

---

## 1. Caracterização da Unidade Curricular

### 1.1 Designação

[2640] Laboratórios de Engenharia Química 2 / Chemical Engineering Laboratory 2

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

CEE

### 1.3 Duração

Unidade Curricular Semestral

### 1.4 Horas de trabalho

108h 00m

### 1.5 Horas de contacto

Total: 47h 00m das quais P: 45h 00m | O: 2h 00m

### 1.6 ECTS

4

### 1.7 Observações

Unidade Curricular Obrigatória

---

## 2. Docente responsável

[799] Teodoro José Pereira Trindade

---

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

---

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

Na disciplina de LEQ2 estão envolvidas aplicações laboratoriais na área de "Processos Químicos", em particular de "Simulação Numérica" envolvendo: síntese, análise, integração energética e optimização económica de processos industriais. Após a aprovação na unidade curricular, o aluno deverá possuir a capacidade de:

1. Utilizar uma ferramenta de simulação numérica para concepção (síntese) e avaliação do comportamento (análise) de processos químicos e operações unitárias interdependentes.
2. Definir a estratégia e implementar uma avaliação quantitativa às condições de funcionamento das operações unitárias do processo, assim como aos seus consumos energéticos.
3. Planear um sistema de integração energética através de redes de permutadores de calor. Avaliar as potenciais poupanças alcançadas.
4. Adquirir autonomia em opções tecnológicas de processo assim como saber fundamentar a estratégia de síntese de um processo, extensível ao nível das optimizações técnica e económica.

---

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

In the Chemical Engineering Laboratories 2 course are involved laboratory applications in the fields of "Chemical Processes", in particular "Numerical Simulation" involving: synthesis, analysis, energy integration and economic optimization of industrial processes. After approval, the student should have the ability to:

1. Use a numerical simulation tool for design (synthesis) and evaluation of the behavior (analysis) of chemical processes and interdependent unit operations.
2. Define the strategy and implement a quantitative evaluation of the operational conditions of the process unit operations, as well as of its energy consumption.
3. Design an energy integration system through heat exchanger networks. Evaluate the potential energy savings achieved.
4. Acquire autonomy in process technological options as well as to know how to justify the synthesis strategy of a process, extendable to the level of technical and economical optimizations.

---

**5. Conteúdos programáticos**

1. Introdução à simulação numérica de processos químicos: Ferramentas computacionais de simulação. Limitações da modelação matemática. Selecção de modelos numéricos. Técnicas de estimativa de propriedades. Interpretação de resultados.

2. Análise de processos: Metodologia de análise. Optimização de operações unitárias. Condições fronteira. Análise de fluxos de matéria e energia. Análises de sensibilidade. Simulações em estado estacionário. Simulações em estado transiente.

3. Síntese de processos: Conceção de processos químicos. Recursos bibliográficos e on-line. Estrutura dos diagramas de processos químicos. Princípios heurísticos no desenho de processos. Análise à estabilidade dos processos.

4. Integração energética e optimização de processos: Integração de calor. Optimização energética e económica de processos. Estimativa dos custos de capital e custos de produção. Análise económica e de rentabilidade do processo. Relatório de design do processo.

---

## 5. Syllabus

1. Introduction to numerical simulation of chemical processes: Computational simulation tools. Limitations of mathematical modeling. Selection of numerical models. Property estimation techniques. Interpretation of results.

2. Process analysis: Methodology of analysis. Unit operations optimization. Boundary conditions. Mass and energy flow analysis. Sensitivity analysis. Steady-state simulations. Transient simulations.

3. Process synthesis: Design of chemical processes. Bibliographic and on-line data resources. Structure of chemical process diagrams. Heuristic principles in process design. Process stability analysis.

4. Energetic integration and process optimization: Heat integration. Energetic and economic optimization of processes. Estimation of capital costs and production costs. Process economic and profitability analysis. Process design report.

