instituto superior de engenharia de lisboa

Ficha de Unidade Curricular A3ES
Fenómenos de Transferência II
Licenciatura em Engenharia Química e Biológica

2025-26

1. Designação da unidade curricular

[2409] Fenómenos de Transferência II / Transport Phenomena II

2. Sigla da área científica em que se insere	CEE
3. Duração	Unidade Curricular Semestral
4. Horas de trabalho	135h 00m
5. Horas de contacto	Total: 60h 00m das quais T: 28h 00m | TP: 26h 00m | P: 6h 00m
6. % Horas de contacto a distância	Sem horas de contacto à distância
7. ECTS	5
8. Docente responsável e respetiva carga letiva na Unidade Curricular	[2221] Maria Beatriz Pinto Pereira Palma Nobre | Horas Previstas: N/D
9. Outros docentes e respetivas cargas letivas na unidade curricular	[848] Feliz José Mil-Homens dos Santos | Horas Previstas: 45 horas [1066] Alexandra Isabel Martins Paulo da Costa | Horas Previstas: 255 horas

10. Objetivos de aprendizagem e a sua compatibilidade com o método de ensino (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes).

Os alunos devem:
a) identificar e descrever matematicamente os mecanismos de transferência de massa (difusivo e convectivo);
b) quantificar a resistência total no transporte de um componente entre fases fluidas;
c) estabelecer balanços mássicos em regime estacionário para diversas geometrias;
d) conhecer a metodologia de cálculo dos coeficientes de transferência de massa;
e) identificar situações de transferência simultânea de calor e massa estabelecendo os respectivos balanços mássicos e energéticos;
f) dimensionar torres de arrefecimento, evaporadores e colunas de absorção/desabsorção gasosa. Neste contexto, o aluno deverá desenvolver capacidade de análise dos conteúdos lecionados e relacionar esses conhecimentos para formular e resolver problemas de engenharia. Deverá igualmente evidenciar a capacidade de raciocínio estruturado e integrado aplicando os seus conhecimentos de forma rigorosa que indique uma abordagem profissional ao seu trabalho.

10. Intended Learning objectives and their compatibility with the teaching method (knowledge, skills and competences by the students).

Students should:
a) identify and describe mathematically the mass transfer mechanisms (diffusive and convective);
b) quantify the total resistance in the transport of a component between fluid phases;
c) establish steady-state mass balances for various geometries;
d) understand the calculation methodology of mass transfer coefficients;
e) identify situations of simultaneous of heat and mass transfer, establishing their respective material and energy balances;
f) design water cooling towers, evaporators and gas absorption / desorption columns. In this context, the student should develop the ability to analyze the content taught and relate this knowledge to formulate and solve problems. It should also demonstrate structured and integrated reasoning skills by applying their knowledge in a rigorous way that indicates a professional approach to their work.

11. Conteúdos programáticos

1) Transferência de massa: Teoria da difusão (lei de Fick, analogias com transferência de momento e calor), velocidade de difusão, difusividades, misturas multicomponente, métodos de estimativa; Teoria da transferência de massa (filme, camada limite, interface, penetração); Coeficientes de transferência de massa (determinação experimental e correlações empíricas); Análise dimensional e analogias.
2) Humidificação: Definições; Cartas psicrométricas; Torres de humidificação; Balanços mássicos e entalpicos a sistemas psicrométricos. Torres de arrefecimento (princípio de funcionamento, dimensionamento).
3) Evaporação: Tipos de evaporadores (simples e multi-efeito); Ebulioscopia; Linhas de Dühring; Entalpia versus concentração; Capacidade; Economia; Dimensionamento.
4) Absorção gasosa: Resistências em série (dois filmes); Coeficientes globais; Dimensionamento de colunas com enchimento (métodos baseados na velocidade de transferência de massa; eficiência, capacidade e perda de carga).

