

MECÂNICA ESTRUTURAL –10391/10411

2022/2023

Descrição da Unidade Curricular

1. OBJETIVOS

Conhecer técnicas para a solução numérica de equações diferenciais em estruturas. Conhecer e saber aplicar o método dos elementos finitos. Conhecer os fundamentos teóricos, a descrição e a prática de programas de elementos finitos, com aplicações a estruturas. Saber analisar criticamente os resultados. Compreender o comportamento dinâmico de estruturas de veículos aeroespaciais quando sujeitas a fenómenos aeroelásticos, contemplando o projeto de alguns componentes críticos. Ser capaz de interpretar as teorias de análise relevantes e saber aplicá-las para casos específicos.

Espera-se que com o conhecimento adquirido os alunos sejam capazes de:

- interpretar literatura publicada sobre o assunto incluindo códigos;
- derivar as equações fundamentais para problemas de investigação;
- ter noção das limitações do conhecimento;
- obter soluções analíticas e desenvolver implementações numéricas.

2. PROGRAMA

1. Integração numérica de equações diferenciais: Formulação forte e fraca. Equivalência entre formulações. Introdução ao método dos elementos finitos.
2. Conceitos fundamentais: Problema unidimensional. Aproximação de Galerkin. Matriz de rigidez. Vetor de cargas. Exemplos. Espaço de funções multi-lineares. Propriedades da matriz de rigidez. Elementos finitos lineares. Assemblagem da matriz de rigidez e vetor de cargas globais. Condições de fronteira. Solução do sistema de equações. Elementos finitos Lagrangeanos. Transformação de coordenadas.
3. Formulação de Problemas 2D e 3D: Aproximação de Galerkin. Propriedades da matriz de rigidez. Matriz de rigidez e vetor de forças dos elementos. Problema de elasticidade linear.
4. Elementos Finitos Isoparamétricos: Elemento quadrangular bilinear. Integração numérica. Método de Gauss.
5. Problemas numéricos: Estimativas de erro. Integração reduzida e seletiva.
6. Aplicações: Desenvolvimento de códigos. Programas comerciais. Aplicação em estruturas aeronáuticas.

7. Análise modal de componentes estruturais de aeronaves: frequências naturais e modos de vibração.
8. Interação fluido-estrutura: Aeroelasticidade estática e dinâmica.

3. PROGRAMA / OBJETIVOS

Os conteúdos programáticos desta UC surgem como complemento a outras matérias da área das estruturas aeroespaciais com aprofundamento e estudo das soluções numéricas para dinâmica de sistemas mecânicos, método dos elementos finitos, análise modal e análise aeroelástica. Para além do estudo de fundamentos teóricos e dos métodos numéricos de resolução aplicados a vários casos, esta unidade curricular permite aos alunos adquirir competências na interpretação da teoria e, com base nela, aplicar metodologias de análise e de investigação a estruturas complexas.

Com esta UC os alunos adquirem competências em: derivar e descrever o método de elementos finitos e aplicá-lo a diferentes elementos; analisar estruturas aplicando o método dos elementos finitos, usando os elementos mais adequados e conhecendo as suas limitações; e compreender os efeitos aeroelásticos nas estruturas aeroespaciais e ser capaz de estimar o envelope de voo de uma superfície sustentadora e executar o seu dimensionamento.

4. METODOLOGIAS DE ENSINO

Esta unidade curricular está estruturada em duas partes: uma parte essencialmente teórica e a outra essencialmente prática. Na primeira parte, as matérias são transmitidas oralmente com apoio de diapositivos multimédia, de informação complementar escrita no quadro e de exercícios resolvidos no quadro. Na segunda parte, são estudados casos recorrendo a artigos científicos e a programas escritos pelos alunos e outros comerciais de análise por elementos finitos.

5. METODOLOGIAS DE ENSINO / OBJECTIVOS

Esta unidade curricular está estruturada em duas partes: uma parte essencialmente teórica e a outra essencialmente prática.

Na primeira parte, as matérias são transmitidas oralmente com apoio de diapositivos multimédia e de informação complementar escrita no quadro. Os diapositivos são disponibilizados aos alunos em formato pdf para seu estudo individual, pois estão construídos na forma de apontamentos. A discussão dos assuntos expostos é fomentada durante as horas de contacto para melhor interiorização dos mesmos. Nesta parte também são resolvidos exercícios de aplicação das teorias apresentadas que permitem ao aluno desenvolver capacidades de interpretação e resolução de problemas de elementos finitos e de aeroelasticidade tendo em conta as condições específicas do problema e a aplicabilidade e limitações dos elementos finitos e métodos de resolução disponíveis.

