

Teoria de Sistemas e Controlo

Relatório da Unidade Curricular

Vítor Hugo Mendes da Costa Carvalho

janeiro de 2023

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Universidade do Algarve

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Teoria de Sistemas e Controlo

Relatório da Unidade Curricular da
Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do Instituto Politécnico
do Cávado e do Ave

Vítor Hugo Mendes da Costa Carvalho

Relatório apresentado à Universidade do Algarve para efeitos de provas de agregação
nos termos do Decreto-Lei nº 239/2007 de 19 de junho de 2007

janeiro de 2023

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Universidade do Algarve

SUMÁRIO

O presente documento constitui o cumprimento de um dos requisitos exigidos aos candidatos à realização de provas de agregação. De acordo com o texto legal, as provas de agregação são constituídas "(...) Pela apresentação, apreciação e discussão de um relatório sobre uma unidade curricular, (...), no âmbito do ramo de conhecimento ou especialidade em que são prestadas as provas.", alínea b) do artigo 5.º - Provas de Agregação, Decreto-Lei nº 239/2007 de 19 de junho de 2007.

Este relatório consiste na elaboração do programa para a unidade curricular de Teoria de Sistemas e Controlo lecionada no 2.º ano do 1.º semestre do curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do Instituto Politécnico do Cávado e do Ave (IPCA).

Apresenta-se a motivação para a escolha desta unidade curricular, bem como o seu enquadramento no curso. Descrevem-se os métodos e técnicas pedagógicas de ensino/aprendizagem que têm sido seguidos pelo autor. Enunciam-se os principais conceitos, bem como a evolução e desafios futuros da área de teoria de sistemas e controlo. Descreve-se a unidade curricular em detalhe, desde os objetivos, conteúdos programáticos, estratégias de funcionamento das aulas, documentação de apoio, métodos de avaliação, resultados de avaliação dos estudantes, bem como os métodos de aferição de qualidade da unidade curricular utilizados no IPCA, entre outros. É também apresentado o novo programa da unidade curricular, iniciado no presente ano letivo 2022/2023.

Na redação deste relatório foi considerada a Declaração de Bolonha, modelo de ensino-aprendizagem que provocou uma alteração significativa no paradigma de formação bem como na metodologia de ensino e organização curricular dos cursos. As alterações introduzidas pela Lei de Bases do Sistema Educativo relativas à abordagem do modelo de Bolonha, de organização do ensino superior, regulamentadas no Decreto-Lei n. 74/2006 de 24 de março, no que respeita aos ciclos de estudos, referem na sua nota introdutória que a: "Questão central no Processo de Bolonha é o da mudança do paradigma de ensino de um modelo passivo, baseado na aquisição de conhecimentos, para um modelo baseado no desenvolvimento de competências, onde se incluem quer as de natureza genérica - instrumentais, interpessoais e sistémicas - quer as de natureza específica associadas à área de formação, e onde a componente experimental e de projeto desempenham um papel importante."

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. Introdução | 1 |
| 1.1. Motivação..... | 1 |
| 1.2. A Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores..... | 2 |
| 1.2.1. Objetivos da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores..... | 4 |
| 1.2.2. Unidade Curricular de Teoria de Sistemas e Controlo na Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores | 4 |
| 1.3. Organização do Documento | 5 |
| 2. Métodos e Técnicas Pedagógicas (Ensino/Aprendizagem) | 6 |
| 2.1. O Paradigma de Ensino/Aprendizagem de Bolonha | 6 |
| 2.2. Estilos de Aprendizagem | 7 |
| 3. Conceitos e Desafios da Teoria e Sistemas de Controlo/Engenharia de Controlo..... | 12 |
| 3.1. Breve História do Controlo | 12 |
| 3.2. Classificação de Sistemas de Controlo | 12 |
| 3.3. Projeto de Sistemas de Controlo | 14 |
| 3.4. Desenvolvimento Evolutivo de Estratégias de Controlo | 14 |
| 3.5. Desafios Futuros dos Sistemas de Controlo | 16 |
| 4. A Unidade Curricular de Teoria de Sistemas e Controlo..... | 19 |
| 4.1. Objetivos | 19 |
| 4.2. O Dossier da Unidade Curricular | 19 |
| 4.3. Ficha de Apresentação da Unidade Curricular | 19 |
| 4.4. Conteúdo Programático | 20 |
| 4.5. Funcionamento das Aulas | 25 |
| 4.6. Recursos | 27 |
| 4.7. Medida de Esforço | 27 |
| 4.8. Documentação de Apoio | 27 |
| 4.9. Avaliação | 28 |
| 4.9.1. Prova de Avaliação Escrita..... | 29 |

