

---

## 1. Caracterização da Unidade Curricular

### 1.1 Designação

[4247] Modelação Avançada e Simulação / Advanced Modelling and Simulation

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

IC

### 1.3 Duração

Unidade Curricular Semestral

### 1.4 Horas de trabalho

162h 00m

### 1.5 Horas de contacto

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

### 1.6 ECTS

6

### 1.7 Observações

Unidade Curricular Opcional

Unidade Curricular comum ao(s) curso(s) de MMAI

---

## 2. Docente responsável

[1531] Gonçalo Nuno Rosado Morais

---

## 3. Docentes e respetivas cargas letivas na unidade curricular

Não existem docentes definidos para esta unidade curricular

---

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

1. Construir modelos aplicados à resolução de problemas concretos; 2. Ser capaz de a partir de um modelo matemático, construir uma implementação computacional numa linguagem apropriada e a partir desta efectuar simulações eficientes; 3. Ser capaz de concluir as vulnerabilidades do modelo e corrigir as respectivas insuficiências, de criticar as soluções encontradas e perceber de que forma estas podem ser melhoradas; 4. Compreender a distinção entre inferência Bayesiana e inferência clássica e aplicar a primeira a problemas de previsão e classificação; 5. Ser capaz de construir modelos gráficos de forma a caracterizar a estrutura de dependências de um problema e, a partir destes, produzir simulações; 6. Ser capaz de compreender o funcionamento de uma rede neuronal e dos respectivos algoritmos de aprendizagem; 7. Distinguir os vários tipos de redes neuronais e os respectivos traços característicos.

---

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

1. Be able to construct models applied to solving concrete problems; 2. From a mathematical model, to be able to build a computational implementation in an appropriate language and from this to carry out efficient simulations; 3. Be able to understand the vulnerabilities of the model and correct their inadequacies, to criticize the solutions found and realize how they can be improved; 4. Understand the distinction between Bayesian inference and classical inference and apply the first to prediction and classification problems; 5. To be able to construct graphical models in order to characterize the structure of dependencies of a problem and, from these, to produce simulations; 6. Be able to understand the functioning of a neural network and its learning algorithms; 7. Distinguish the various types of neural networks and their characteristic features.

---

**5. Conteúdos programáticos**

1. Conceitos fundamentais de Estatística Bayesiana; 2. Modelos de Markov e Modelos de Markov Ocultos; 3. Campos de Markov; 4. Modelos generativos e Máquinas de Boltzmann restritas; 5. Algoritmos de aprendizagem em redes neuronais; 6. Redes recorrentes e aprendizagem profunda; 7. Redes neuronais de convolução e aplicação ao processamento de imagem.

---

**5. Syllabus**

1. Fundamental aspects of Bayesian statistics; 2. Markov Models and Hidden Markov Models; 3. Markov Random Fields; 4. Generative models and Restricted Boltzmann machines; 5. Learning algorithms in artificial neural networks; 6. Recurrent Neural Networks and Deep Learning; 7. Convolutional Neural Networks and image processing.

---

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

Os três primeiros objectivos são os aspectos fundamentais de uma disciplina de modelação. Para atingir estes objectivos, os pontos 1 e 2 dos conteúdos programáticos serão a base fundamental para sedimentar esta realimentação biunívoca entre o modelo e a realidade. Nesse mesmo sentido, o ponto 4 dos objectivos volta a estar ligado aos mesmos conteúdos programáticos, pois a natureza dos algoritmos que permitem efectuar a simulação de modelos de Markov são obviamente bayesianos. O ponto 5 dos objectivos é atingido através da codificação do problema através de um grafo não orientado. Como culminar deste processo, chegamos aos chamados Campos de Markov (ponto 3 dos conteúdos). Os pontos 6 e 7 dos objectivos são ligados aos pontos 4-7 dos conteúdos. Com os modelos generativos e máquinas de Boltzmann (restritas), temos um primeiro encontro com algoritmos em que a optimização é efectuada através da minimização da energia do sistema.

