: Seções 5.8 a 5.16
14	07/05	4h	Moodle da disciplina. Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior. Aula de exercícios
15	14/05	4h	Atividade Avaliativa. (Prova Teórica 3) Apresentação de resenha dos textos e vídeos para a próxima aula: Seções 6.1 a 6.7
16	21/05		Moodle da disciplina. Discussão sobre textos e vídeos indicados na aula anterior.

		Entrega do trabalho computacional Atividade de recuperação
--	--	--

A observar:

- a) As atividades pedagógicas não presenciais síncronas não deverão ser realizadas fora do horário estabelecido na grade horária (Art. 3.1, Res. 140/2020/CUn);
- b) Horário diferente do apresentado na grade horária somente mediante a anuência de todos os alunos matriculados (Art. 3.2, Res. 140/2020/CUn);