| | |
|---|-----------|
| 4.9.2. Trabalho Teórico-prático e de Simulação..... | 30 |
| 4.10. Resultados de Avaliação dos Estudantes | 31 |
| 4.11. Avaliação Pedagógica do Docente, Unidade Curricular e do Envolvimento do Estudante | 33 |
| 5. Atualização do Programa da Unidade Curricular de Teoria de Sistemas e Controlo..... | 35 |
| 6. Considerações Finais | 38 |
| Referências..... | 40 |
| Anexos | 45 |
| ANEXO A - Ficha de Apresentação da Unidade Curricular no Ano Letivo 2016/17 | 47 |
| ANEXO B - Programas de unidade curriculares similares à de Teoria de Sistemas e Controlo noutras instituições de ensino superior (IES) portuguesas e estrangeiras..... | 56 |
| IES do Ensino Universitário Português..... | 58 |
| IES do Ensino Politécnico Português..... | 63 |
| IES Estrangeiras..... | 67 |
| ANEXO C - Teste de Avaliação, Enunciado do Trabalho Teórico-prático e de Simulação e Enunciado de Exame da Época de Recurso no Ano Letivo 2016/17 | 71 |
| ANEXO D - Resultados do Inquérito de Avaliação Pedagógica no Ano Letivo 2016/17 | 78 |

1. Introdução

No presente capítulo apresenta-se a motivação para a escolha da unidade curricular de Teoria de Sistemas e Controlo, bem como o seu enquadramento no curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do Instituto Politécnico do Cávado e do Ave (IPCA). Por último, descreve-se a organização do documento.

1.1. Motivação

A unidade curricular de Teoria de Sistemas e Controlo faz parte do plano de estudos da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (em funcionamento desde o ano letivo 2009/2010, inicialmente com a designação de Engenharia Elétrica, até março de 2011), sendo da responsabilidade do Departamento de Sistemas Ciber-físicos, Inteligentes e Criativos (designado de Departamento de Tecnologias até julho de 2021) da Escola Superior de Tecnologia do IPCA.

Trata-se de uma unidade curricular obrigatória, que faz parte do 2º ano, 1º semestre, do plano de estudos da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores e apresenta uma escolaridade semanal de quatro horas, sendo 2 horas teóricas e 2 horas teórico-práticas, correspondendo a 6 unidades de crédito (ECTS).

Foram vários os motivos que levaram à seleção da unidade curricular de Teoria de Sistemas e Controlo, por parte do autor, para efeitos de elaboração do relatório no âmbito das provas de agregação. Primeiramente, pelo interesse do autor na área do controlo, iniciada desde a sua formação de base ao nível da licenciatura. Seguidamente, ao nível da investigação, foram vários os trabalhos do autor publicados na área do controlo, com propósito pedagógico. Adicionalmente, o autor foi o responsável pela criação da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores no IPCA, tendo sido o responsável pela unidade curricular de Teoria de Sistemas e Controlo, e docente da mesma, até ao final do letivo de 2016/2017, momento em que assumiu a Direção da Escola Superior de Tecnologia do IPCA (no presente ano letivo 2022/2023, embora não leccione a unidade curricular, o autor é responsável pela mesma). Por último, trata-se de uma unidade curricular estruturante para a formação de base de um Engenheiro Eletrotécnico e de Computadores, justificando o destaque atribuído à mesma.

1.2. A Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

A Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores encontra-se estruturada segundo o processo de Bolonha (Dec. Lei 74/2006), tendo o seu plano curricular sido revisto em julho de 2013 e em outubro de 2017, último do qual se mantém em vigor até à data.

O curso funciona nas instalações do campus do IPCA, em Barcelos. A Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores tem uma duração de três anos letivos e rege-se por um sistema de unidades curriculares (UCs) distribuídas por áreas científicas. A obtenção do grau de Licenciado requer a realização de 180 créditos (ECTS).