11. Syllabus

1) Mass transfer: Diffusion theory (Fick's law, momentum and heat transfer analogies), diffusion velocity, molecular diffusivity, multicomponent mixtures, estimation methods; Mass transfer theory (film, boundary layer, interface, penetration); Mass transfer coefficients (experimental determination and empirical correlations); Dimensional analysis and analogies.
2) Humidification: Definitions; Psychrometric charts; Air humidification towers; Mass and enthalpy balances in
psychrometric systems. Water cooling towers (operation principles, dimensioning).
3) Evaporation: Types of industrial evaporators (single and multi-effect); Ebullioscopy; Dühring diagrams; Enthalpy versus concentration; Evaporator capacity; System economy; Units sizing.
4) Gas absorption: Resistances in series to mass transport (two films); Global transfer coefficients; Dimensioning
of packet columns (packet selection, efficiency, capacity and pressure drop).

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

Os conceitos de transferência de massa são ilustrados com recurso a situações do dia-a-dia de forma a entender mais facilmente os distintos mecanismos moleculares e os princípios físicos que os governam. Estes fundamentos transporte de massa contribuem para um aumento da capacidade dos estudantes usarem a abordagem matemática no desenvolvimento de modelos descritivos de sistemas reais. A generalidade das situações exploradas na unidade curricular são unidimensionais, no entanto é apresentada a título demonstrativo a situação completa de transferência de massa tridimensional. Usando balanços macroscópicos é também estudada a variação espacial e temporal da concentração de uma espécie química, com e sem reacção química. O efeito das condições fronteira na solução analítica das equações às derivadas parciais é igualmente sublinhada.

12. Evidence of the syllabus coherence with the curricular unit´s intended learning outcomes

The concepts associated to mass transfer phenomena are illustrated using everyday situations in order to easily understand the different molecular mechanisms and the physical principles that govern them. These mass transport fundamentals contribute to an increase in students' ability to use the mathematical approach in the development of descriptive models of practical systems. In general, the situations explored in the course are unidimensional, however, it is presented as a demonstrative example the complete formulation of a threedimensional mass transfer situation. Using macroscopic balances is also studied the space and time variation for the concentration of a chemical specie, with and without chemical reaction. The effect of boundary conditions on the analytical solution of equations to partial derivatives is also underlined.

13. Metodologias de ensino e de aprendizagem específicas da unidade curricular articuladas com o modelo pedagógico

Existem aulas teóricas (T), teórico-práticas (TP) e práticas laboratoriais (PL) de presença obrigatória. Nas aulas T são introduzidos os conceitos, nas aulas TP é explorada a sua aplicação e discussão e nas aulas PL é realizada experimentação laboratorial. A UC possui avaliação distribuída com exame final envolvendo a realização de quatro testes escritos (TE), com classificação média ponderada CFTE e classificação da componente laboratorial (CFPL). O último teste será realizado na data de exame de época normal. A avaliação por exame envolve a realização de uma prova escrita de exame (EF), com classificação CFEF. A nota final (CF) é obtida por:

CF = 0,80 x CF(TE ou EF) + 0,20 x CFPL.

Para aprovação na UC, CF, CFTE, CFEF e CFPL >= 9,50 valores, com nota mínima em cada teste de 8,00 valores.

Será possível realizar a repetição do último teste escrito de avaliação, na época de recurso caso o estudante não tenha obtido aprovação neste.

É obrigatória inscrição em todas as provas de avaliação.

13. Teaching and learning methodologies specific to the curricular unit articulated with the pedagogical model

There are theoretical (T), theoretical-practical (TP), and laboratory practices (LP) classes with mandatory presence. In T classes are introduced the concepts, in TP classes are explored their application and discussion, and in the LP classes, laboratory experimentation work is performed. CU evaluation is performed through distributed assessment with final exam, and involves, four written tests (WT) with FCWT classification, and the lab work component (FCLW). The last test will be performed on the normal exam date. Examination assessment involves taking a written examination test (EF), with FCFE classification. The final classification (FC) is obtained by:

FC = 0.80 x FC(WT or FE) + 0.20 x FCLW.

