

Design Generativo e Otimização > guião [versão para discussão inicial]

mestrado em engenharia aeroespacial

+

ano letivo de 2024/2025



unidade curricular

Design Generativo e Otimização

código da unidade curricular (UC) › 43449

área científica › Engenharia Mecânica

ano/semestre › 1º/1º [MEA]

carga horária (t|tp|p): 0 | 2 | 1

unidades de crédito › 6.0 ects

docentes ›

João Alexandre Dias de Oliveira (regente)
departamento de engenharia mecânica
gabinete 22.2.15
jalex@ua.pt

António Gil d'Orey Andrade Campos
departamento de engenharia mecânica
gabinete 22.4.3.2
gilac@ua.pt

espaço de partilha, acessível a todos: MS Teams GDO.MEA_2425

objetivos de aprendizagem

Pretende-se que os estudantes sejam capazes de:

- O1. Consolidar a formação em modelação 3D;
- O2. Transpor competências de modelação do reino da representação para o projeto;
- O3. Desenvolver competências de modelação para além da modelação sólida paramétrica, com metodologias mais competitivas e geometrias mais complexas;
- O4. Saber tirar proveito de diferentes estratégias de modelação implícita e explícita numa perspetiva de engenharia;
- O5. Desenvolver estratégias de modelação computacional, nomeadamente paramétrica, algorítmica e generativa;
- O6. Aplicar estratégias generativas como ferramenta de exploração do espaço de soluções;
- O7. Integrar critérios físicos na filtragem e seleção de soluções;
- O8. Integrar dimensões de simulação numérica nas ferramentas computacionais desenvolvidas;
- O9. Compreender os fundamentos de otimização não-linear em engenharia;
- O10. Formular, modelar e resolver problemas de otimização em engenharia;
- O11. Desenvolver e aplicar o espírito crítico na utilização responsável destas ferramentas.

conteúdos

Num contexto de segundo ciclo, esta UC tem como primeiro bloco de conteúdos uma dimensão de nivelção e consolidação de competências, nomeadamente no que diz respeito a CAD (Computer-Aided Design). Divide-se em 3 fases.

- C0. Modelação 3D assistida por computador
1. Modelação sólida paramétrica
 2. Modelação de conjuntos (bottom-up)
 3. Estratégias top-down em modelação de conjuntos
 4. Modelação por superfícies paramétrica 3D
 5. Modelação direta (explícita) 3D
- Seguem-se os blocos de conteúdo fundamental da UC.

C1. Estratégias computacionais em modelação 3D
6. Design paramétrico, algorítmico e generativo
8. Modelação paramétrica e design tables
8. Scripting e modelação algorítmica em engenharia
9. Estratégias generativas em engenharia
10. Exploração estruturada do espaço de soluções

C2. Otimização não-linear em engenharia
11. Fundamentos de otimização
12. Otimização estrutural em engenharia
13. Otimização topológica
14. Otimização em estratégias generativas
15. Pós-processamento de soluções

Os conteúdos dividem-se em três grupos essenciais para o desenvolvimento dos estudantes. Por um lado, na base de modelação associada às plataformas CAD/CAE utilizadas para uma integração do desenvolvimento projetual em ambientes virtuais 3D, onde os conteúdos C0 permitem trabalhar os objetivos de aprendizagem O1 a O4. Esta é expandida de modo a que os estudantes tenham acesso a estratégias e tecnologias de modelação (e geração de soluções para além da dimensão geométrica), onde os conteúdos C1 estabelecem a base para as competências O5 a O8, enquanto ampliam o potencial das O1 a O4. Os objetivos de aprendizagem O7 e O8 estabelecem também uma ponte para os conteúdos C2, que abordam as temáticas necessárias para trabalhar os objetivos O9 e O10. Toda a UC é centrada no objetivo O11, sempre numa procura de competências que não dependam de ferramentas específicas, mas sim da capacidade dos nossos engenheiros desenvolverem soluções consistentes independentemente das plataformas disponíveis

metodologias de ensino e aprendizagem

Esta Unidade Curricular será lecionada de acordo com uma abordagem ativa de aprendizagem/ensino, centrada nos estudantes, com recurso a projetos. Os momentos expositivos por parte dos docentes serão reduzidos ao mínimo necessário, sendo a maior parte dos conteúdos ministrados numa base invertida ou projetual. Não sendo previstos modelos formalmente invertidos ou PBL, pretende-se incorporar estratégias de ambas as abordagens. As competências serão desenvolvidas de forma guiada no desenvolvimento de projetos que terão de integrar os diferentes conteúdos e objetivos de aprendizagem, segundo três fases que corresponderão de diretamente aos três blocos C0, C1 e C2, nomeadamente na avaliação.