As áreas científicas e créditos necessários para a obtenção do grau de licenciado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores apresentam-se na Figura 1.

9 — Estrutura curricular:

QUADRO N.º 1

| Áreas científicas | Sigla | Créditos | |
|--------------------------------|-------|--------------|-----------|
| | | Obrigatórios | Opcionais |
| Engenharia Eletrotécnica | EE | 112 | |
| Ciências da Computação | CC | 27 | |
| Matemática | MAT | 18 | |
| Engenharia da Computação | EC | 14 | |

| Áreas científicas | Sigla | Créditos | |
|---|-------|--------------|-----------|
| | | Obrigatórios | Opcionais |
| Física | FIS | 6 | |
| Engenharia de Produção e Sistemas | EPS | 3 | |
| <i>Subtotal</i> | | 180 | |
| <i>Total</i> | | | 180 |

10 — Observações:
11 — Plano de estudos:

Figura 1 - Créditos e áreas científicas do curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do IPCA [1]

Através da Figura 1 verifica-se que a área científica de Engenharia Eletrotécnica (EE) predomina com 112 ECTS, seguindo-se as áreas científicas do domínio computacional (Ciências da Computação (CC), com 27 ECTS e Engenharia da Computação (EC), com 14 ECTS), num total de 41 ECTS, bem como as áreas científicas de base (Matemática (MAT), com 18 ECTS e Física (FIS), com 6 ECTS) num total de 24 ECTS. Por último, o curso integra a área científica de Engenharia de Produção e Sistemas (EPS), com 3 ECTS. Tratando-se de um curso de primeiro ciclo, apresenta unidades curriculares abrangentes e associadas aos diferentes domínios de conhecimento e competências que um licenciado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores deve possuir, entre outras, nas áreas de Controlo, Automação e Robótica, Eletrónica Analógica, Eletrónica Digital, Aquisição e Processamento de Sinal, Eletrónica de Potência, Programação e Tecnologia de Computadores (Figura 2 a Figura 4). No 3^a ano, 2^o semestre, apresenta a unidade curricular

de Projeto/Estágio, com um total de 15 ECTS, na qual o estudante deve ser capaz de apresentar uma solução para um problema real ou um trabalho de iniciação à investigação, e que é desenvolvida nos laboratórios do IPCA ou em contexto empresarial [1].

A Figura 2, Figura 3 e Figura 4 apresentam, respetivamente, o 1º, 2º e 3º anos do plano de estudos da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Com exceção da unidade curricular de Projeto/Estágio, que apresenta 15 ECTS (conforme referido anteriormente) e da unidade curricular de Gestão de Projetos de Engenharia, que apresenta 3 ECTS, todas as restantes unidades curriculares apresentam 6 ECTS.

| Unidade curricular (1) | Área científica (2) | Organização do ano curricular (3) | Horas de trabalho | | | | | | | Créditos (6) | Observações (7) | | |
|--|------------------------|--------------------------------------|-------------------|-----------------|----|----|----|---|---|-----------------|--------------------|----|---|
| | | | Total (4) | Contacto (5) | | | | | | | | | |
| | | | | T | TP | PL | TC | S | E | | | OT | O |
| Cálculo | MAT | 1.º Semestre ... | 160 | | 60 | | | | | | | 6 | |
| Matemática Discreta e Álgebra Linear | MAT | 1.º Semestre ... | 160 | | 60 | | | | | | | 6 | |
| Teoria dos Circuitos Elétricos | EE | 1.º Semestre ... | 160 | 30 | 30 | | | | | | | 6 | |
| Sistemas Digitais | EE | 1.º Semestre ... | 160 | 30 | 30 | | | | | | | 6 | |
| Programação Imperativa | CC | 1.º Semestre ... | 160 | 30 | 30 | | | | | | | 6 | |
| Teoria da Eletricidade | EE | 2.º Semestre ... | 160 | 40 | 20 | | | | | | | 6 | |
| Estruturas de Dados Avançadas | CC | 2.º Semestre ... | 160 | 30 | 30 | | | | | | | 6 | |
| Fundamentos de Física | FIS | 2.º Semestre ... | 160 | | 60 | | | | | | | 6 | |
| Eletrónica I | EE | 2.º Semestre ... | 160 | 40 | | 20 | | | | | | 6 | |
| Eletrotécnica | EE | 2.º Semestre ... | 160 | 30 | 30 | | | | | | | 6 | |

