

---

## 1. Caracterização da Unidade Curricular

### 1.1 Designação

[3894] Máquinas Elétricas II / Electric Machinery II

### 1.2 Sigla da área científica em que se insere

EE

### 1.3 Duração

Unidade Curricular Semestral

### 1.4 Horas de trabalho

162h 00m

### 1.5 Horas de contacto

Total: 67h 30m das quais T: 22h 30m | TP: 22h 30m | P: 22h 30m

### 1.6 ECTS

6

### 1.7 Observações

Unidade Curricular Obrigatória

---

## 2. Docente responsável

[1509] Ricardo Jorge Ferreira Luís

---

## 3. Docentes e respetivas cargas

### letivas na unidade curricular

[1509] Ricardo Jorge Ferreira Luís | Horas Previstas: 225 horas

[1559] Rita Marcos Fontes Murta Pereira | Horas Previstas: 67.5 horas

[2161] Alexandre Emanuel da Silva Bento | Horas Previstas: 22.5 horas

---

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

Máquinas Elétricas II visa o funcionamento em regime permanente de máquinas de corrente contínua (CC) e máquinas síncronas trifásicas, e complementarmente os seus regimes transitórios, tendo como objetivos principais que os alunos possam:

- Reconhecer os diversos tipos de máquinas elétricas (ME), síncronas e de corrente contínua;
- Caracterizar a interação de cada uma destas ME com o exterior, quando isoladas, mediante as suas curvas características;
- Compreender o racional dos processos de controlo das ME quando isoladas ou associadas;
- Compreender o princípio de funcionamento de ME não convencionais em CC e corrente alternada (CA), *e.g.*, CC sem escovas, de passo, relutância variável, síncrono de relutância, fluxo axial, movimento linear, motor universal, magnetos permanentes, entre outras;
- Incentivar a capacidade de pesquisa bibliográfica e exposição;
- Desenvolver a capacidade para a instalação, operação, supervisão e manutenção de ME rotativas isoladas, ou integradas em sistemas.



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

The Electric Machinery II covers the steady-state operation of rotating direct current (DC) machines and three-phase synchronous machines, and some transient operations, having as main aims to enable the students to:

- Recognize the most ordinary types of synchronous and DC machines;
- Characterize the interaction of these electric machines (EM) with the external environment, at stand-alone operation, through their characteristic curves.
- Understand the rationale for the control processes at stand-alone or in association with similar machines;
- Understand the working principle of non-conventional rotating EM in DC and alternating current (AC), e.g., brushless DC, stepper, variable reluctance, synchronous reluctance, axial-flux, linear motion, universal motor, permanent magnet, among others;
- Encourage the capacity for bibliographic research and oral presentation;
- Develop the capacity to install, operate, supervise, and maintain rotating EM, at stand-alone, or as part of larger systems.

## 5. Conteúdos programáticos

### Máquina Síncrona (MS) trifásica:

- Constituição, princípio funcionamento, esquemas equivalentes
- Determinação de parâmetros
- Potência, perdas e rendimento
- Características externas de alternador isolado
- MS sobre rede elétrica de potência finita/infinita; colocação em paralelo
- Gestão de carga alternador em paralelo: regulação de  $f$  e  $U$  vs. repartição de  $P$  e  $Q$
- Curvas  $V$ ; funcionamento como compensador síncrono

### Máquina CC:

- Constituição, princípio funcionamento, tipos excitação, esquemas equivalentes
- Potência, perdas e rendimento
- Característica externa de dínamo em função do circuito de excitação; comparação
- Regulação de tensão
- Gestão de carga no paralelo de dínamos
- Característica externa de motor CC em função do circuito de excitação; comparação
- Regulação de velocidade. Arranque, travagem e inversão de marcha

### Transitórios de ME:

- Equação mecânica
- Ensaio de desaceleração
- Estabilidade da MS
- Curto-circuito simétrico num alternador

### Princípios de funcionamento de máquinas elétricas não convencionais.

## 5. Syllabus

### Three-phase Synchronous Machine (SM):

- Construction, principle of operation, equivalent circuits
- Obtaining equivalent circuit parameters
- Power, losses and efficiency
- External characteristics of a stand-alone alternator
- SM on finite/infinite power grid; parallel connection procedure
- Alternator load management in parallel: regulation of  $f$  and  $U$  vs.  $P$  and  $Q$  load sharing
- V curves; operation as a synchronous condenser

### DC Machine:

- Construction, principle of operation, excitation types, equivalent circuits
- Power, losses and efficiency
- External characteristic of a generator as a function of the excitation type; comparison
- Voltage regulation
- Parallel Operation of DC generators
- External characteristics of the DC motor as a function of the excitation; comparison
- Speed regulation. Starting, braking and speed reversing

### Dynamics of Electric Machines:

- Mechanical equation
- Deceleration test
- SM stability
- Symmetrical short circuit in SM

