

## Ficha de Unidade Curricular LEQB – A3ES

### 1. Caracterização da Unidade Curricular.

1.1. **Designação da unidade curricular (1.000 carateres).**  
Fenómenos de Transferência II / Transport Phenomena II

1.2. **Sigla da área científica em que se insere (100 carateres).**  
CEE

1.3. **Duração<sup>1</sup> (100 carateres).**  
Semestral

1.4. **Horas de trabalho<sup>2</sup> (100 carateres).**  
135

1.5. **Horas de contacto<sup>3</sup> (100 carateres).**  
Total: 60  
T: 28 TP: 26 PL: 6

1.6. **ECTS (100 carateres).**  
5.0

1.7. **Observações<sup>4</sup> (1.000 carateres).**

1.7. **Remarks (1.000 characters).**

2. **Docente responsável e respetiva carga letiva na Unidade Curricular (preencher o nome completo) (1.000 carateres).**  
Teodoro José Pereira Trindade (111 h)

3. **Outros docentes e respetivas cargas letivas na unidade curricular (1.000 carateres).**  
Feliz José Mil-Homens dos Santos (36 h)

4. **Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes) (1.000 carateres).**

Os alunos devem:

1. Identificar e descrever matematicamente os mecanismos de transferência de massa (difusivo e convectivo).
2. Quantificar a resistência total no transporte de um componente entre fases fluidas.
3. Estabelecer balanços mássicos em regime estacionário para diversas geometrias.
4. Conhecer a metodologia de cálculo dos coeficientes de transferência de massa.
5. Identificar situações de transferência simultânea de calor e massa estabelecendo os respetivos balanços mássicos e energéticos.
6. 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.

4. **Intended learning outcomes (knowledge, skills, and competences to be developed by the students) (1.000 characters).**

Upon approval, the student should be able to:

1. Identify and describe mathematically the mass transfer mechanisms (diffusive and convective).
2. Quantify the total resistance in the transport of a component between fluid phases.
3. Establish steady-state mass balances for various geometries.
4. Understand the calculation methodology of mass transfer coefficients.

5. Identify situations of simultaneous of heat and mass transfer, establishing their respective material and energy balances.
6. 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.

**5. Conteúdos programáticos (1.000 carateres).**

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 entálpicos 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).

**5. Syllabus (1.000 characters).**

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).

**6. Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular (1.000 carateres).**

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 de 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 reação química. O efeito das condições fronteira na solução analítica das equações às derivadas parciais é igualmente sublinhada.

**6. Evidence of the syllabus coherence with the curricular unit's intended learning outcomes (1.000 characters).**

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 3-dimensional 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.

**7. Metodologias de ensino (avaliação incluída) (1000 carateres).**

Existem sessões teóricas (T), teórico-práticas (TP) e práticas (PL). Nas sessões T são introduzidos os conceitos, nas aulas TP é explorada a sua aplicação e discussão, e nas aulas PL é realizada experimentação laboratorial. A avaliação da UC é do tipo avaliação distribuída com exame final. A avaliação durante o período letivo envolve a realização de três mini-testes com duração até 30 min (classificação média MT), de componente laboratorial (TL) e de um exame parcial (EP) realizado na data de exame de época normal. A nota final (NF) é obtida por:

$$NF=0,40MT+0,20TL+0,40EP.$$

A avaliação por exame envolve a realização de uma prova escrita de exame (EF) com duração de 3 horas. A NF obtida por esta via é:

$$NF=0,20TL+0,80EF.$$

Para aprovação na UC, a CF mínima deverá ser 9,50 valores, existindo nota mínima de 8,00 valores nas componentes MT, TL e EP e, de 9,50 valores na componente EF.

É obrigatória a inscrição prévia dos alunos em todos os momentos de avaliação.

**7. Teaching methodologies (including assessment) (1.000 characters).**

There are theoretical (T), theoretical-practical (TP) and practical (PL) sessions. In the T sessions the concepts are essentially introduced, in the TP classes their application and discussion are explored, and in the PL classes laboratory experimentation is carried out. The assessment of the course is of the distributed assessment type with a final exam. Assessment during the teaching period involves three mini-tests lasting up to 30 minutes (average grade WT), a laboratory component (LW) and a partial exam (PE) taken on the first exam date. The final mark (FM) is calculated by:

$$FM=0.40WT+0.20LW+0.40PE.$$

Assessment by exam involves a written exam (FE) lasting 3 hours. The final mark (FM) obtained in this way is calculated by:

$$FM=0.20LW+0.80FE.$$

To be approved, the minimum grade must be 9.50 values, with a minimum grade of 8.00 values, in components WT, PL and PE, and 9.50 values, in component FE. Students must register in advance for all assessment events.

**8. Demonstração da coerência das metodologias de ensino com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular (3.000 carateres).**

A separação entre sessões teóricas (T), teórico-práticas (TP) e práticas (P), permite tornar efetiva a transferência de conhecimentos aos objetivos 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 audiovisuais. 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 demonstrar 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 ativa 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 coleção de exercícios numéricos e alguns textos de apoio selecionados, são disponibilizados digitalmente a todos os alunos inscritos na disciplina, na plataforma informática em uso.

**8. Evidence of the teaching methodologies coherence with the curricular unit's intended learning outcomes (3.000 characters).**

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 active participation during classes to consolidate knowledge. The use of audio-visual media such as videos enables 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.

**9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória (1.000 carateres).**

1. Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., & de Witt, D. P. (2018). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (8<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons.
2. Henley E. J., Seader J. D., & Roper, D. K. (2011). *Separation Process Principles* (3<sup>a</sup> ed.). Wiley.
3. McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriot, P. (2001). *Unit Operations of Chemical Engineering* (7<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.
4. Bird, R. B., Stewart, W. E., & Lightfoot, E. N. (2007). *Transport Phenomena* (2<sup>a</sup> ed.). Wiley.
5. Cussler, E. L. (2009). *Diffusion: Mass Transfer in Fluid Systems* (3<sup>rd</sup> ed.). Cambridge University Press.
6. Çengel, Y., & Ghajar, A. (2020). *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications* (6<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill Inc.
7. Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M.B. (2018). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics* (9<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons.

<sup>1</sup> Anual, semestral, trimestral, ...

<sup>2</sup> Número total de horas de trabalho.

<sup>3</sup> Discriminadas por tipo de metodologia adotado (T - Ensino teórico; TP - Ensino teórico-prático; PL - Ensino prático e laboratorial; TC - Trabalho de campo; S - Seminário; E - Estágio; OT - Orientação tutorial; O - Outro).

<sup>4</sup> Assinalar sempre que a unidade curricular seja optativa.