---

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

Nesta unidade curricular os estudantes trabalham sobre um cenário de concepção de um processo industrial, percorrendo as várias fases do seu desenvolvimento. Para tal são utilizados simuladores numéricos de processo. Este tipo de ferramentas computacionais permitem o contacto com um elevado número de processos e operações unitárias. Durante o período lectivo, o acompanhamento do docente permitirá ao aluno debater as alternativas de síntese e análise do processo industrial, possibilitando-lhes consolidar o conhecimento. Valências de autonomia nas decisões técnicas são estimuladas de forma a estruturar os conhecimentos em engenharia. É também requerida uma avaliação quantitativa do processo industrial otimizado proposto pelo aluno a qual envolve: a descrição completa do processo, a análise à estrutura energética, a identificação das oportunidades de integração energética, avaliação detalhada dos custos de investimento e operação, e o cálculo do lucro bruto.

---

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

In this curricular unit the students develop a scenario of industrial process design, passing through the various phases of its development. To accomplish this, numerical process simulators are used. These computational tools allow the contact with a large number of processes and unit operations. During the learning period, the teacher's monitoring will allow the student to discuss the synthesis and analysis alternatives of the industrial process, enabling them to consolidate knowledge. Autonomy in technical decisions is encouraged in order to structure the engineering knowledge. A quantitative evaluation of the optimized industrial process proposed by the student is also required, which involves: a comprehensive description of the process, analysis of the energy structure, identification of opportunities for energy integration, detailed evaluation of investment and operating costs, and calculation of the gross profit.



---

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

**Metodologia:**

Será fornecido um protocolo de trabalho global contendo uma proposta de desenho de um processo industrial. A realização do trabalho laboratorial envolve a utilização de um simulador numérico de processos. O aluno desenvolve uma solução para o problema tecnológico aplicando técnicas de síntese, heurística, integração energética, otimização e análise de rentabilidade. O trabalho entregue corresponderá à proposta do aluno para o processo industrial otimizado, cumprindo as indicações do protocolo.

**Avaliação Distribuída sem Exame Final:**

A avaliação da UC envolve um trabalho global com realização de prova oral de validação. A classificação final (NF) corresponde às notas do desempenho laboratorial (D), do relatório/trabalho (R), e da discussão/apresentação oral (A) do mesmo perante um júri.

$$NF = 0,1 D + 0,4 R + 0,5 A$$

Para aprovação  $NF \geq 9,50$  valores, sem que nenhuma componente seja inferior a 8,00 valores.

**Avaliação por Exame:**

A disciplina não possui avaliação por exame.

---

7. Teaching methodologies  
(including assessment)

Methodology:

The student will be provided with a written protocol containing a proposal for the design of an industrial process. Laboratory work will involve the use of a numerical process simulator. During the semester, the student develops a solution to the proposed problem by applying techniques of synthesis, heuristics, energy integration, optimization and profitability analysis. The work submitted must correspond to the student's proposal for the optimized industrial process, complying with the indications in the protocol.

Distributed assessment without final exam:

The assessment is mainly made by a global work and an oral examination. The final grade (NF) of the course involves the marks for the laboratory performance (D), the report/work (R), and the discussion/presentation (A) of the work, before an evaluation panel.

$$NF = 0.1 D + 0.4 R + 0.5 A$$

For approval NF should be at least 9.50, with no component below 8.00.

Assessment by Exam:

The subject is not assessed by a written exam.

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

A natureza laboratorial da unidade curricular permite explorar um conjunto de tópicos inseridos no trabalho experimental que abranjem a globalidade dos conteúdos programáticos. A utilização de um simulador numérico como ferramenta de engenharia na concepção de um projecto de desenho de processo, os alunos contactam com problemas reais de engenharia química industrial. Ao efectuar autonomamente a síntese de um processo, o aluno aprende a usar a heurística como critério de decisão, a despistar erros e centrar a atenção prioritária em áreas relevantes do processo e respectivos parâmetros de controlo.

Espera-se o entendimento da significância das principais secções de um diagrama de processo industrial: tratamento da matéria prima, reactor químico, preparação do efluente reacional, unidade de separação, reciclo, controlo de qualidade do produto, controlo ambiental, etc. A metodologia de análise do processo pode também auxiliar na identificação das operações mais sensíveis do processo e ainda noutras onde se podem alcançar melhoramentos.

