

## PLANO DE ENSINO

<b>Identificação da disciplina</b>	
Código e nome da disciplina: UFSM00265 SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO DIGITAL II	
Curso: Engenharia de Telecomunicações	
Turma: 10_316	
Docente responsável: Fernando Cesar Comparsi De Castro	
Ano/período: 2025/I	
Objetivos da disciplina (de acordo com o projeto pedagógico do curso):	
Compreender, modelar e analisar os efeitos do canal de comunicação sobre o sinal que nele se propaga. Compreender, modelar, simular e analisar técnicas de equalização de canal, sincronismo de tempo e de frequência, sistemas multiportadora, técnicas de espalhamento espectral e sistemas MIMO.	
Carga horária: 60 horas – aula	
Conteúdo programático (de acordo com o projeto pedagógico do curso): Demodulação por filtro casado - raised cosine. Modelos de Canal. Equalização de Canal. Sincronismo de tempo e de frequência. Sistemas multiportadoras (OFDM). Técnicas de Espalhamento espectral (FH, CDMA). Diversidade na transmissão e recepção de sinais. Códigos de bloco espaço-temporais. Sistemas Multiple Input Multiple Output (MIMO). Modelamento, simulação e análise de sistemas de comunicação digital.	
<b>Bibliografia básica (de acordo com o projeto pedagógico do curso):</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proakis, John G., Digital communications / 5th ed. Boston: McGraw-Hill, 2014. xxviii, 1150 p.</li> <li>• HAYKIN, S. MOHER, M. Sistemas de Comunicação. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.</li> <li>• BJÖRNSON, E; HOYDIS J. and SANGUINETTI, L. Massive MIMO Networks: Spectral, Energy, and Hardware Efficiency, 2017</li> </ul>	
<b>Bibliografia complementar (de acordo com o projeto pedagógico do curso): .</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proakis, John G., Communication Systems Engineering / 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002. xiv, 801 p.</li> <li>• Lathi, B. P., Sistemas de Comunicação / Rio de Janeiro, RJ: Guanabara, 1979. 401 p.:</li> <li>• HAYKIN, S. Sistemas de Comunicação: Analógicos e Digitais. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.</li> <li>• R.E. Principles of Communications: Systems, Modulation and Noise. 5. ed. Hoboken: John Wiley &amp; Sons, c2002. 637 p.</li> <li>• STALLINGS, William. Data and Computer Communications. Prentice Hall, 6th ed, 2000</li> </ul>	
<b>Bibliografia auxiliar:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material didático disponibilizado em <a href="http://www.fccdecastro.com.br/download.html">http://www.fccdecastro.com.br/download.html</a> .</li> </ul>	
<b>Descrição do plano</b>	
<b>Metodologia:</b>	
Aulas expositivas com conteúdo ministrado através de texto didático em formato pdf disponibilizadas em <a href="http://www.fccdecastro.com.br/download.html">http://www.fccdecastro.com.br/download.html</a> . São apresentados conceitos teóricos e aplicações. Ao final de cada módulo relevante do conteúdo um conjunto de exemplos e exercícios é resolvido. Um conjunto adicional de exercícios e problemas é sugerido ao aluno como <i>homework</i> para serem resolvidos no âmbito do paradigma <i>computer-assisted problem solving</i> . Para a matéria de cada uma das duas provas P1 e P2 haverá um conjunto de exercícios e problemas a ser resolvido a título de <i>homework</i> . A solução dos referidos problemas e exercícios pelo aluno corresponderá à 10% do grau final.	
<b>Cronograma estimado de atividades:</b>	
	Atividade
12/03	Apresentação da disciplina UFSM00265 SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO DIGITAL II.
17/03	<b>Capítulo I.</b> Introdução – revisão do último capítulo de Sistemas de Comunicação Digital I. Diagrama de blocos geral de um sistema de comunicação digital. Canal de transmissão AWGN. Canal de transmissão dispersivo (= canal de transmissão com multipercurso). A ação do bloco “Equalizador” na minimização do multipercurso. Como o multipercurso é originado no canal de transmissão. O efeito do multipercurso estático/dinâmico na resposta em frequência do canal de transmissão – zeros na função de transferência do canal. Símbolos IQ e constelação da modulação digital. O efeito do multipercurso gerando distorção na sequência de amostras IQ no domínio tempo. O efeito do filtro adaptativo do equalizador, que minimiza o multipercurso estático/dinâmico ajustando a sua função de transferência de modo a que a mesma implemente a função de transferência inversa do canal, e conseqüentemente, minimizando a distorção na sequência de amostras IQ no domínio tempo.

