

1. Designação da unidade curricular

[4222] Química Verde e Engenharia / Green Chemistry and Engineering

2. Sigla da área científica em que se insere

EQB

3. Duração

Unidade Curricular Semestral

4. Horas de trabalho

81h 00m

5. Horas de contacto

Total: 40h 00m das quais T: 40h 00m

6. % Horas de contacto a distância

Sem horas de contacto à distância

7. ECTS

3

8. Docente responsável e respetiva carga letiva na Unidade Curricular

Não existe docente responsável para esta unidade curricular | Horas Previstas: N/D

9. Outros docentes e respetivas cargas letivas na unidade curricular

Não existem docentes definidos para esta unidade curricular

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

Após a aprovação na unidade curricular, o estudante deverá possuir a capacidade de:

1. Compreender a necessidade do desenvolvimento de transformações químicas e processos químicos mais verdes e integrados, como parte das ferramentas a utilizar na implementação da sustentabilidade através da inovação.
2. Identificar e compreender os problemas de ambiente, saúde e segurança mais comuns no âmbito da sustentabilidade no domínio da química verde e engenharia verde (QV&EV).
3. Analisar e avaliar materiais (solventes, reagentes, catalisadores) e condições reacionais alternativas assentes nos princípios e nas métricas da QV&EV.
4. Calcular balanços de massa e energia e aplicá-los como ferramenta no incremento da "verdura" dos processos (operações unitárias de reação e separação).
5. Usar conceitos de integração de massa, energia e segurança inerente na conceção de processos químicos mais sustentáveis.
6. Aplicar metodologias de ciclo-de-vida elementares na avaliação de processos.

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

Upon approval, the student should be able to:

1. Understand the need for the development of greener chemistries and chemical processes through an integrated approach, as part of the tools used to drive sustainability through innovation.
2. Identify and understand the most common environmental, health and safety issues when considering what is more sustainable in the realm of green chemistry and green engineering (GC&GE).
3. Analyze and evaluate alternative materials (solvents, reagents, catalysts) and reaction conditions based on GC&GE principles and metrics.
4. Calculate mass and energy balances and apply them as a tool for "greenness" improvement (unit operations of reaction and separations).
5. Use concepts of mass and energy integration and inherently safety to design more sustainable chemical processes.
6. Apply elemental life-cycle methodology to assess processes.

11. Conteúdos programáticos**Parte I**

1. Química Verde, Engenharia Verde e Sustentabilidade.
2. Princípios da Química Verde e da Engenharia Verde. Métricas.
3. Conceção de Sínteses Químicas mais Verdes e Seguras. Seleção de Solventes, Catalisadores, Reagentes e Condições de Reação. Fontes de Matéria-Prima Renováveis. Ambiente, Saúde e Riscos de Segurança.
4. Biocatálise e Bioprocessos em Química Verde e Engenharia.

Parte II

5. Conceção de Processos de Produção mais Verdes, Seguros e mais Sustentáveis. Quantificação da "Verdura" de um Processo através de Balanços de Massa e Energia.
6. Reatores e Processos de Separação em Engenharia Verde. Contínuo vs. Descontínuo.
7. Integração de Processos: Síntese, Análise e Otimização. Intensificação de Processos. Conceito de Processos Inerentemente Seguros e sua Avaliação.
8. Conceitos de Avaliação de Ciclo-de-Vida. Impactos de Materiais, de Energia, de Resíduos e de Tratamento de Resíduos.

11. Syllabus

Part I

1. Green Chemistry, Green Engineering and Sustainability.
2. Green Chemistry and Green Engineering Principles. Metrics.
3. Designing Greener and Safer Chemical Syntheses. Selection of Solvents, Catalysts, Reagents and Reaction Conditions. Renewable Resources. Environment, Health and Safety Hazards.
4. Biocatalysis and Bioprocesses in Green Chemistry and Engineering.

Part II

5. Designing Greener, Safer and more Sustainable Manufacturing Processes. Measuring "Greenness" of a Process through Energy and Mass Balances.
6. Reactors and Separations in Green Engineering. Batch vs. Continuous.
7. Process Integration: Synthesis, Analysis and Optimization. Process Intensification. Concepts of Inherently Safer Processes and Assessment.
8. Life-Cycle Assessment Concepts. Impacts of Materials, of Energy, and of Waste and Waste Treatment.