As aulas TP seguem uma estrutura geral designada por **NOW**:

New Início ativo da aula com discussão rápida e apresentação semanal dos novos desenvolvimentos dos projetos, resultantes da semana de trabalho anterior.

Open Fase mais teórica da aula, com apresentação e discussão de elementos teóricos e técnicos relevantes, previamente partilhados com os estudantes, para explorar os conteúdos programáticos e suportar a aplicação. Esta fase poderá incluir casos de estudo para contextualização.

Work Fase mais prática da aula, novamente centrada nos estudantes, onde as equipas devem iniciar a preparação do seu trabalho para a semana seguinte, com acompanhamento do docente.

As metodologias de ensino adotadas são coerentes com o que se espera para a formação nestas áreas. Os estudantes de Engenharia do século 21, com o acesso que têm à informação e a ferramentas, não devem ser conduzidos numa estratégia de ensino/aprendizagem de "carregar em botões", presa em sequências estanques de regras de modelação e processamento. Devem, sim, ser encorajados a explorar e a recorrer aos meios digitais ao seu alcance para encontrar formas de resolver os problemas e a conhecer ferramentas novas, numa abordagem de aprendizagem/ensino centrada nos desafios e no seu papel ativo como agentes de crescimento. Esta abordagem leva a que compreendam os fundamentos, ganhem

espírito crítico, e não fiquem retidos nos procedimentos de uma dada ferramenta. Leva também a que colaborem na procura de soluções e na exploração de ferramentas que lhes permitam a maior eficiência no seu desenvolvimento. Isso é engenharia, especialmente quando o conceito de ferramenta e o papel de agente criativo/decisor evolui de forma cada vez mais orgânica, onde a solução não é necessariamente gerada pelo criador, mas sim por ferramentas que são manipuladas para gerar soluções. Este espírito flexível e preparado para um futuro de relações e definições diferentes de inteligência é também o que se pretende com as metodologias a implementar nesta UC. Esta abordagem está perfeitamente alinhada com os objetivos de aprendizagem, desde os mais niveladores (O1 a O4) aos mais avançados (O5 a O8). Em todo o processo é trabalhado o objetivo de aprendizagem O9, essencial para uma utilização inteligente e evolução extra-UC.

avaliação

tipo > **contínua**

componentes > 2 (teórico-prática e prática)

Esta UC tem duas componentes, TP e P. A abordagem projetual determina que ambas são integradas na aprendizagem ativa e na avaliação dos projetos, onde os conteúdos TP são aplicados na componente P e esta permite a consolidação do conhecimento associado à primeira. Apresenta-se com duas tipologias de avaliação possíveis.

A avaliação contínua é a tipologia de avaliação predefinida da UC. É constituída pelos seguintes momentos (e elementos) de avaliação:

Ai (equipa) > apresentações de progresso semanal e discussão; progresso desde a semana anterior; tarefas de cada membro da equipa.

M0 – Modelação 3D assistida por computador (equipa); apresentação em aula e discussão; entrega de elementos CAD; criação de plataforma web, incluindo a memória descritiva relativamente à fase M0, e que será ampliada ao longo do semestre. Esta será pública, acessível também aos colegas.

M1 – Estratégias computacionais em modelação 3D (equipa); apresentação em aula e discussão; entrega de elementos CAD/CAE; atualização do espaço web, incluindo a memória descritiva relativa ao momento M1.

M2 – Estratégias computacionais em modelação 3D (equipa); apresentação em aula e discussão; entrega de elementos CAD/CAE; atualização do espaço web, incluindo a memória descritiva relativa ao momento M1.

