



## Plano de ensino de graduação

## Identificação da disciplina e dos dados da oferta

**Curso:** 315 - Curso de Engenharia Aeroespacial**Disciplina:** DEM1122 - DINÂMICA E CONTROLE DE VEÍCULOS ESPACIAIS**Turma:** 10\_315**Ano/período:** 2022/1. Semestre**Carga horária:** 45h**Docente(s):** ANDRÉ LUIS DA SILVA (Responsável Principal)

## Objetivo

Conhecer os principais sensores e atuadores de atitude de veículos espaciais. Compreender a dinâmica de atitude de um veículo espacial. Conhecer as principais parametrizações de atitude. Conhecer os principais efeitos ambientais magnéticos, vento solar e arrasto atmosférico. Conhecer técnicas ativas e em malha fechada clássicas de veículos espaciais, envolvendo diferentes objetivos de controle e técnicas de realimentação. Conhecer o potencial e objetivos de controle e técnicas de realimentação. Conhecer o potencial e limitações de cada atuador de atitude nos sistemas de controle em malha fechada.

## Programa da disciplina

## PROGRAMA

## UNIDADE 1 - HARDWARE DE CONTROLE DE ATITUDE E ÓRBITA

- 1.1 - Exemplo de missão.
- 1.2 - Hardware de medida de atitude
  - 1.2.1 - Sensor de estrelas.
  - 1.2.2 - Sensor solar.
  - 1.2.3 - Sensores terrestres.
  - 1.2.4 - Magnetômetros.
  - 1.2.5 - Giroscópios.
  - 1.2.6 - Sistema de navegação por satélite.
- 1.3 - Noção de algoritmo de determinação de atitude.
- 1.4 - Hardware de atuação para controle de atitude e órbita.
  - 1.4.1 - Extensão para gradiente de gravidade.
  - 1.4.2 - Rodas de reação, rodas de momento, giroscópio de controle de momento.
  - 1.4.3 - Sistemas de propulsão.
  - 1.4.4 - Torqueador magnético
  - 1.4.5 - Torque de Pressão solar.
- 1.5 - Computador de controle e determinação de atitude.

## UNIDADE 2 - CINEMÁTICA E DINÂMICA DE ATITUDE

- 2.1 - Sistema de referencia e coordenadas: centrado na Terra, horizonte local, orbital, fixo ao corpo.
- 2.2 - Derivada de um vetor com respeito a um referencial girante.
- 2.3 - Parametrização de atitude: matriz de cossenos diretores (MCD), ângulos de Euler, eixo principal de rotação de Euler, quatérnios, parâmetros de Rodrigues, parâmetros de Rodrigues modificados.
- 2.4 - Equações de cinemática de rotação.
- 2.5 - Quantidade de movimento angular (momento angular) e a matriz de inércia.
- 2.6 - Energia cinética de rotação de um corpo rígido.
- 2.7 - Matriz de momento de inércia. Eixos principais de inércia.
- 2.8 - Equações do movimento de Euler.
  - 2.8.1 - Solução de equação homogênea.
  - 2.8.2 - Estabilidade de rotação para corpos axis simétricos em torno de eixos principais.
  - 2.8.3 - Solução de equação homogênea para momentos de inércia desiguais.
- 2.9 - Caracterização de movimento de rotação de um corpo girante.
  - 2.9.1 - Nutação de um corpo com spin.
  - 2.9.2 - Desestabilização de nutacional devido à dissipação de energia.
- 2.10 - Equações do movimento de satélite sem spin.
  - 2.10.1 - Satélite com dispositivos de troca de momento angular.
  - 2.10.2 - Equações linearizadas para o momento de gradiente gravitacional.

## UNIDADE 3 - ESTABILIZAÇÃO POR GABINETE GRAVITACIONAL

- 3.1 - Controle de gradiente de gravidade (GG) puramente passivo.
- 3.2 - Estabilização por GG com amortecimento passivo.
- 3.3 - Estabilização por GG por amortecimento ativo.
- 3.4 - Estabilização por GG amortecimento magnético ativo em três eixos.

## UNIDADE 4 - ESTABILIZAÇÃO DE ATITUDE COM SPIN SIMPLES E DUPLO

- 4.1 - Estabilização por spin durante o estágio de incremento de velocidade.
- 4.2 - Controle ativo de nutação.



Plano de ensino de graduação

- 4.3 - Remoção de spin e denutação.
- 4.4 - Estabilização por spin simples: amortecimento de nutação ativo e passivo.
- 4.5 - Estabilização por spin duplo: amortecimento passivo, roda de momento.