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

Um dos objetivos fundamentais é propiciar conexões lógicas entre as áreas da síntese química, do design de processo, da engenharia, do ambiente, e da segurança, e o ciclo de vida de produtos. Os Tópicos (T) 1-2 irão considerar o contexto da sustentabilidade realçando o papel fundamental da QV&EV no desenvolvimento da sociedade através da adoção de práticas sustentáveis, abordando as métricas usadas na avaliação da "verdura" da química, dos processos e dos produtos. Nos T3-4 serão lecionados conceitos que contribuem para reações químicas mais sustentáveis, providenciando guias para análise e

seleção de materiais que possam promover sínteses mais verdes. Os T5-7 providenciarão conceitos chave de engenharia que estão na base da conceção de processos químicos mais sustentáveis, através das relações entre balanços de massa e energia e as métricas da QV&EV. O T8 englobará noções base de análise de ciclo de vida desde as matérias-primas até à reciclagem/reutilização/fim-de-vida de produtos.

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

One fundamental learning outcome is to establish bridges between the deeply interconnected subjects of synthetic chemistry, process design, engineering, environment, safety and products life-cycle. Topics (T) 1-2 will consider the context of sustainability specifically highlighting the key role of GC&GE in the society development through the adoption of more sustainable practices, addressing the metrics used to measure the "greenness" of chemistry, processes, and products. T3-4 will focus on the key components that contribute to more sustainable chemical reactions, providing guidelines for analysis and selection of materials that can promote greener syntheses. T5-7 will provide key engineering concepts that underlay the design of greener and more sustainable chemical processes, through the relationship between mass and energy balances and GC&GE metrics. T8 will cover introductory life-cycle concepts from raw materials to recycling/reuse/end-of-life products.

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

A metodologia de ensino compreenderá a lecionação de princípios, conceitos, metodologias e ferramentas de cálculo e avaliação associadas à QV&EV, acompanhada pela sistemática análise de casos de estudo, resolução de problemas, e pela identificação e formulação de possíveis soluções.

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

The teaching methodology will comprise the lecturing of principles, concepts, methodologies, and the calculation and assessment tools associated with GC&GE, accompanied by the systematic analysis of case-studies, problem-solving, and identification and design of possible solutions.

14. Avaliação

A avaliação de conhecimentos é efetuada por avaliação distribuída com exame final. A avaliação distribuída ao longo do período letivo, compreende a realização de um teste escrito (TE) e um trabalho monográfico (TP) obrigatório, considerado pedagogicamente fundamental, com apresentação e discussão. Os estudantes ficam dispensados do exame final (EF), caso tenham obtido avaliação positiva no teste escrito (TE).

A classificação mínima no TE (CTE) é 9,50 valores. A classificação mínima do TP (CTP) é 9,50 valores.

A classificação mínima do EF (CEF) é 9,50 valores. Para obter aprovação, a classificação final

ponderada mínima (CF) é 9,50 valores e é obtida por $CF = 0,50 \times CTE$ ou $CF = 0,50 \times CTP$.

14. Assessment

Knowledge assessment is carried out through distributed assessment with a final exam. Distributed assessment throughout the academic period comprises one written test (WT) and a mandatory monographic work (PW), which is considered pedagogically fundamental and includes a presentation and discussion. Students are exempted from the final exam (FE) if they achieve a positive evaluation in the distributed assessment.

The minimum classification in the WT (CWT) is 9.50 v. The minimum PW classification (CPW) is 9,50 values. The minimum FE classification (CFE) is 9.50 v. To obtain approval, the minimum weighted final classification (FC) is 9.50 v., and is obtained by $FC = 0,50 \times CWT$ or $CFE + 0,50 \times CPW$.

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

Os objetivos de aprendizagem e os seus resultados estão relacionados com o conhecimento dos tópicos do programa, o qual será o resultado do estudo acompanhado e comparado de transformações químicas e processos tecnológicos, apontando globalmente para soluções integradas mais sustentáveis. As metodologias de ensino são focadas na identificação dos problemas de sustentabilidade associados à indústria química em geral e na disponibilização de ferramentas de cálculo e avaliação tendentes à resolução de problemas. Isto será conseguido pela progressiva e regular transferência de conhecimentos a partir dos tópicos de QV&EV lecionados, seguindo uma abordagem sistemática de análise de casos de estudo, e pelo desenvolvimento de competências de resolução de problemas. Esta metodologia servirá também para os propósitos da construção de um background científico e tecnológico na preparação dos trabalhos monográficos numa base autónoma de trabalho. A metodologia de ensino e o modelo de avaliação são baseados na aprendizagem individual e em grupo. A primeira resultará do acompanhamento e estudo contínuos das matérias lecionadas em sala de aula com o auxílio da bibliografia recomendada e outros meios de apoio e a segunda, através da análise e discussão em grupo de tópicos específicos relevantes para a QV&EV na preparação e apresentação do trabalho monográfico. Estes dois vetores permitirão ao estudante atingir com o detalhe adequado os vários objetivos de aprendizagem definidos e desenvolver simultaneamente as competências necessárias à resolução de problemas associados à sustentabilidade das transformações químicas e dos processos.