For approval in CU, (FC, FCWT, FCFE and FCLW) >= 9.50, with minimum grade in each test of 8.00.

It will be possible to repeat the last written test, at the time of the appeal season exam, if the student has not obtained approval in this one. Registration for all written tests is mandatory.

14. Avaliação

Existem aulas teóricas (T), teórico-práticas (TP) e práticas laboratoriais (PL) de presença obrigatória. Nas aulas T são introduzidos os conceitos, nas aulas TP é explorada a sua aplicação e discussão e nas aulas PL é realizada experimentação laboratorial. A UC possui avaliação distribuída com exame final envolvendo a realização de quatro testes escritos (TE), com classificação média ponderada CFTE e classificação da componente laboratorial (CFPL). O último teste será realizado na data de exame de época normal. A avaliação por exame envolve a realização de uma prova escrita de exame (EF), com classificação CFEF. A nota final (CF) é obtida por:

CF = 0,80 x CF(TE ou EF) + 0,20 x CFPL.

Para aprovação na UC, CF, CFTE, CFEF e CFPL >= 9,50 valores, com nota mínima em cada teste de 8,00 valores.

Será possível realizar a repetição do último teste escrito de avaliação, na época de recurso caso o estudante não tenha obtido aprovação neste.

É obrigatória inscrição em todas as provas de avaliação.

14. Assessment

There are theoretical (T), theoretical-practical (TP), and laboratory practices (LP) classes with mandatory presence. In T classes are introduced the concepts, in TP classes are explored their application and discussion, and in the LP classes, laboratory experimentation work is performed. CU evaluation is performed through distributed assessment with final exam, and involves, four written tests (WT) with FCWT classification, and the lab work component (FCLW). The last test will be performed on the normal exam date. Examination assessment involves taking a written examination test (EF), with FCFE classification. The final classification (FC) is obtained by:

FC = 0.80 x FC(WT or FE) + 0.20 x FCLW.

For approval in CU, (FC, FCWT, FCFE and FCLW) >= 9.50, with minimum grade in each test of 8.00.

It will be possible to repeat the last written test, at the time of the appeal season exam, if the student has not obtained approval in this one. Registration for all written tests is mandatory.

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

A separação entre sessões teóricas (T), teórico-práticas (TP) e práticas (P), permite tornar efectiva a transferência de conhecimentos aos objectivos de aprendizagem da UC.
Nas sessões T são essencialmente introduzidos os conceitos associados a leis e modelos que descrevem os fenómenos e regulam o funcionamento de operações unitárias. Sempre que seja adequado, os conceitos expostos serão ilustrados com exemplos numéricos selecionados e meios áudio-visuais. Nas aulas TP é explorada a aplicação e discussão dos conceitos expostos nas aulas teóricas, de forma a consolidar e aprofundar o seu entendimento e a sua aplicação a situações reais. A resolução tutorada de exercícios numéricos que retratem casos práticos é uma ferramenta utilizada nas aulas TP para demostrar a aplicação dos conteúdos lecionados e assim conferir aos alunos as valências pretendidas. As aulas P correspondem a sessões de experimentação laboratorial, pretendendo-se com elas consolidar e alargar pela via experimental os conceitos lecionados nas aulas T e TP. Os trabalhos laboratoriais propostos possibilitam igualmente o contacto com equipamentos e metodologias experimentais, aumentando as competências adquiridas a áreas transversais, nomeadamente no planeamento de experiências, no tratamento de resultados, na pesquisa bibliográfica, no trabalho em equipa e na produção de documentação escrita, entre outras. O recurso a casos de estudo que se constituam como exemplos práticos, assim como a ilustração dos conteúdos das aulas teóricas através de pequenos exercícios de aplicação, permite suscitar nos alunos o debate com troca de argumentos em torno dos conceitos lecionados. Desta forma pretende-se potenciar a participação activa durante as aulas de modo a consolidar os conhecimentos. O recurso a meios audiovisuais como os vídeos potencia uma aprendizagem mais eficaz de alguns conceitos mais complexos. Os estudantes são também incentivados a resolver exercícios e executar tarefas adicionais como trabalho de casa. Estas metodologias fomentam o estudo extra-aula e a aprendizagem independentes. Os protocolos de trabalhos laboratoriais, os ?slides? apresentados durante as aulas, uma colecção de exercícios numéricos e alguns textos de apoio selecionados, são disponibilizados digitalmente a todos os alunos inscritos na disciplina, na plataforma informática em uso.

