
1. Caracterização da Unidade Curricular

1.1 Designação

[2698] Turbomáquinas / Turbo-machines

1.2 Sigla da área científica em que se insere

TFE

1.3 Duração

Unidade Curricular Semestral

1.4 Horas de trabalho

175h 30m

1.5 Horas de contacto

Total: 67h 30m das quais TP: 67h 30m

1.6 ECTS

6.5

1.7 Observações

Unidade Curricular Obrigatória

2. Docente responsável

[955] Paulo de Santamaria Sousa Tavares Gouveia

3. Docentes e respetivas cargas letivas na unidade curricular

[955] Paulo de Santamaria Sousa Tavares Gouveia | Horas Previstas: 67.5 horas

[1983] Nuno Ricardo da Piedade Antunes Serra | Horas Previstas: 67.5 horas

4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes)

A cadeira tem como objetivo o desenvolvimento de uma forma bem articulada e disciplinada do aluno pensar para uma boa integração de todas as competências, previamente adquiridas, principalmente em ciências da Engenharia, aplicada na concepção de modelos complexos para a caracterização termodinâmica de máquinas completas (combinação de calor e trabalho).

O curso pretende conduzir o aluno no estabelecimento de modelos físicos para analisar as diversas categorias de máquinas, estudadas durante o curso, acrescentando novos conhecimentos de fundo ao estudante, interligados pela Engenharia Mecânica (incluindo tecnologias, materiais, máquinas de design, etc) para a compreensão cabal do projeto de turbo-máquinas.

O curso pretende preparar o aluno com conhecimentos avançados num tema central da Engenharia Mecânica, de valor estratégico no futuro. Novas tecnologias e materiais levarão à aplicação generalizada deste tipo de motores, mesmo em pequenas e pobres economias.

**4. Intended learning outcomes
(knowledge, skills and
competences to be developed
by the students)**

This course aims student's development of a well articulated and disciplined way of thinking for a good integration of all competences previously gained, mainly in Engineering sciences, applied in conceiving complex models for the characterization of COMPLETE thermodynamics machines (combining Heat and Work).

The course pretends conduct the student in establishing a functional model for the analysis of the several machine categories, studied during the course, adding new knowledge to previous student background, linking all this matters of the Mechanical Engineering (including technologies, materials, machines design, etc.) for the comprehension and design of turbo-machines.

The course intends to prepare the student with advanced knowledge on a central Mechanical Engineering subject with strategic future. New technologies and materials will lead to the general application of this type of engines, even in small and poor economies with the growing energy consumption restraints.

5. Conteúdos programáticos

Fundamentos da Termodinâmica Aplicada

Gás e vapor Cycles.

Teoria da Tubeira

Mach, propriedades críticas. Projeto, o atrito. Expansão / ondas de choque

Turbinas axiais. Fundamentos

Ação turbina . Velocidades , Eficiência, atrito e Reação . Escalonamento.

Turbo-máquinas Equações

turbinas e compressores. Configurações.

Máquinas escalonadas

Eficiência do andar. Re- aquecimento. Turbinas / Compressores eficiência

Blades Cascade

Forças . Velocidades . Aerodinâmica . Turbinas / compressores de eficiência

2D -Axial turbinas de fluxo

Carga , fluxo e reação ; velocidades . Eficiências : total e estática

Compressores 2D - axial.

Velocidades e trabalho. De carga, fluxo e reação. Análise off design

Efeitos 3D Impact

fluxos cruzados . Equações 3D

compressores centrífugos

Reação. Entrada / saída de ângulos . Compressão e Mach .

turbinas radiais

Reação. Ângulo de entrada. Eficiência

Turbo-Máquinas Caracterização

Análise não-dimensional. Stall . Consumo. Geometria variável.



5. Syllabus

Foundations on Applied Thermodynamics:

Gas and vapour Cycles.

Nozzle Theory:

Mach, critical properties. Design, friction. Expansion/shock waves.

Axial Turbines Fundamentals:

Action turbine. Velocities, Efficiency, Friction and Reaction. Stages.

Turbo-machines Equations:

Turbines and compressors. Configurations.

Multi-stages Machines:

Stage efficiencies. Re-heating. Turbines/Compressors Efficiency.