### Operating principle of special electrical machines.

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

- São abordados constituição e princípio de funcionamento das máquinas síncrona e CC;
- São abordados esquemas equivalentes que permitem representar aproximadamente fenómenos físicos reais (transmissão de potência, perdas, rendimento);
- São abordadas as características externas de motores CC (velocidade, binário) e de alternador e dínamo quando isolados (tensão, corrente);
- É abordado o processo de regulação de velocidade no motor CC e regulação de tensão no alternador e no dínamo CC;
- É abordado o processo de gestão de carga no alternador em paralelo com a rede, e no paralelo de geradores (CA e CC);
- É abordada a colocação da máquina síncrona sobre a rede elétrica;
- São abordados os processos de arranque, travagem e inversão motores CC;
- É abordado o funcionamento do motor síncrono como compensador do fator de potência;
- É abordada a determinação parâmetros mecânicos a partir do ensaio de desaceleração;
- É abordada a estabilidade da máquina síncrona a partir variação/tomada de carga.

---

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

- The construction and operation principles of synchronous and DC machines are presented;
- Equivalent circuits are introduced, representing real physical phenomena (power transmission, losses, efficiency);
- External characteristics of DC motors (speed, torque) and alternator and dynamo at stand-alone (voltage, current) are discussed;
- Speed regulation in DC motors and voltage regulation in AC and DC generators are analysed;
- Load management in alternator connected to the power grid is discussed, and in the parallel of generators (AC and DC);
- Connecting the synchronous machine to an infinite power grid is analysed;
- Starting, braking, and reversing DC motors are analysed;
- The operation of a synchronous motor for power factor correction is analysed;
- Tests performed to obtain mechanical parameters are presented;
- The stability of a synchronous machine in case of sudden load is analysed.

---

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

As aulas dividem-se em ensino: teórico (discussão/análise de ME), teórico-prático (resolução de exercícios e problemas de engenharia) e prático (ensaios laboratoriais de presença obrigatória).

A aprovação de Máquinas Elétricas II obtém-se por avaliação distribuída com exame final, com os elementos e pesos na nota final:

- Média ponderada de 2 testes escritos de avaliação distribuída ou exame (são dispensados os estudantes com a média de testes positiva) com um peso 45%;
- Média ponderada de 5 trabalhos laboratoriais (desempenho, relatório e discussão) com um peso de 50%;
- Apresentação de uma máquina elétrica não convencional, tendo a mesma e o documento de suporte um peso de 5%.

As componentes laboratorial e escrita da avaliação são pedagogicamente fundamentais com classificação mínima de 9,50 valores. A classificação mínima de cada teste/relatório é de 8,00 valores. O trabalho de apresentação de máquinas elétricas especiais é facultativo, com classificação entre 0,00 e 20,00 valores.

---

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

Classes are divided into teaching: theoretical (discussion/analysis of EM), theoretical-practical (solving exercises and engineering problems) and practical (laboratory testing with mandatory presence).

Approval for Electric Machinery II course is obtained through a distributed assessment with a final exam, with the elements and weights in the final grade:

- Weighted average of 2 written distributed assessment tests or exam (students with a positive test average are dispensed) with a weight of 45%;
- Weighted average of 5 laboratory works (performance, report and discussion) with a weight of 50%;
- Presentation of a non-conventional electrical machine, with the presentation and support document, weighing 5%.

The laboratory and written components of the assessment are pedagogically fundamental with a minimum rating of 9.50. The minimum rating for each test/report is 8.00. The work on presenting special electrical machines is optional, with a rating between 0.00 and 20.00 points.

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

Os estudantes desta unidade curricular (UC) estão no último ano do curso e poderão no final exercer atividade profissional na área de engenharia, com alguma autonomia.

No início do semestre são indicados aos alunos os seguintes elementos orientados aos temas basilares da UC (máquina síncrona e máquina CC):

- um livro de suporte e bibliografia alargada para desenvolver a base de conhecimento;
- um conjunto de exercícios para compreensão das máquinas elétricas (ME) em estudo;
- um conjunto de problemas de engenharia para formar uma visão abrangente da aplicação de ME na indústria;
- documentação sobre ensaios laboratoriais.

Durante a UC, os alunos são incentivados a refletir sobre os temas analisados nas aulas teóricas, que ocupam até cerca de um terço das horas de contacto. Neste âmbito, exploram-se modelos matemáticos simples que aproximam os fenómenos físicos reais no funcionamento das ME.

Com base nessa aprendizagem, os estudantes colocam em prática o conhecimento adquirido, resolvendo exercícios e problemas relacionados com aplicações reais das ME. Dedicam pelo menos um terço das horas de contacto a estas atividades, que visam elucidar e aprofundar os conceitos teóricos desenvolvidos.

Nas aulas práticas, durante os trabalhos laboratoriais, os estudantes:

- prepararam previamente esquemas de ligações, selecionam processos e equipamentos de medida, para operar máquinas síncronas e de corrente contínua, como motor e como gerador;
- elaboram relatórios técnicos sobre as atividades laboratoriais;
- discutem oralmente os resultados e conclusões obtidos.