Nota final: $NF = 0,10 A_i + (0,20 M_0 + 0,30 M_1) \times ia_1 + (0,40 M_2) \times ia_2$

ia é um fator de acerto individual, resultante do preenchimento de formulários de auto/heteroavaliação de equipa através da plataforma e-learning da UC. Cada estudante deve fazer o preenchimento em duas fases ao longo do semestre. No e-learning será disponibilizada uma tabela de auto/heteroavaliação de equipa, com os elementos da equipa de cada estudante, onde deverá atribuir notas de 0 a 20 valores segundo os critérios: contribuição para o projeto (contribuição de cada elemento para o desenvolvimento do projeto), trabalho em equipa (capacidade de trabalho em equipa e cumprimento das tarefas por cada elemento); avaliação global (visão global sobre o desempenho de cada elemento). O e-learning calcula a média de avaliações de cada elemento de um grupo (A_e) e a média global do grupo (A_G). Os coeficientes de avaliação individual (ia) serão calculados como

$$i = \sqrt{\frac{A_e}{A_G}}$$

Commented [JO1]: SQRT para amortecer a influência

Avaliação final

Independentemente do tipo de avaliação definido pelos docentes da unidade curricular, o/a estudante pode optar pela realização de “avaliação final” nas componentes T e TP se, até ao final da segunda semana do respetivo semestre, disso informar o docente responsável pela unidade curricular. Nesse caso, o/a estudante terá na mesma de ser avaliado/a com um projeto que integre as fases definidas anteriormente (M0, M1 e M2), com um peso de 60%. Neste caso, alimentará a componente prática, à qual se acrescenta um exame teórico-prático (M3), com um peso de 40%. A entrega da componente prática (projeto) deve ser discutida cuidada e atempadamente com os docentes, sob pena de não cumprir os requisitos esperados. Entregas em época de recurso ou em época especial podem envolver a atribuição de novos temas de projeto para desenvolver. Os estudantes deverão contactar os docentes atempadamente. Nesse caso, no dia do exame os estudantes terão de realizar o teste teórico-prático e entregar os relatórios/projetos entretanto elaborados.

Master Class Bonus

Uma das características desta UC e de uma formação biotápica é a variedade de percursos e de formações prévias dos estudantes. Apesar de usualmente obrigar a um esforço suplementar de normalização, apresenta também oportunidades de partilha e de formação entre pares. Esta ideia de partilha de conhecimento está subjacente à organização da UC, sendo parte dos objetivos dos trabalhos de grupo. As apresentações e a publicação de resultados destinam-se também a ampliar este efeito, com uma partilha que irá contaminar positivamente as turmas.

Adicionalmente, sendo que muitas vezes os estudantes têm competências complementares em metodologias, ferramentas ou módulos específicos, temos nesta UC a possibilidade de conquistar bonificações de até um valor na nota final com a realização de Master Classes para os colegas. Os interessados devem falar com os docentes logo que possível nesse sentido.

Época de recurso:

Esta época funcionará em Avaliação final, pelo que os estudantes devem contactar os docentes logo que possível.

É possível melhoria de nota, apenas para os estudantes que tenham entregado os relatórios dentro dos prazos limite. Como a época de recurso, por regulamento, é de avaliação individual, a entrega da melhoria (dos projetos realizados ou de novos projetos) deve ser discutida previamente com os docentes e é feita na mesma data do exame teórico. Todos os casos de avaliação de projeto em recurso terão de ser discutidos o mais cedo possível com o regente, no sentido de promover a sua correta preparação.

projetos

Nesta UC os projetos podem ser evolutivos, ao longo das 3 fases, ou diferentes em cada fase. Numa perspetiva de formação de segundo ciclo, pretende-se trabalhar competências que permitem adaptar-se a novos desafios e ferramentas. O/a estudante pode ir mais além na sua formação diferenciada, esperando-se que procure estratégias e abordagens diferentes da modelação, nomeadamente numa perspetiva de exploração de forma explícita e algorítmica, explore abordagens de design generativo e integre estratégias de otimização no processo. Cada projeto será ajustado em conjunto com os estudantes, de modo a que todos possam desenvolver as competências pretendidas, numa perspetiva de crescimento ao longo do semestre e não só de critérios mínimos prescritos.

