

PLANO DE ENSINO

Identificação da disciplina	
Código e nome da disciplina: UFSM00269 COMUNICAÇÕES ESTRATÉGICAS	
Curso: Engenharia de Telecomunicações	
Turma: 10_316	
Docente responsável: Fernando Cesar Comparsi De Castro	
Ano/período: 2026/II	
Objetivos da disciplina (de acordo com o projeto pedagógico do curso):	
Sistemas de comunicações estratégicas são de fundamental interesse no âmbito de políticas de defesa, dado que tais sistemas transportam e processam informações que são cruciais para a defesa de um país no contexto geopolítico. Um aspecto fundamental de comunicações estratégicas no âmbito da guerra eletrônica é o fato de alvos estratégicos de um determinado país, mesmo em “tempos de paz”, poderem ser tão vulneráveis quanto alvos de comando, controle e comunicações presentes em um cenário de guerra convencional. As tecnologias envolvidas se caracterizam por rápida e continuada evolução. Dentre o amplo espectro de tecnologias compreendidas em comunicações estratégicas, a presente disciplina dedica-se ao estudo e à compreensão dos conceitos e princípios fundamentais de guerra eletrônica, <i>array processing</i> e sistemas de radar.	
Carga horária: 60 horas – aula	
Conteúdo programático (de acordo com o projeto pedagógico do curso): Conceitos básicos de guerra eletrônica, detecção de sinais-ameaça (<i>threat signals</i>), sinais LPI (<i>Low Probability of Intercept</i>), localização de emissores, <i>jamming</i> , fundamentos de <i>array processing</i> , <i>phased arrays</i> , <i>beamforming</i> , DOA (<i>Direction Of Arrival</i>), MUSIC (<i>Multiple Signal Classification</i>), ESPRIT (<i>Estimation of Signal Parameter via Rotational Invariance Technique</i>), radar AESA (<i>Active Electronically Steered Array</i>), radar de abertura sintética (SAR – <i>Synthetic Aperture Radar</i>), radar OTH (<i>Over the Horizon</i>), radar LPI (<i>Low Probability of Intercept</i>).	
Bibliografia básica (de acordo com o projeto pedagógico do curso):	
- Manolakis, Dimitris G. Statistical and adaptive signal processing : spectral estimation, signal modeling, adaptive filtering, and array processing. Artech House, 2005. - Balanis, Constantine A. Antenna theory : analysis and design 4th , Wiley, 2016. - Cumming, Ian G. Digital processing of synthetic aperture radar data : algorithms and implementation 2nd , Artech House, 2005.	
Bibliografia complementar (de acordo com o projeto pedagógico do curso):	
- Skolnik, Merril Ivan, Introduction to radar systems 3rd , McGrawHill, 2001. - Ulab, Fawwaz , Microwave remote sensing : active and passive, Artech House, 1986.	
Bibliografia auxiliar:	
Material didático disponibilizado em http://www.fccdecastro.com.br/download.html .	
Descrição do plano	
Metodologia:	
Aulas expositivas com conteúdo ministrado através de texto didático em formato pdf disponibilizadas em http://www.fccdecastro.com.br/download.html . 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.	
Cronograma estimado de atividades:	
	Atividade
05/08	Apresentação da disciplina UFSM00269 COMUNICAÇÕES ESTRATÉGICAS.
10/08	(Capítulo I) . Conceitos básicos de EW (EW – Electronic Warfare – guerra eletrônica). Suporte Eletrônico (ES), Ataque Eletrônico (EA) e Proteção Eletrônica (EP). Metas e ações em um teatro de operações de guerra eletrônica (EW) . Efeitos a serem implementados em um teatro de operações de EW. Diagrama de blocos de um sistema básico de comunicações para EW. (IW- information warfare). O espectro eletromagnético em um cenário de operações de EW. Detecção de ameaças - sinais de radar. <i>Target range, maximum unambiguous range, minimum range</i> e <i>range resolution</i> . Exemplo 1.
12/08	Modulação LFM (<i>Linear Frequency Modulation</i>). Exemplo 2. Exemplo 3. Sinal de radares FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave). O espectro de sinais de radares pulsados e o espectro de sinais <i>chirp</i> . O