	Capacidade de canal – Teorema de Shannon-Hartley. O que acontece se o processo adaptativo do equalizador falha em ajustar a sua função de transferência de modo que a mesma não consiga implementar a função de transferência inversa do canal.
19/03	Exemplo e detalhe de um Modulador Digital (TX). Symbol Rate [symbol/s] e taxa de transmissão [bits/s] de um modulador digital. Contenção espectral – <i>shaping filter</i> . O filtro Gaussiano. O RX digital. O processo de correlação entre a resposta ao impulso do <i>matched filter</i> do RX e o sinal dos pulsos do <i>shaping filter</i> recebidos do TX.
24/03	O efeito do intervalo de integração no processo de correlação efetuado no <i>matched filter</i> . O filtro <i>root-raised-cosine</i> como <i>shaping filter</i> & <i>matched filter</i> . Exemplo 1 do Cap I.
26/03	Sincronismo de símbolo.
31/03	Sincronismo de portadora. Exemplo 2 do Cap I.
02/04	Simuladores 16-QAM.
07/04	<b>Capítulo II.</b> Efeitos do cenário de multipercurso. Doppler e multipercurso dinâmico. Exemplo 1 do Cap II.
09/04	Modelos de canal. Exemplos 2 e 3 do Cap II.
14/04	Desconvolução de canal - Equalizador ZF (zero forcing). Exemplo 4 Cap II.
16/04	Equalizador adaptativo. Equalizador LMS.
21/04	<b>FERIADO</b>
23/04	Equalizador Fracionário (= equalizador superamostrado).
28/04	Equalizador CMA (constant modulus algorithm). Equalizador DFE (decision feedback equalizer). Exemplo 5 Cap II. Modelos de canais de microondas e cabo coaxial.
30/04	<i>Homeworks</i> p/ a prova P1.
05/05	<i>Homeworks</i> p/ a prova P1.
07/05	Prova P1.
12/05	<b>Capítulo III.</b> <i>Duplexing</i> – comunicação bidirecional. FDD – <i>Frequency Division Duplexing</i> . TDD – <i>Time Division Duplexing</i> . Múltiplo Acesso (MA – <i>Multiple Access</i> ). FDMA – <i>Frequency Division Multiple Access</i> . TDMA – <i>Time Division Multiple Access</i> . SDMA – <i>Spatial Division Multiple Access</i> .
14/05	Sistemas <i>Spread Spectrum</i> (SS). <i>Spread Spectrum Multiple Access</i> (SSMA). <i>Frequency Hopping Multiple Access</i> (FHMA). <i>Code Division Multiple Access</i> (CDMA).
19/05	Geradores de sequências PN ( <i>pseudo noise</i> ). Gerador <i>m-sequence</i> . Gerador <i>Gold-sequence</i> . Relação entre o pico da auto correlação e o pico da correlação cruzada da sequência PN.
21/05	<i>Orthogonal Variable Spreading Factor Code</i> (= Hadamard-Walsh Code). Arquitetura típica de um TX DS- <i>Spread Spectrum</i> . Arquitetura típica de um RX DS- <i>Spread Spectrum</i> . Interferência de múltiplo acesso (MAI – <i>multiple access interference</i> ). Diagrama de fluxo de sinal simplificado p/ o sistema IS-95. Sistema UMTS/WCDMA. Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) – prós/contras. Resumo comparativo das técnicas de múltiplo acesso.
26/05	Exemplos 1 e 2 do Cap III.
28/05	<i>Homeworks</i> DSSS p/ a prova P2.
02/06	<i>Homeworks</i> DSSS p/ a prova P2.
04/06	<b>Capítulo IV.</b> Sistemas multiportadoras OFDM – Introdução. Sistemas multiportadoras não-ortogonais. Exemplo 1 do Cap IV.
09/06	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i> (OFDM). Exemplo 2 do Cap IV.
11/06	Compensação de canal ( <i>channel compensation</i> ). Prefixo cíclico ( <i>cyclic prefix</i> ). PAPR (peak to average power ratio).
16/06	<i>Time/frequency Interleaver</i> . Máscara Espectral. RX OFDM – diagrama de blocos. <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i> – prós/contras. Exemplo 3 do Cap IV. Sistema SC-FDMA (4G-3GPP-LTE). Sistemas <i>Multicarrier Spread Spectrum</i> .
18/06	<b>Capítulo V.</b> Sistemas MIMO ( <i>Multiple Input Multiple Output</i> ). Codificador Alamouti. Decodificador Alamouti 2 x 1. Decodificador MRC 1 x 2 ( <i>maximum ratio combiner</i> ). Decodificador Alamouti 2 x 2. Diagrama de blocos de um sistema TX-RX OFDM-MIMO Alamouti 2 x 2. Comparação de desempenho. Exemplo.
23/06	<i>Homeworks</i> OFDM e MIMO p/ a prova P2.
25/06	<i>Homeworks</i> OFDM e MIMO p/ a prova P2.
30/06	Prova P2.
02/07	Dúvidas matéria EXAME
07/07	EXAME

Atividades práticas:

Simulação análise e projeto de aplicações em situações práticas no âmbito de sistemas de comunicação digital utilizando o software MathCad e/ou o software Matlab. Estas atividades referem-se aos *homeworks* a serem resolvidos no âmbito do paradigma *computer-assisted problem solving* – vide seção “Metodologia”.