Trabalho de grupo: 3 elementos

Exemplo de projeto (abordagem contínua)

- | | |
|--------|--|
| Fase 0 | Modelar um avião RC (radio-controlo), começando pelo exterior, recorrendo a superfícies e estratégias de modelação direta. Investir na qualidade da geometria e na conversão em sólido. Estabelecer base para a fase 1. |
| Fase 1 | Criar dependências entre modelação e variáveis de controlo. Estabelecer tabelas de design para variação de geometria. Automatizar geração de elementos estruturais e outras geometrias. Criar algoritmos de geração e abordar estratégias generativas. Comparar com estratégias generativas tipo AGD (Autodesk Generative Design). Simular soluções e avaliar desempenho estrutural. |
| Fase 2 | Estabelecer estratégias de otimização estrutural (dimensional, de forma e paramétrica) em elementos estruturais. Desenvolver soluções ótimas e avaliar desempenho. Estabelecer estratégias consistentes de pós-processamento de soluções de otimização topológica para design de componentes fabricáveis. |

fase 0 [M0]

- > modelação em SolidWorks, incluindo superfícies e modelação direta (engenharia inversa)
- . levantamento de forma
- . primeira versão do website, incluindo memória descritiva do projeto

fase 1 [M1]

- > estratégias computacionais em CAD 3D
- . design computacional
- . descrição e comparação de procedimentos
- . abordagens generativas
- . avaliação de soluções
- . atualização de website

fase 2 [M2]

- > otimização em engenharia
- . definição de problema de engenharia
- . otimização topológica
- . pós-processamento
- . integração em estratégias generativas
- . versão final de website, incluindo análise global do trabalho desenvolvido ao longo do semestre

São admitidas abordagens alternativas a cada projeto, desde que mantenham os elementos obrigatórios apresentados de seguida e sejam devidamente discutidos com o docente. Valorizam-se análises complementares e exploração de soluções ao nível da modelação. Esta versão do guião será atualizada atendendo a ajustes eventualmente efetuados juntamente com os estudantes, de modo a contemplar diferentes formações prévias e abordagens ao projeto.

Material a entregar em cada avaliação:

- > Cópia digital do material desenvolvido;
- > Link para o website, a entregas no M0 e manter ao longo do semestre.

- > Memória descritiva a incluir no website
- ∴ Esta será construída fase a fase, incrementalmente, acrescentando o trabalho desenvolvido numa página web destinada para o efeito. Todos os grupos terão o seu espaço, onde poderão partilhar o trabalho com os colegas;

.: Deve descrever o trabalho desenvolvido, destacando os principais resultados, ilustrando os elementos mais notáveis, e discutindo o processo e as opções adotadas. Deve demonstrar espírito crítico e uma análise do trabalho desenvolvido;
.: Formato livre dentro da plataforma utilizada;
.: No final do semestre, esta página deverá funcionar como um portfólio online e mostrar o desenvolvimento sequencial ao longo das 3 fases, sendo possível reformular/corrigir o conteúdo.

Note-se que a entrega de cada projeto é o culminar do trabalho de cada fase ao longo do semestre. Deve ser entregue em formato exclusivamente digital, contendo o material referente a cada uma das avaliações, todos os ficheiros CAD e todo o material considerado relevante no contexto do projeto. As memórias descritivas respetivas devem esclarecer todo o processo de desenvolvimento, resumindo as várias etapas, a sua sequência e mostrar claramente um fio condutor no desenvolvimento do trabalho. Deve ilustrar a realização de cada uma das partes do trabalho, funcionando como o principal meio de informação relativamente às especificidades do projeto. Deve ser técnica e cientificamente coerente, rigoroso, compatível com os níveis de exigência esperados num mestrado.

Apresentações

Apresentações semanais: 3 minutos em aula;
Formato livre;
Colocadas previamente no teams
Questões colocadas por pares.

Apresentações de cada fase: 10 minutos em aula;
Formato livre.