	espectro de radares FMCW. <i>Target range</i> de radares FMCW. Compensação do desvio Doppler. Exemplo 4. Exemplo 5.
17/08	Deteção de sinais de comunicações. Modulações digitais. Cenário de EW net-centric com nós da rede localizados em satélites LEO/MEO/geoestacionários. Enlaces com UAVs. Enlaces táticos. Triangulação de emissores de radiação eletromagnética (EM). Exemplo 6. Sinais LPI (<i>low probability of intercept</i>) – <i>Frequency Hopping</i> . <i>Slow Hopping</i> e <i>Fast Hopping</i> .
19/08	Sinais <i>chirp</i> . <i>Wide linear sweep</i> e <i>Chirp on Each Bit</i> . Deteção do sinal <i>chirp</i> através de filtro casado. Exemplo 7. Exemplo 8.
24/08	Exemplo 9.
26/08	Sinais <i>Direct Sequence Spread Spectrum</i> (DS-SS). <i>Spreader</i> e <i>despreader</i> . Ganho de processamento. <i>Rake receiver</i> . Códigos PN (<i>pseudo noise</i>). Geradores da sequência de <i>chips</i> . Arquitetura de um TX-RX DS-SS. Deteção da sequência de <i>chips</i> . Exemplo 10.
31/08	Localização de emissores de radiação EM. Interferômetro. Exemplo 11. TDOA. Exemplo 12.
02/09	<i>Jamming</i> . A importância do padrão de irradiação e da polarização do sistema antenas. <i>Jamming-to-Signal Ratio</i> – <i>J/S</i> . <i>Stand-in Jamming</i> . <i>Jamming</i> de enlaces analógicos e digitais. <i>Jamming</i> de sinais Spread Spectrum (SS). Exemplo 13. <i>Jamming</i> em banda parcial. <i>Jamming</i> de sinais <i>Frequency Hopping</i> (FH). Exemplo 14. <i>Jamming</i> de sinais <i>chirp</i> . <i>Jamming</i> de sinais <i>Direct Sequence Spread Spectrum</i> (DS-SS).
07/09	FERIADO
09/09	(Capítulos II.1 a II.5). Fundamentos de <i>array processing</i> . O dipolo como elemento de um <i>array</i> . Exemplo 1.
14/09	Exemplo 2. Determinando as correntes dos dipolos de um array. Diretividade e Ganho. Exemplo 3. Exemplo 4.
16/09	Área de Recepção. Enlace. Exemplo 5.
21/09	<i>Phased Arrays</i> . <i>Phased Arrays</i> com elementos do tipo dipolo. Exemplo 6.
23/09	Exemplo 7.
28/09	Exemplo 8.
30/09	ULA – Uniform Linear Array. ULA de $K = 2$ dipolos com correntes defasadas de 90° . ULA de $K = 4$ dipolos com correntes determinadas por beamforming. ULA binomial de $K = 7$ dipolos com correntes determinadas pelos coeficientes da Série Binomial. ULA broadside de $K = 20$ dipolos com distribuição de corrente uniforme. ULA endfire de $K = 40$ dipolos com distribuição de magnitude das correntes uniforme e fases em quadratura. Electronic Steered Array (= Electronic Scanned Array).
05/10	Beamforming. Exemplo 9. Exemplo 10.
07/10	Homeworks p/ a prova P1.
12/10	FERIADO
14/10	Prova P1.
19/10	(Capítulos II.6 a II.7). MUSIC - Multiple Signal Classification. Onda EM incidente em um array de dipolos. Onda EM plana incidindo em um dipolo. Onda EM plana incidindo em um array de dipolos. A eigen-decomposição da matriz de covariância da sequência de vetores $VT[n]$. A determinação do DOA (Direction Of Arrival) através do MUSIC. Exemplo 1.
21/10	Exemplo 2. ESPRIT - Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques. Exemplo 3.
26/10	(Capítulo III). Introdução a sistemas de RADAR. Range máximo em função da sensibilidade do RX. Exemplo 1. Compressão de pulso com códigos de Barker. Exemplo 2. Radar AESA (Active Electronically Steered Array).
28/10	FERIADO
02/11	FERIADO
04/11	Radar OTH (over the horizon). Área de cobertura. Características do sistema. Resolução e precisão. Características típicas. Geração do Waveform e HPA. RX – front end analógico (exemplo radar OTH Jindalee – Austrália). Fluxo de sinal básico efetuado no processamento digital do RX.
09/11	JAI
11/11	JAI
16/11	Radar de abertura sintética (SAR - Synthetic Aperture Radar). Iluminação do swath. Formação da imagem – SAR sem focalização. Limitações do SAR sem focalização. SAR com focalização. SAR – Processamento Doppler.
18/11	Radar LPI (Low Probability of Intercept). <i>Jamming</i> de sinais de radar.
23/11	Homeworks p/ a prova P2.
25/11	Homeworks p/ a prova P2.
30/11	Prova P2
02/12	Dúvidas sobre a matéria do EXAME.

07/12	Dúvidas sobre a matéria do EXAME.
09/12	EXAME
14/12	Avaliação da(s) solução(ões) do EXAME.
17/12	ENCERRAMENTO DIARIOS DE CLASSE

Atividades práticas:

Simulação e análise de aplicações e situações operacionais de comunicações estratégicas 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:

$$\text{GrauFinal} = (4.5 \cdot P1 + 4.5 \cdot P2 + H) / 10$$

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. 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 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.

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.

As notas de aula disponibilizadas em <https://www.fccdecastro.com.br/> são conformes ao conteúdo programático da disciplina, constituindo referência didática na avaliação do aprendizado do aluno. Neste contexto, para efeito de viabilizar a avaliação do efetivo aprendizado por parte do aluno a partir da referência didática, **não serão pontuadas soluções de questões de prova e/ou de exercícios que não sejam coerentes com a matéria ministrada em aula e/ou não sejam coerentes com as notas de aula**. Ainda neste contexto, terá sua pontuação penalizada aquela prova e/ou exercício entregue pelo aluno que desnecessariamente inclua (I) a solução de questão não pertinente ao que é solicitado no enunciado ou (II) a descrição de tema não pertinente ao que é solicitado no enunciado.

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.

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