Blades Cascade

Forces. Velocities. Aerodynamics. Turbines/compressors Efficiencies.

2D- Axial Flow Turbines:

Load, flow and reaction; velocities. Efficiencies: total and static.

2D- Axial Compressors.

Velocities and Work. Load, flow and reaction. Analysis off design.

3D- Effects Impact

Crossed flows. 3D equations.

Centrifugal Compressors

Reaction. Inlet/outlet angles. Compression and Mach.

Radial Turbines

Reaction. Inlet angle. Efficiency.

Turbo-Machines Characterization

Non-dimensional analysis. Stall. Consumption. Variable geometry. Nozzle equivalent area.



6. Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular

Embora a cadeira seja aberta ao maior aprofundamento de várias temáticas diversas, os conteúdos programáticos vão ao encontro dos objectivos definidos, a saber:

- i. Aprofundamento e aplicação prática dos conhecimentos de Mecânica dos Fluidos.
- ii. Desenvolvimento aplicado da Termodinâmica, com enfoque nos fenómenos físicos associados.
- iii. Tratamento mais sofisticado e aprofundado das turbo-máquinas em diferentes geometrias.
- iv. Tratamento de escoamentos internos complexos, o seu cálculo e aplicação às turbo-máquinas.
- v. Integração da vertente Dinâmica com a Térmica na análise das turbo-máquinas.
- vi. Integração de conhecimentos centrais da Eng^a Mec^a, promovendo-se a interligação de saberes.

O Trabalho previsto na avaliação visa precisamente a concretização dos objectivos da cadeira no âmbito do desenvolvimento aplicado numa aplicação prática dos conhecimentos adquiridos nesta e noutras Unidades Curriculares.

6. Evidence of the syllabus coherence with the curricular unit's intended learning outcomes

Although the course pretends to develop knowledge over a wide spectrum of different topics, the syllabus still meets the course objectives, namely in gaining:

- i. Deep understanding and application of knowledge to practical problems of Fluid Mechanics.
 - ii. Further comprehension of applied thermodynamics, focused in physical phenomena.
 - iii. Sophisticated and thorough characterization of turbo-machines in different geometries.
 - iv. Complex analysis of internal Flows, its calculation and application to turbo-machines.
 - v. Integration of Dynamical aspects with Thermal issues within the turbo-machinery analysis.
 - vi. Integration of Mechanical Eng. know-how, promoting the interconnection of its knowledge areas.
- The Laboratory experiences and Theoretical Work planned, as part of the evaluation, were designed specifically to achieve the objectives of the course, aiming to learn how to apply the knowledge gained in this and other courses and developing know-how on practical applications.

**7. Metodologias de ensino
(avaliação incluída)**

Metodologias de ensino : Desenvolver a capacidade crítica do estudante para a compreensão dos equipamentos termodinâmicos complexos, preparando o aluno para turbomáquinas e seus princípios de funcionamento. O estudante deve procurar, selecionar e processar dados relevantes para desenvolver novos conhecimentos e habilidades na preparação e melhoria do ensaio teórico e para os relatórios de trabalho de laboratório.

Método de avaliação : Avaliação distribuída com exame final

Avaliação distribuída : Dois trabalhos pedagogicamente fundamentais: um trabalho laboratorial (TLAB) com duas ou três experiências com relatório; e um trabalho de projeto (TP) com relatório. A classificação mínima de cada trabalho é de 8,0 valores e média final da avaliação distribuída de 9,5 valores.

Exame Final : realização de um exame escrito (E), classificado de 0 a 20 valores. Os alunos têm de obter uma classificação mínima de 9,5 valores no exame.

Classificação Final (CF) : $CF = 0,50 * E + 0,20 * TLAB + 0,30 * TP$

**7. Teaching methodologies
(including assessment)**

Teaching methodologies: To develop the student's critical ability to understand complex thermodynamic equipment, preparing the student for turbomachinery and its operating principles. The student must search for, select and process relevant data to develop new knowledge and skills in the preparation and improvement of the theoretical test and for laboratory work reports.