Num diagrama de processo de uma instalação os estudantes deverão distinguir e entender a diferença entre correntes do processo e correntes de utilidades, resolvendo problemas de tecnologia pinch aplicada à integração de calor, onde o número mínimo de permutadores de calor pode ser calculado. Através deste trabalho de projecto os estudantes terão igualmente contacto com as características construtivas de dimensionamento e aplicabilidade de diversos equipamentos industriais de processo tais como válvulas, tubagens, bombas e compressores, colunas de destilação e absorção, permutadores de calor, etc.

É necessária a aprendizagem de diferentes técnicas para a estimativa dos custos de capital, incluindo o efeito da capacidade, condições de temperatura e pressão, materiais de construção, etc. Na estrutura dos custos de produção do produto final, são incluídos o investimento de capital, o custo das utilidades, das matérias primas e outros custos directos e indirectos. Através de uma aplicação prática os alunos assimilam os conceitos básicos de análise económica necessários para avaliar a rentabilidade deste tipo de projectos, os quais em geral envolvem elevadas despesas de capital. Aplicando critérios de optimização técnica e económica para maximização do lucro bruto do processo, será seleccionada a opção mais económica entre as alternativas estudadas.

O sistema de avaliação proposto também pretende evidenciar a capacidade de comunicação dos alunos quer através da documentação produzida (relatório técnico) quer pela apresentação oral e poder de argumentação demonstrado na discussão do trabalho.

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

The laboratorial nature of the course allows the exploration of a set of topics inserted in the experimental work that cover all the course contents. Using a numerical simulator as an engineering tool in the process design, the students contact with real industrial engineering problems. By performing autonomously the synthesis of a process, the student learns to use heuristics as a decision criterion, to spot errors and focus priority attention on relevant areas of the process and its control parameters.

An understanding of the significance of the major sections of an industrial process diagram is expected: raw material treatment, chemical reactor, effluent preparation, separation unit, recycle, product quality control, environmental control, etc. The process analysis methodology can also assist in identifying the most sensitive operations in the process and others where improvements can be achieved.

In a plant process diagram students will be expected to distinguish and understand the difference between process and utility streams, solving pinch technology problems applied to heat integration, where the minimum number of heat exchangers can be calculated. Through this project work students will also have contact with the constructive characteristics of sizing and applicability of various industrial equipment such as valves, piping, pumps and compressors, distillation and absorption columns, heat exchangers, etc.

Learning different techniques for estimating capital costs is required, including the effect of capacity, temperature and pressure conditions, construction materials, etc. In the production cost structure of the final product, capital investment, cost of utilities, raw materials and other direct and indirect costs are included. Through practical application, students will assimilate the basic concepts of economic analysis necessary to evaluate the profitability of this type of project, which generally involves high capital expenditure. Applying technical and economic optimization criteria to maximize the gross profit of the process, the most economical option will be selected among the alternatives studied.

The proposed evaluation system also intends to evidence the students' communication skills both through the documentation produced (technical report) and the oral presentation and argumentative power demonstrated in the discussion of the work.

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

- [1] W. D. Seider, J. D. Seader, D. R. Lewin, S. Widagdo, R. Gani, e K. M. Ng (2016) "Product and Process Design Principles: Synthesis, Analysis and Evaluation", 4th Edition, John Wiley & Sons (ISBN: 978-1-119-28263-1).
- [2] R. Turton, J. A. Shaeiwitz, D. Bhattacharyya, W. B. Whiting (2018) "Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes", 5th Edition, Prentice Hall (ISBN: 978-0-13-417740-3).
- [3] R. M. Murphy (2022) "Introduction to Chemical Processes: Principles, Analysis, Synthesis", 2nd Edition, McGraw-Hill (ISBN: 978-1-265-24299-2).
- [4] R. Smith (2016) "Chemical Process: Design and Integration", 2nd Edition, John Wiley & Sons (ISBN: 9781119990147).
- [5] G. Towler, R. Sinnott (2022) "Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design", 3rd Edition, Butterworth-Heinemann, (ISBN: 978-0-12-821179-3).

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



Ficha de Unidade Curricular A3ES  
Laboratórios de Engenharia Química 2  
Mestrado em Engenharia Química e Biológica  
2024-25

---

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