### **Critérios de avaliação:**

$$\text{GrauFinal} = \frac{4.5P1 + 4.5P2 + H}{10}$$

onde

o valor do GrauFinal será atribuído ao valor do grau da “Primeira Avaliação” e simultaneamente ao valor do grau da “Segunda Avaliação” no sistema de registro de notas da UFSM.

**Graus P1 e P2:** Graus respectivamente referentes à solução das provas P1 e P2, provas que serão resolvidas de forma **individual** no domicílio do aluno.

**Diretrizes p/ as provas P1 e P2:** O enunciado da prova será enviado ao e-mail do aluno registrado no sistema da UFSM, a partir do e-mail [fccdecastro@outlook.com](mailto:fccdecastro@outlook.com). A data da entrega da solução da prova estará especificada no enunciado da mesma e a solução deverá ser enviada para o e-mail [fccdecastro@outlook.com](mailto:fccdecastro@outlook.com) a partir do e-mail do aluno registrado no sistema da UFSM.

A solução das questões deve ser feita de forma **manuscrita**, exceto os gráficos. **Cada gráfico (se houver), deve ser plotado (não serão aceitos gráficos desenhados à mão).**

**A avaliação da solução da prova será baseada no que for explicitado de forma manuscrita na solução da prova e no que for expresso e contextualizado nos gráficos (se houver gráfico).**

A solução da prova deve ser enviada em arquivo formato **pdf**. Atentar para a iluminação, contraste e resolução da cópia da solução manuscrita, para efeito de ser garantida a legibilidade da mesma.

**Os gráficos deverão ser incluídos ordenadamente no arquivo pdf da cópia da solução manuscrita.** Excepcionalmente, caso não seja sabido como efetuar a inclusão dos gráficos, entregar os mesmos separadamente (.jpg, .png ou .tif) referenciando coerentemente os respectivos arquivos na cópia da solução manuscrita. Não serão aceitas referências à gráficos que não estejam no formato .jpg, .png ou .tif.

Em sendo recebido o e-mail do aluno referente à solução da prova, um *reply* de confirmação do recebimento será enviado ao e-mail do aluno a partir do e-mail [fccdecastro@outlook.com](mailto:fccdecastro@outlook.com).

**Ordenar sequencialmente os procedimentos/resultados parciais de forma coerente**, mantendo a relação causa–consequência no encadeamento sequencial das ideias expressas na escrita da solução da prova. Cada resultado/valor numérico deve ser acompanhado da respectiva unidade dimensional (se houver), e deve ser precedido da equação analítica/algébrica que deu origem ao resultado. Cada equação analítica/algébrica deve ser precedida da identificação dos valores numéricos que foram utilizados na equação.

**Não serão pontuadas as soluções parciais e/ou globais que apresentarem somente o resultado sem o devido desenvolvimento analítico/algébrico.** Cada gráfico (se houver) deve ser apresentado com uma legenda descrevendo o seu significado e a sua interpretação no contexto da solução do item da questão.

Deve ser entregue juntamente com a solução de cada questão o **arquivo original** do *script*, *workspace*, código fonte, etc. do software utilizado para solucionar a questão. **Não será pontuada a solução de questão em que for entregue somente o script, workspace, código fonte, etc., sem incluir o devido desenvolvimento referido nas diretrizes acima.**

Atentar para a individualidade da solução da prova: Itens da solução da prova que forem absolutamente idênticos em duas provas não serão pontuados em ambas.

A correção/avaliação das provas será enviada em formato pdf ao e-mail do aluno registrado no sistema da UFSM.

**Grau H - Homeworks:** Grau referente à média aritmética obtida na solução do conjunto de todos os exercícios e problemas propostos em aula como *homeworks*, exercícios e problemas que são pertinentes e respectivos à matéria ministrada para as provas P1 e P2.

O enunciado de cada *homework* será enviado por e-mail aos alunos em momentos oportunos ao longo do semestre letivo. A solução do *homework* deverá ser entregue na data indicada no enunciado do mesmo e deve seguir as mesmas diretrizes para a solução e entrega das provas P1 e P2 explicitadas em “Diretrizes p/ as provas P1 e P2” acima.

**Homework, prova e/ou exercício entregue fora do prazo:** Será aplicado o fator  $0.8^d$  à nota final do mesmo, sendo  $d$  o número de dias de atraso na entrega, incluindo dias úteis e não-úteis transcorridos até a entrega.

Informações complementares:

O docente responsável está à disposição dos alunos através do e-mail [fccdecastro@outlook.com](mailto:fccdecastro@outlook.com).

Página para download de material didático: <http://www.fccdecastro.com.br/download.html>