Durante 12 aulas de ensino prático no Lab. de ME, grupos de trabalho até 4 alunos desenvolvem 5 trabalhos laboratoriais, envolvendo ME rotativas em funcionamento. Estas atividades, que representam um terço das horas de contato, permitem aos estudantes adquirir uma experiência prática e detalhada na operação e caracterização de ME.

Os ensaios laboratoriais realizados em Máquinas Elétricas II instruem os alunos a:

- obter parâmetros elétricos e mecânicos para caracterização das ME;
- obter características  $U = f(I)$  de alternadores síncronos e geradores CC;
- obter características  $n = f(I)$  e  $T = f(I)$  de motores CC;
- regular a velocidade de motores CC usando sistemas Ward-Leonard;
- ligar uma máquina síncrona à rede elétrica e operá-la nos quatro quadrantes de funcionamento (alternador, motor, compensador síncrono);
- operar alternadores em paralelo em rede isolada, compreendendo a regulação de frequência e tensão, bem como gerir a repartição de carga elétrica em presença;
- verificar e identificar transitórios elétricos e mecânicos das ME.

Os estudantes podem ainda realizar um trabalho de apresentação sobre uma ME não convencional, na sequência de pesquisa autonomamente desenvolvida.

A classificação final valoriza a componente de trabalho autónomo, ao permitir atribuir até 55% a trabalho previamente preparado pelos alunos (componente laboratorial e trabalho de apresentação).

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

The students attending this course are in the final year of their electrical engineering degree and upon completion, may pursue their professional activities autonomously.

At the beginning of the semester, the following resources are indicated to students, orientated to the basic themes of this course (synchronous machine and DC machine):

- a support Textbook and extended bibliography to develop the knowledge base;
- a set of exercises for understanding the electrical machines (EM) under study;
- a set of engineering problems to get a comprehensive view of the application of EM in industry;
- documentation about laboratory essays.

During the Electric Machinery II course, students are encouraged to reflect on the topics analyzed in theoretical classes, which occupy up to around a third of contact hours. In this context, simple mathematical models are explored that approximate the real physical phenomena in the operation of EM.

Based on this learning, students put the knowledge acquired into practice, solving exercises and problems related to real ME applications. They dedicate at least a third of their contact hours to these activities, which aim to elucidate and deepen the theoretical concepts developed.

In practical classes, during laboratory work, students:

- prepare in advance electric schemes, select processes and measurement equipment, to operate synchronous and direct current machines, as motors and as generators;
- prepare technical reports about the laboratory activities;
- discuss orally the results and conclusions obtained.

During 12 practical teaching classes in the EM Lab, work groups of up to 4 students develop 5 laboratory works, involving rotating EM in operation. These activities, which represent a third of contact hours, allow students to acquire practical and detailed experience in the operation and characterization of EM.

The laboratory tests performed on Electric Machinery II course instruct students to:

- obtain electrical and mechanical parameters for EM characterization;
- obtain characteristics  $U = f(I)$  for the synchronous alternators and for DC generators;
- obtain characteristics  $n = f(I)$  and  $T = f(I)$  for DC motors;
- regulate the speed of DC motors using Ward-Leonard systems;
- connect a synchronous machine to the electrical network and operate it in the four operating quadrants (alternator, motor and synchronous compensator);
- operate parallel alternators on an isolated network, including frequency and voltage regulation, as well as managing the electrical load sharing;
- check and identify electrical and mechanical transients of EM.

Students can also do an oral presentation work about a non-conventional EM, after autonomous research work.

The final grade values significantly the autonomous work component, by allowing up to 55%, to be attributed to work that should be prepared in advance by the students (laboratory component and presentation work).





**ISEL**  
INSTITUTO SUPERIOR DE  
ENGENHARIA DE LISBOA

**Ficha de Unidade Curricular A3ES**  
**Máquinas Elétricas II**  
**Licenciatura em Engenharia Electrotécnica**  
**2024-25**

---

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

- S. K. Sahdev, *Electrical Machines*, Cambridge University Press, 2018
- T. Gönen, *Electrical Machines With MATLAB*, CRC Press, 2011
- S.J. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals*, McGraw Hill, 2005
- B.S. Guru, H.R. Hiziroglu, *Electric Machinery and Transformers*, Oxford Univ. Press, 2001
- P.C. Sen, *Principles of electric machines and power electronics*, John Wiley & Sons, 1989
- L.W. Matsch, J.D. Morgan, *Electromagnetic and Electromechanical Machines*, John Wiley & Sons, 1987
- J. Hindmarsh, *Electrical machines and their applications*, Pergamon Press, 1977

**ME especiais:**

- K. Venkataratnam, *Special Electric Machines*, CRC Press, 2009
- J.F. Gieras, R. Wang, M.J. Kamper, *Axial flux permanent magnet brushless machines*, Springer, 2005
- I. Boldea, S.A. Nasar, *Linear Electric Actuators and Generators*, Cambridge Univ. Press, 1997
- J.A. Tenreiro Machado, *Motores passo a passo: controlo e modos de funcionamento*, Publindústria, 1994
- T.J.E. Miller, *Brushless permanent-magnet and reluctance motor drives*, Oxford Univ. Press, 1993

---

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

---

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