Commented [JO2]: : Dimensão sugerida abaixo das ## palavras

planeamento geral previsto | 2024/2025

Calendário

Aula	Data (2024/25)	FASE	Conteúdo	Deliverable
1	19-Sep	M0	Apresentação, Estrutura, Programa e Objetivos da Disciplina, Metodologia e Avaliação. Revisões CAD	
2	26-Sep	M0	Primitivas, superfícies. Modelação direta	Ai - apresentações semanais! Início de aula (SUM 10%)
3	03-Oct	M0	M0, Apresentações fase 0	M0_ Apresentação + entrega Projeto fase 0 (20%)
4	10-Oct	M1	Estratégias computacionais em modelação 3D	Ai - apresentações semanais! Início de aula (SUM 10%)
5	17-Oct	M1	Design paramétrico, algorítmico e generativo. Scripting em CAD	Ai - apresentações semanais! Início de aula (SUM 10%)
6	24-Oct	M1	Simulação numérica estrutural	Ai - apresentações semanais! Início de aula (SUM 10%)
7	31-Oct	M1	GD Autodesk	Ai - apresentações semanais! Início de aula (SUM 10%)
8	07-Nov	M1	M1, Apresentações fase 1	M1_ Apresentação + entrega Projeto fase 1 (30%)
9	14-Nov	M2	Fundamentos de otimização	Ai - apresentações semanais! Início de aula (SUM 10%)
10	21-Nov	M2	Otimização estrutural em engenharia	Ai - apresentações semanais! Início de aula (SUM 10%)
11	28-Nov	M2	Otimização topológica	Ai - apresentações semanais! Início de aula (SUM 10%)
12	05-Dec	M2	Otimização em estratégias generativas	Ai - apresentações semanais! Início de aula (SUM 10%)

13	12-Dec	M2	Pós-processamento de soluções	Ai - apresentações semanais! Início de aula (SUM 10%)
14	19-Dec	M2	Balanço da UC; M2, Apresentações Finais (fase 2)	M2_ Apresentação + entrega Projeto fase 2 (40%)

bibliografia geral

- . Dennis K. Lieu, Sheryl A. Sorby; Visualization, Modeling, and Graphics for Engineering Design; Cengage Learning; 2ª Edição; 2016.
- . Teixeira-Dias, F., Pinho-da-Cruz, J., Valente, R. A. Fontes, Sousa, R. J. Alves de; Método dos Elementos Finitos: técnicas de simulação numérica em engenharia, ETEP - Edições Técnicas e Profissionais, 2010.
- . Vukašinović, Nikola, Duhovnik, Jože; Advanced CAD Modeling – Explicit, Parametric, Free-Form CAD and Re-engineering, Springer Tracts in Mechanical Engineering, Springer, 2019.
- . Arturo Tedeschi, Stefano Andreani; AAD, Algorithms-aided Design: Parametric Strategies Using Grasshopper, Le Penseur Publisher, 2014.
- . Andrade-Campos, J. Dias-de-Oliveira, J. Pinho-da-Cruz, Otimização Não-linear em Engenharia - Cálculo Estrutural e Computacional Multiescala, ETEP - Edições Técnicas e Profissionais, ISBN: 978-972-8480-35-6, 2015.
- . Joaquim R. R. A. Martins, Andrew Ning, Engineering Design Optimization, Cambridge University Press, 2021. Available online at <https://mdobook.github.io/JenniferHudson/>, "Process 50 product designs from concept to manufacture", Laurence king publishing ltd, (2008).
- . C. Relvas, A. Ramos, A. Completo, J. A. Simões, Accuracy control of complex surfaces in reverse engineering process, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 12, No. 6, pp. 1035-1042, 2011.
- . Relvas, C., Ramos, A., Completo, A. and Simões, J. A., 'The influence of data shape acquisition process and geometric accuracy of the mandible for numerical simulation', Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, Vol. 14, No. 8, August 2011, pp 721–728.
- . Xiuzi Yea, Hongzheng Liua, Lei Chena, Zhiyang Chenc, Xiang Panc, Sanyuan Zhanga, 2008, Reverse innovative design—an integrated product design methodology, Computer-Aided Design 40 pp 812–827.
- . Kunal Soni & Daniel Chen & Terence Lerch, 2009, Parameterization of prismatic shapes and reconstruction of free-form shapes in reverse engineering, Int J Adv Manuf Technol 41, pp 948–959.
- . M. Sokovic, J. Kopac, 2006, RE (reverse engineering) as necessary phase by rapid product development, Journal of Materials Processing Technology 175, pp 398–403.
- . Tutoriais e manuais das aplicações informáticas utilizadas (ver e-learning, manuais e páginas YouTube das aplicações utilizadas)

nota final

Este guião deve ser revisto pelos estudantes e discutido com o docente, podendo sofrer alterações no início do semestre se necessário. Qualquer dúvida ou tópico omissos deverá ser discutido com o docente da UC.