Na segunda parte, são estudados casos recorrendo a programas comerciais de análise por elementos finitos. Com os conhecimentos adquiridos na parte teórica e com a leitura de artigos, os alunos resolvem problemas de estruturas aeroespaciais usando os métodos

estudados. Parte deste trabalho tem que ser realizado fora do período da aula devido à extensão do mesmo.

Apesar de haver um acompanhamento dos alunos por parte do docente da unidade curricular durante as horas de contacto, tanto nas matérias teóricas como nas práticas, é necessário um trabalho individual superior por parte do estudante fora da aula, ao nível do estudo dos conteúdos da unidade curricular, ao nível do estudo de outras matérias relacionadas contidas nas referências bibliográficas e ao nível da realização de trabalhos. Este estudo individual fomenta a autonomia e a capacidade crítica do estudante.

Para apoio à leção desta unidade curricular são utilizados recursos de ensino/aprendizagem diferenciados, mas essenciais, nomeadamente:

- Projetor de vídeo
- Livros, artigos e outra bibliografia
- Apontamentos
- Computador
- Compilador de Fortran e outros
- Software de elementos finitos para análise estrutural

6. AULAS

Cada aula de quatro horas é dividida em duas partes: a primeira para discutir assuntos relacionados com a matéria teórica e resolver problemas; a segunda para desenvolver o(s) projeto(s) proposto(s). Na tabela abaixo é apresentado o calendário da matéria que deverá ser estudada em cada semana letiva.

Semana	Data	Capítulo	Páginas
1	23/09/2022	1	1-37
2	30/09/2022	1	37-82
3	07/10/2022	2	1-42
4	14/10/2022	2	43-88
5	21/10/2022	2	89-104
6	28/10/2022	2	105-157
7	04/11/2022	3	1-46
8	11/11/2022	3	47-84
9	18/11/2022	4	1-46
10	25/11/2022	7/conclusão Trabalho 1	1-31
11	02/12/2022	8	1-43
12	09/12/2022	8	44-74
13	16/12/2022	teste escrito	-
14	06/01/2023	8	75-105
15	13/01/2023	conclusão Trabalho 2	-

7. AVALIAÇÃO

A avaliação é feita em dois momentos que avaliam aspectos diferentes das competências adquiridas pelos estudantes: um teste escrito (T1); e um conjunto de trabalhos práticos (T2).

A classificação de ensino/aprendizagem é calculada com $T = 0,5 \times T1 + 0,5 \times T2$. A avaliação de exame é baseada num exame escrito (E1) e nos trabalhos realizados durante o semestre (os trabalhos só são feitos uma vez). A classificação do exame é $E = 0,5 \times E1 + 0,5 \times T2$. A nota final é $F = \max(T, E)$. A aprovação acontece quando $F \geq 10$.

Cada momento de avaliação é resumido abaixo.

1.	Frequência ($T = 0,5 \times T1 + 0,5 \times T2$)			100
	T1	Teste escrito	17-12-2022 (14h30)	50
	T2	Trabalhos	26-11-2022 ; 21-01-2023 (24h00)	50
2.	Exame ($F = 0,5 \times E + 0,5 \times T2$)			100
	E	Exame escrito (Normal)	??-01-2023 (??h30)	50
	E	Exame escrito (Recurso)	??-02-2023 (??h30)	50
3.	Exame de Época Especial ($F = 0,5 \times E + 0,5 \times T2$)			100
	E	Exame escrito (Especial)	??-07-2023 (??h30)	50

8. BIBLIOGRAFIA

01. Pedro Gamboa, Apontamentos da Disciplina – Mecânica Estrutural, ~500 acetatos, UBI, 2020.
02. J.N. Reddy, *An Introduction to the Finite Element Method*, Third Edition, McGraw-Hill, 2006.
03. E. Becker, G. Carey and J. Oden, *Finite Elements: An Introduction, Vol. I*, Prentice Hall, Englewood-Cliffs, 1981.
04. Cook, Malkus, Plesha, and Witt, *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*, 4th Edition, Wiley, 2002.
05. C.A. Mota Soares, *Elementos Finitos em Mecânica dos Sólidos*, IST/DEM, 1982.
06. K.K. Gupta, J.L. Meek, *Finite Element Multidisciplinary Analysis*, Second Edition, AIAA Education Series, 2003.
07. M.N. Bismarck-Nasr, *Structural Dynamics in Aeronautical Engineering*, AIAA Education Series, 1999.
08. J.R Wright, J.E. Cooper, *Introduction to Aircraft Aeroelasticity and Loads*, 2nd Edition, Aerospace Series, Wiley, 2015.