UNIDADE 5 - MANOBRAS DE ATITUDE

- 5.1- Equações para leis de controle básicas com realimentação de: ângulos de Euler, matriz de cossenos diretores e vetor de erro de quatérnions. Manobra em torno de eixo de Euler.
- 5.2 - Controle com dispositivo de troca de momento angular.
  - 5.2.1 - Modelos de roda de reação e roda de momento.
  - 5.2.2 - Acumulação de momento e seu amortecimento.
- 5.2.3 - Controle de atitude completo com rodas de reação.
- 5.2.4 - Utilização de giroscópio de controle de momento angular.
- 5.2.5 - Minimização do momento angular interno. Efeito do ruído e distúrbios.
- 5.3 - Controle magnético de atitude: modelo de torque magnético, limitações e implementação.
- 5.4 - Descarga por controle magnético de atuadores de troca de momento angular.
- 5.5 - Controle de atitude de tempo ótimo.
- 5.6 - Distúrbio de torque atmosférico.
- 5.7 - Distúrbio de torque de vento solar.

UNIDADE 6 - ESTABILIZAÇÃO DE ATITUDE SATÉLITES COM BIAS DE MOMENTO ANGULAR

- 6.1 - Estabilização com torque magnético.
- 6.2 - Controle de torque solar.
- 6.3 - Controle de rodas de momento.
- 6.4 - Controle com propulsores.

UNIDADE 7 - CONTROLE DE ATITUDE POR PROPULSORES

- 7.1 - Configurações de propulsores para controle.
- 7.2 - Transformação de comando de torque em tempo de ativação de propulsor.
- 7.3 - Inserção de propulsores em malhas de controle.
  - 7.3.1 - Modulação por largura de pulso e frequência (PWPF).
  - 7.3.2 - Modulação por largura de pulso (PWM).

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

Sidi, M. J. Spacecraft Dynamics and Control: a practical engineering approach. Revised edition, Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

Wie, B. Spall Vehicle Dynamics and Control. 2. ed., AIAA Education Series, Reston, VA: AIAA, 2008.

Tewari, A. Atmospheric and Space Flight Dynamics: Modellings and simulation with MATLAB and Simulink. Boston: Birkhauser, 2007.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

Rauschenbakh, B. V.; Ovchinnikov, M. Y.; McKenna- Lawlor, S. Essential Spaceflight Dynamics and Magnetospherics. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2004.

Ley, W.; Wittman, K.; Hallmann, W. Handbook of Space Technology. West Sussex: Wiley, 2009.

Tewari, A. Advanced Control of Aircraft, Spacecraft and Rockets. West Sussex: Wiley, 2011.

Wiesel, W. E. Spaceflight Dynamics. 3 ed., Beavercreek, Ohio: Aphelion Press, 2010.

Macdonald, M.; Badescu, V. The International Handbook of Space Technology. Berlin Heidelberg: Springer, 2014.

Abid, M. M. Spacecraft Sensors. West Sussex, England: Wiley, 2005.

Wertz, J. R. Spacecraft Attitude Determination and Control. Dordrecht, Holland: D. Reidel, 1980.

Metodologia

As aulas teóricas serão ministradas de modo expositivo, dedutivo e argumentativo, dando espaço para dúvidas dos alunos.

Para a apresentação da teoria, será usada a lousa e o projetor multimídia. Na lousa, serão reforçados conceitos fundamentais e desenvolvidas algumas equações e figuras básicas. Usando o projetor, será apresentado o material escrito da disciplina, desenvolvido pelo professor com base na bibliografia. Para deduções matemáticas extensas será utilizado um software de matemática simbólica, tal

## Plano de ensino de graduação

como o Mathematica.

Para reforçar os conteúdos vistos em aula, serão propostos trabalhos extra classe, que vão abranger conceitos, deduções e programação.

Para disponibilização do material da disciplina, será utilizado o Moodle. Ele também será usado para: enunciado e entrega dos trabalhos, realização de provas, comunicação entre o professor e os alunos.