---

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

The first three objectives are the fundamental aspects of a modeling discipline. To achieve these objectives, points 1 and 2 of the syllabus will be the fundamental basis for establishing this two-way feedback between the model and reality. In the same sense, point 4 of the objectives is once again linked to the same programmatic contents, as the nature of the algorithms that allow the simulation of Markov models to be carried out are obviously Bayesian. Point 5 of the objectives is achieved by coding the problem through an undirected graph. As a culmination of this process, we arrive at the so-called Markov Fields (point 3 of the contents). Points 6 and 7 of the objectives are linked to points 4-7 of the contents. With generative models and (restricted) Boltzmann machines, we have a first encounter with algorithms in which optimization is carried out by minimizing the system's energy.

---

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

As aulas têm um cariz essencialmente prático, estando previstas cerca de 60 horas de contacto. O tempo total de trabalho do estudante é de 162 horas. Neste sentido, fora das aulas, pretende-se que os alunos aprofundem os temas tratados em aula, que pela sua abrangência, não serão nela esgotados. Os temas abordados estarão estancados nas experiências obtidas nos estágios profissionais em empresas parceiras do ISEL, ou noutros, mais direcionados para interesses particulares dos alunos desde que no âmbito dos assuntos tratados na disciplina.

A avaliação é distribuída sem exame final e compreende a realização de dois trabalhos de grupo pedagogicamente fundamentais, com discussão oral e relatórios escritos, com classificação mínima de 8.00 valores em cada um deles, resultando a nota final da sua média aritmética.

---

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

Classes are essentially practical in nature, with around 60 contact hours planned. The student's total working time is 162 hours. In this sense, outside of class, the aim is for students to delve deeper into the topics covered in class, which, due to their breadth, will not be exhausted. The topics covered will be based on the experiences gained during professional internships in ISEL partner companies, or on other topics more geared to the students' particular interests, provided they are within the scope of the subjects covered in the course.

The assessment is distributed without a final exam and comprises the completion of two pedagogically fundamental group assignments, with oral discussion and written reports, with a minimum mark of 8.00 in each, the final mark being the arithmetic average.

---

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

A análise de problemas, a respectiva modelação e simulação em contexto de aula permite ilustrar a aplicação prática dos conceitos e ferramentas estudadas, ao mesmo tempo que se aprofundam os conhecimentos teóricos. Naturalmente, o conjunto de exemplos apresentados, pela sua organização, conteúdo e diversidade do grau de dificuldade, permitem ao aluno acompanhar todos os tópicos da matéria e são, a par de uma recolha bibliográfica mais extensa, os principais instrumentos do estudo individual. Tendo em conta que o sucesso à matemática não é compatível com um estudo pontual exclusivamente pré-avaliação, torna-se recomendável a implementação de processos que contrariem esta tendência. Neste sentido, semanalmente serão apresentados um conjunto de exercícios teóricos/computacionais, para serem resolvidos individualmente ou em grupo, de maneira a que os alunos acompanhem a matéria leccionada. Para muitos dos problemas apresentados nesta disciplina não foi até hoje encontrada uma solução ótima. Neste sentido, uma atitude crítica e comparativa por parte dos alunos face às soluções encontradas, terá de ser reforçada, contribuindo positivamente para a independência desejada numa disciplina no último ano da licenciatura.

---

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

Problem analysis, modeling and simulation in a classroom context allows you to illustrate the practical application of the concepts and tools studied, while deepening theoretical knowledge. Naturally, the set of examples presented, due to their organization, content and diversity of degree of difficulty, allow the student to follow all the topics of the subject and are, together with a more extensive bibliographical collection, the main instruments for individual study. Taking into account that success in mathematics is not compatible with a specific study exclusively pre-assessment, it is recommended to implement processes that counter this tendency. In this sense, a set of theoretical/computational exercises will be presented weekly, to be solved individually or in groups, so that students can follow the material taught. For many of the problems presented in this discipline, an optimal solution has not yet been found. In this sense, a critical and comparative attitude on the part of students towards the solutions found will have to be reinforced, contributing positively to the desired independence in a subject in the final year of the degree.

---

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

1. Kevin P. Murphy, ?Machine Learning: A probabilistic Perspective?, MIT Press, 2012. 2. Pierre Brémaud, ?Discrete Probability Models and Methods?, Springer, 2017. 3. Højsgaard, S., et al., ?Graphical Models with R?, Springer, 2012. 4. MacKay, D., Information Theory, Inference and Learning Algorithms, Cambridge University Press, 2003. 5. Bengio, Y., et. Al, ?Deep Learning?, MIT Press, 2016

---

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

---

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