Assessment method: Distributed assessment with final exam

Distributed assessment: Two pedagogically fundamental assignments: a laboratory assignment (TLAB) with two or three experiments with report; and a project assignment (TP) with report. The minimum mark for each assignment is 8.0 points and the final average mark for the distributed assessment is 9.5 points.

Final exam: a written exam (E), graded from 0 to 20. Students must obtain a minimum mark of 9.5 in the exam.

Final Classification (CF): $CF = 0.50 * E + 0.20 * TLAB + 0.30 * TP$

8. Demonstração da coerência das metodologias de ensino com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular

As metodologias de ensino e avaliação utilizados são adequados, tendo em conta as restrições nos recursos da Escola e os objetivos visados :

- As aulas teóricas e práticas são dadas em sala de aula, utilizando-se esporadicamente as demonstrações laboratoriais possíveis.
- O conteúdo das aulas é essencialmente teórico, prevendo-se aulas mais práticas (problemas, cálculo, projeto) para consolidar os conhecimentos teóricos.
- Depois de introduzir os conceitos básicos, as aulas mais práticas promovem a estruturação do pensamento na aplicação do conhecimento teórico na resolução de problemas práticos.
- Os Trabalhos de Laboratório e o Trabalho Teórico foram projetados para que os Alunos trabalhem em equipa ou com múltiplas equipas de trabalho, no desenvolvimento de cálculos complexos no âmbito das Turbo-máquinas: análise do problema, levantamento dos dados conhecidos, pesquisa dos parâmetros necessários, estruturação da sequência de cálculo mais adequada, decisão dos melhores algoritmos de caracterização dos equipamentos, avaliação e análise dos resultados, desenvolvimento das conclusões finais, sugestões para melhorias futuras, etc.

O exame consiste numa avaliação individual dos conhecimentos fundamentais, cuja aquisição é considerada obrigatória para se ter sucesso na cadeira.

8. Evidence of the teaching methodologies coherence with the curricular unit's intended learning outcomes

The teaching and assessment methods used are appropriate, taking into account the constraints on the school's resources and the objectives pursued:

- Theoretical and practical lessons are given in the classroom, with occasional use of laboratory demonstrations.
- The content of the lessons is essentially theoretical, with more practical lessons (problems, calculations, projects) to consolidate theoretical knowledge.
- After introducing the basic concepts, the more practical classes promote the structuring of thinking in the application of theoretical knowledge to solving practical problems.
- The Laboratory Work and Theoretical Work are designed so that Students work in teams or with multiple work teams to develop complex calculations in the field of Turbo-machines: analysing the problem, gathering the known data, researching the necessary parameters, structuring the most appropriate calculation sequence, deciding on the best algorithms for characterising the equipment, evaluating and analysing the results, developing final conclusions, suggestions for future improvements, etc.

The exam consists of an individual assessment of fundamental knowledge, the acquisition of which is considered compulsory in order to succeed in the course.



**9. Bibliografia de
consulta/existência obrigatória**

MAIN

- Set of Texts and Notes selected by the Course Professor
- Gas Turbine Theory, Cohen, H., Rogers, F. & Saravanamutto, H.: Longman Group 2019
- Fluid Mechanics, Thermodynamics of Turbomachinery, S.L. Dixon: Butterworth-Heinemann, 2018.

OTHER

- Turbine Design. Fielding, L.: ASME Press, 2000.
- Turbomachinery- Design and Theory. R. S. Gorla and A. Khan: Marcel Dekker, 2003
- Turbomachinery: Basic Theory and Applications - Earl Logan Jr.: Marcel Dekker, 1993
- Turbomachines. A Guide to Design, Selection and Theory. Balje, O.E.: John Willey & Sons. 1981
- Gás Turbine Engineering Handbook. Boyce, M. P.: 1982
- Elements of Gas Turbine Propulsion. J.D. Mattingly - AIAA Education Series, 2005
- The History of North American Small Gas Turbine Aircraft Engines ? R.A. Leyes II & W. Fleming AIAA, 1999
- Turbomáquinas Térmicas - Tomás S. Lencero, António M. Blanco, Francisco J. Aquilar ? Editorial Síntesis, 2004

10. Data de aprovação em CTC 2024-07-17

11. Data de aprovação em CP 2024-06-26