**Cronograma**

Data	Nº Aulas	Tipo de atividade	Descrição
18/04/2022	3	Aula Teórica	Apresentação do plano de ensino. HARDWARE DE CONTROLE DE ATITUDE E ÓRBITA. Exemplo de missão. Hardware de medida de atitude: sensor de estrelas, sensor solar, sensores terrestres e magnetômetros, giroscópios, sistema de navegação por satélite. Noção de algoritmo de determinação de atitude.
25/04/2022	3	Aula Teórica	Hardware de atuação para controle de atitude e órbita: extensão para gradiente de gravidade, rodas de reação, rodas de momento, giroscópio de controle de momento, propulsores, torqueador magnético, torque de pressão solar. Computador de controle e determinação de atitude.
02/05/2022	3	Teórico-Prática	CINEMÁTICA E DINÂMICA DE ATITUDE. Sistemas de referência e coordenadas: centrado na Terra, horizonte local, orbital, fixo ao corpo. Parametrização de atitude: matriz de cossenos diretores (MCD), ângulos de Euler, eixo principal de rotação de Euler, quatérnios, parâmetros de Rodrigues, parâmetros de Rodrigues modificados. Equações de cinemática de rotação das diversas parametrizações. Programação e simulação das equações de cinemática de rotação.
09/05/2022	3	Teórico-Prática	Equações de Euler do movimento de rotação e soluções específicas. Movimento livre de torque de um corpo rígido axis simétrico; movimento geral livre de torque; estabilidade do movimento livre de torque em torno dos eixos principais. Programação e simulação das equações de dinâmica de rotação. Animação 3D do movimento de rotação.
23/05/2022	3	Teórico-Prática	Equações de Euler do movimento de rotação e soluções específicas. Corpo axis simétrico com spin e torque constante. Conceitos de precessão e nutação. Estabilidade giroscópica. Programação e simulação das equações de dinâmica de rotação. Animação 3D do movimento de rotação.
30/05/2022	3	Teórico-Prática	Pontos de equilíbrio e sua estabilidade: corpo axis simétrico com spin e torque constante. Diagrama de fase. Programa para análise de estabilidade.
06/06/2022	3	Teórico-Prática	Torque de gradiente gravitacional: corpo rígido em órbita circular. Movimento de pequenas perturbações com respeito ao referencial local vertical, local horizontal (LVLH); Linearização das equações do movimento; Análise de estabilidade do modelo linear. Relações entre os momentos de inércia principais que garantem estabilidade com pequenas perturbações. Desenvolvimento de programa para simulação e análise de estabilidade.
13/06/2022	3	Atividades Complementares.	Sem aula, tempo para fazer o trabalho e estudar para a prova.
20/06/2022	3	Prova	Prova 1



## Plano de ensino de graduação

Data	Nº Aulas	Tipo de atividade	Descrição
27/06/2022	3	Teórico-Prática	Modelagem de dinâmica de atitude de satélite com rodas de momento ou de reação. Modelagem de dinâmica de atitude de satélite com spin duplo e amortecimento passivo. Programa de simulação.
04/07/2022	3	Teórico-Prática	MANOBRAS DE ATITUDE. Controle de veículo espacial com spin. Manobras de reorientação com tempo ótimo. Programa de simulação.
11/07/2022	3	Teórico-Prática	Manobras de reorientação com realimentação de quatérnion. Programa de simulação.
18/07/2022	3	Teórico-Prática	ESTABILIZAÇÃO DE ATITUDE SATÉLITES COM BIAS DE MOMENTO ANGULAR. Controle de atitude e gestão da quantidade de movimento angular. Programa de simulação.
25/07/2022	3	Teórico-Prática	Modelagem da dinâmica de rotação de satélites com giroscópios de controle de momento. Lógica de acionamento de giroscópios de controle de momento. Programa de simulação.
01/08/2022	3	Teórico-Prática	CONTROLE DE ATITUDE POR PROPULSORES. Lógica de seleção ótima de jatos. Controle de atitude por modulação de pulso. Programa de simulação.
08/08/2022	3	Atividades Complementares.	Sem aula, tempo para fazer o trabalho e estudar para a prova.
15/08/2022	3	Prova	Prova 2
22/08/2022	3	Exame	Exame. Prova cobrindo todo o conteúdo.

**Atividades práticas**

A parte prática consistirá de elaboração de programas com o MATLAB/Simulink. Alguns programas envolverão visualização 3D do movimento de rotação.

**Critérios de avaliação**

A nota final (NF) é a média aritmética de duas notas parciais N1 e N2:  $NF = (N1+N2)/2$

Nota 1: composta por uma prova (50%) e um trabalho (50%), os quais cobrem as aulas 1 a 7.

Nota 2: composta por uma prova (50%) e um trabalho (50%), os quais cobrem as aulas 8 a 14.

Provas: objetivas, feitas no Moodle presencialmente, sob supervisão do professor.. As questões são de caráter conceitual.

Trabalhos: programas feitos em aula. Deve-se entregar os programas selecionados pelo professor e um relatório segundo regras que serão divulgadas posteriormente.

Prazo para entrega do trabalho 1: 19/06

Prazo para entrega do trabalho 2: 14/08

Exame: prova objetiva, feita no Moodle presencialmente, sob supervisão do professor. As questões são de caráter conceitual. Cobre todo o conteúdo da disciplina.

Data do exame: 22/08

**Informações complementares**

Nada a declarar.

Número: 020115/2022

Prioridade: Normal

**Plano de ensino de graduação**

122.3 - Disciplinas: Programas Didáticos

**COMPONENTE**

Ordem	Descrição	Nome do arquivo
0	plano_ensino_DEM1122_315_10_315_2022_101.pdf	plano_ensino_DEM1122_315_10_315_2022_101.pdf

**Assinaturas**

04/04/2022 17:42:25

ANDRÉ LUIS DA SILVA (PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR)

07.35.00.00.0.0 - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA - DEM

Código Verificador: 1293482

Código CRC: 2087844e

Consulte em: <https://portal.ufsm.br/documentos/publico/autenticacao/assinaturas.html>