15. Evidence of the teaching methodologies coherence with the curricular unit´s intended learning outcomes

The separation between theoretical (T), theoretical-practical (TP) and practical (P) sessions, enables an effective knowledge transfer to meet the learning objectives of the UC. In T sessions are essentially introduced the concepts associated with laws and models that describe the phenomena and regulate the unit operations behavior. Whenever appropriate, the concepts discussed in class will be illustrated with selected numerical examples and audio-visual aids. In the TP classes, the application and discussion of the concepts presented in T classes are exploited, in order to consolidate and deepen the understanding and applications to real situations. The tutored resolution of numerical exercises that portray practical cases is a tool used in the TP classes to demonstrate the application of the contents taught and thus gives the students the desired skills. Classes P correspond to sessions of laboratory experimentation, aiming with them to consolidate and expand through experimentation the concepts taught in classes T and TP. Additionally, the laboratorial work also allows the contact with experimental equipment and methodologies, increasing the acquired competences of transversal knowledge?s, namely in the planning of experiments, in the data processing, in the literature survey, in the team work and in the preparation of written reports, among others. The use of case studies that are practical examples, as well as the illustration of the contents of T classes through small exercises, allows the students to increase the debate with an exchange of arguments around the concepts taught. In this way, it is planned to promote an active participation during classes in order to consolidate knowledge. The use of audio-visual media such as videos enables an effective learning particularly when complex concepts are involved. Students are also invited to work out and perform additional tasks such as homework assignments. These methodologies encourage independent study and learning. Laboratory protocols, slides presented during classes, a collection of numerical exercises and some selected supporting texts are digitally available to all students enrolled in the course, in the computer platform in use.

16. Bibliografia de consulta/existência obrigatória

[1] Bergman, T.L.; Lavine, A.S.; Incropera, F.P.; de Witt, D.P. (2018) "Fundamentals of Heat and Mass Transfer". 8th ed, J. Wiley & Sons (ISBN: 978-1-119-35388-1).
[2] Henley E.J., Seader J.D., Roper D.K. (2011) "Separation Process Principles", 3ª ed., Wiley.
[3] McCabe W.L., Smith J.C., Harriot P. (2001) "Unit Operations of Chemical Engineering", 7ª Ed. McGraw- Hill.
[4] Bird R.B., Stewart W.E., Lightfoot E.N. (2007) ?Transport Phenomena?, Revised 2ª ed., Wiley.
[5] Cussler, E. L. (2009) "Diffusion: Mass Transfer in Fluid Systems". 3rd ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press
[6] Çengel, Y.; A. Ghajar (2020) "Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications". 6th edition, McGraw-Hill Inc. (ISBN 978-0-07-339819-8)
[7] Moran, M.J.; Shapiro, H.N.; Boettner, D.D.; Bailey, M.B. (2018) "Fundamentals of Engineering Thermodynamics", 9th Edition, J. Wiley & Sons (ISBN 9781119391425)

17. Observações

Unidade Curricular Obrigatória

Data de aprovação em CTC: 2025-07-30

Data de aprovação em CP: 2025-07-29