A elaboração do trabalho monográfico tem por objetivo aprofundar e aplicar conhecimento de tópicos específicos e especializados da QV&EV. A monografia consistirá em revisões críticas da literatura sobre um tema selecionado versando sobre a problemática da sustentabilidade e a visão da QV&EV. Esta abordagem promoverá o desenvolvimento de competências analíticas e de síntese e de revisão da literatura por parte de cada estudante, dado que o trabalho monográfico implicará a consulta cuidada e exaustiva de bases de dados científicas através de recursos online, ajudando a estabelecer boas práticas na preparação de projeto científico/tecnológico. A monografia realizada por um grupo de estudantes será também escrutinada em apresentação oral, tomando a forma de avaliação adicional dos objetivos de aprendizagem, para além de permitir aos estudantes reforçar as suas competências comunicacionais.

A UC, ao formar estudantes em práticas químicas e industriais mais seguras, eficientes, sustentáveis e ambientalmente responsáveis, contribui para os seguintes Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030: ODS 4 - Educação de Qualidade, ODS 9 - Indústria, Inovação e Infraestruturas, ODS 12 - Produção e Consumo Sustentáveis e ODS 13 - Ação Climática, promovendo uma formação orientada para a sustentabilidade e a inovação responsável.

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

The learning objectives and their outcomes are intrinsically related with the comprehensive coverage of the syllabus topics, which will be, to a great extent, a result attained by accompanied and compared study of the chemistry and chemical technological processes, globally pointing to more sustainable integrated solutions. The adopted teaching methodologies are focused, in one hand, on the identification of the sustainability problems associated with the chemical enterprise in general and, on the other, in providing

calculation and assessment tools for their tentative solution. This is accomplished by a progressive and steady transfer of knowledge from the several GC&GE lectured subjects, following a systematic approach to case-studies analysis, and the development of applied skills through problem-solving. This methodology is also intended to construct the basic scientific and technological background for the preparation of monographic works on an autonomous basis. The implemented teaching methodology and the evaluation model are based on individual learning and in group learning. The first of them is a result of the continuous follow-up study of lectured class topics with the help of recommended bibliography and other available learning supports and the second through the in-group analysis and discussion of specific topics relevant to GC&GE while preparing and presenting the monographies. These two paths will allow the student to accomplish in a very appropriate manner the previously defined learning goals and, simultaneously, develop the necessary skills for problem-solving of issues related to the sustainability of chemistries and chemical processes.

The monographic work is intended to deepen and apply the knowledge acquired on lecturing, going further on specific and specialized themes of GC&GE. The monography will consist of updated critical bibliographic reviews about a selected subject about the use of GC&GE in the realm of sustainability. This approach will promote the development of both analytical and synthetic skills of literature reviewing by each student, since the monographic work would imply the obligatory thorough search on scientific databases through available online resources, prompting for good practices in the preparation of any scientific/technological project. The monographic work made by a group of students

will also be scrutinized in oral presentation as a further assessment of the learning outcomes, providing meanwhile the reinforcement of their communicational skills.

By preparing students for safer, more efficient, sustainable, and environmentally responsible chemical and industrial practices, the course contributes to the following Sustainable Development Goals (SDGs) of the 2030 Agenda: SDG 4 - Quality Education, SDG 9 - Industry, Innovation and Infrastructure, SDG 12 - Sustainable Production and Consumption, and SDG 13 - Climate Action, promoting training geared towards sustainability and responsible innovation.

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

1. Jiménez-González, C., & Constable, D. J. C. (2011). Green Chemistry & Engineering: A Practical Design Approach. Wiley.
2. Marteel-Parish, A. E., & Abraham, M. A. (2013). Green Chemistry and Engineering: A Pathway to Sustainability. Wiley.
3. Doble, M., & Kruthiventi, A. K. (2007). Green Chemistry and Engineering. Academic Press.
4. Ameta, S., & Ameta, R. (Ed.) (2013). Green Chemistry Fundamentals and Applications. Apple Academic Press.
5. Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). Green Chemistry: Theory and Practice, Oxford University Press.
6. Clark, J. H., & Macquarrie, D. (Ed.) (2002). Handbook of Green Chemistry and Technology. Wiley-Blackwell.
7. Lancaster, M. (2016). Green Chemistry - An Introductory Text (3rd ed.), Royal Society of Chemistry.
8. Anasta, P. T. (Ed.) (2018). Handbook of Green Chemistry: Green Metrics. Wiley.

17. Observações

Unidade Curricular Opcional