Figura 2 - 1º ano do plano curricular da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do IPCA [1]

| Unidade curricular (1) | Área científica (2) | Organização do ano curricular (3) | Horas de trabalho | | | | | | | Créditos (6) | Observações (7) | | |
|--|------------------------|--------------------------------------|-------------------|-----------------|----|----|----|---|---|-----------------|--------------------|----|---|
| | | | Total (4) | Contacto (5) | | | | | | | | | |
| | | | | T | TP | PL | TC | S | E | | | OT | O |
| Projeto de Sistemas Digitais | EE | 1.º Semestre ... | 160 | 20 | | 40 | | | | | | 6 | |
| Teoria de Sistemas e Controlo | EE | 1.º Semestre ... | 160 | 30 | 30 | | | | | | | 6 | |
| Arquitetura de Sistemas Computacionais | EC | 1.º Semestre ... | 160 | 40 | 20 | | | | | | | 6 | |
| Programação Orientada a Objetos | CC | 1.º Semestre ... | 160 | 30 | 30 | | | | | | | 6 | |
| Eletrónica II | EE | 1.º Semestre ... | 160 | 40 | 20 | | | | | | | 6 | |
| Armazenamento e Acesso a Dados | CC | 2.º Semestre ... | 160 | 30 | 30 | | | | | | | 6 | |
| Estatística | MAT | 2.º Semestre ... | 160 | | 60 | | | | | | | 6 | |
| Microcontroladores | EE | 2.º Semestre ... | 160 | 30 | | 30 | | | | | | 6 | |
| Máquinas Elétricas | EE | 2.º Semestre ... | 160 | 30 | 30 | | | | | | | 6 | |
| Automação | EE | 2.º Semestre ... | 160 | | 30 | 30 | | | | | | 6 | |

Figura 3 - 2º ano do plano curricular da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do IPCA [1]

| Unidade curricular (1) | Área científica (2) | Organização do ano curricular (3) | Horas de trabalho | | | | | | | | Créditos (6) | Observações (7) | |
|---|------------------------|--------------------------------------|-------------------|-----------------|----|----|----|---|---|----|-----------------|--------------------|---|
| | | | Total (4) | Contacto (5) | | | | | | | | | |
| | | | | T | TP | PL | TC | S | E | OT | | | O |
| Processamento de Sinal | EE | 1.º Semestre ... | 160 | 30 | | 30 | | | | | | 6 | |
| Instrumentação e Medidas | EE | 1.º Semestre ... | 160 | 30 | | 30 | | | | | | 6 | |
| Robótica | EE | 1.º Semestre ... | 160 | | 40 | 20 | | | | | | 6 | |
| Instalações Elétricas | EE | 1.º Semestre ... | 160 | 20 | 20 | 20 | | | | | | 6 | |
| Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos | EC | 1.º Semestre ... | 160 | 40 | | 20 | | | | | | 6 | |
| Sistemas Energéticos e Sustentabilidade | EE | 2.º Semestre ... | 160 | 20 | 20 | 20 | | | | | | 6 | |
| Eletrónica de Potência | EE | 2.º Semestre ... | 160 | 20 | 20 | 20 | | | | | | 6 | |
| Gestão de Projetos de Engenharia | EPS | 2.º Semestre ... | 80 | | 30 | | | | | | | 3 | |
| Projeto/Estágio | EE/CC/EC | 2.º Semestre ... | 400 | | | | | | | 15 | | 15 | |

Figura 4 - 2º ano do plano curricular da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do IPCA [1]

1.2.1. Objetivos da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

A Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores tem como principal objetivo formar diplomados habilitados para o exercício da atividade profissional em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, adquirindo competências técnicas para atuar em importantes sectores tecnológicos de desenvolvimento nacional e internacional, desenvolvendo a sua atividade nas áreas da eletrónica analógica, eletrónica digital, eletrotecnia, sistemas de comunicação, sistemas baseados em computador, sistemas de controlo, automação, robótica, entre outras.

A Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores integra uma elevada componente prática laboratorial (300 horas de contacto, Figura 2 a Figura 4) e uma forte ligação ao tecido empresarial, altamente tecnológico, da região onde se encontra (Cávado e Ave), apresentando uma taxa de empregabilidade dos seus diplomados próxima dos 100%.

1.2.2. Unidade Curricular de Teoria de Sistemas e Controlo na Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Analisando o plano de estudos da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (Figura 2, Figura 3 e Figura 4) verifica-se que a unidade curricular de Teoria de Sistemas e Controlo se trata da única unidade curricular do curso onde são apresentados e desenvolvidos conceitos da área de Sistemas e Controlo, apresentando por isso uma responsabilidade acrescida na promoção das competências da área que os estudantes necessitam de adquirir para concretizar com sucesso algumas das restantes unidades curriculares do curso com relação mais direta. São exemplo desta relação as unidades curriculares de Automação (2º ano, 2º semestre, Figura 3) e de Robótica (3ºano, 1º semestre, Figura 4) as quais possuem uma

componente laboratorial onde são aplicados conceitos de Controlo ou a unidade curricular de Máquinas Elétricas (2º ano, 2º semestre, Figura 3) onde os estudantes desenvolvem um programa de controlo de velocidade de um motor de corrente contínua num sistema baseado em microcontrolador.

É importante também referir que nas unidades curriculares de Cálculo (1º ano, 1º semestre, Figura 2) e de Matemática Discreta e Álgebra Linear (1º ano, 1º semestre, Figura 2) são transmitidos alguns conceitos e métodos matemáticos que se tornam fundamentais para a resolução dos problemas desenvolvidos na unidade curricular de Teoria de Sistemas e Controlo, como, por exemplo, sobre cálculo diferencial e transformadas de Laplace (unidade curricular de Cálculo) ou sobre cálculo matricial, determinantes e sistemas de equações lineares (unidade curricular de Matemática Discreta e Álgebra Linear). Nestas unidades curriculares, da área científica de matemática, são também exploradas ferramentas computacionais de cálculo numérico como o *SciLab* (www.scilab.org) ou o *Matlab* (www.mathworks.com), este último bastante utilizado na unidade curricular de Teoria de Sistemas e Controlo.

1.3. Organização do Documento

O presente documento encontra-se organizado em seis capítulos. O segundo capítulo, “Métodos e Técnicas Pedagógicas (Ensino/Aprendizagem)”, descreve o paradigma de ensino/aprendizagem de Bolonha, bem como alguns estilos de aprendizagem considerados pelo autor. No capítulo três, “Conceitos e Desafios da Teoria de Sistemas e Controlo/Engenharia de Controlo”, faz-se uma breve introdução à história do Controlo, descrevem-se os principais conceitos da área de sistemas e controlo, apresenta-se a sequência de etapas de um projeto de sistemas e controlo, aborda-se o desenvolvimento evolutivo das estratégias de controlo, bem como os principais desafios futuros da área. O capítulo quatro, designado de “A Unidade Curricular de Teoria de Sistemas e Controlo” apresenta, relativamente à unidade curricular, os objetivos, os conteúdos programáticos, a bibliografia, as estratégias de ensino, os métodos e elementos de avaliação, os resultados de avaliação dos estudantes, bem como os métodos de aferição de garantia de qualidade sobre o funcionamento da unidade curricular, entre outros. No capítulo cinco, “Atualização do Programa da Unidade Curricular de Teoria de Sistemas e Controlo”, são apresentados, entre outros, os novos tópicos introduzidos no conteúdo programático da unidade curricular. Por último, no capítulo seis, “Considerações Finais”, são apresentados alguns breves comentários relativos ao relatório. As referências bibliográficas e os anexos considerados pertinentes concluem o documento.

2. Metodologias e Técnicas Pedagógicas (Ensino/Aprendizagem)

O ensino baseado no desenvolvimento de competências tem como principal objetivo que os estudantes aprendam, exigindo assim um ensino efetivo que permita uma aprendizagem significativa. Esta noção de *effective teaching*, tal como é descrito pelos anglo-saxónicos, corresponde a uma abordagem de ensino que proporciona aos estudantes uma aprendizagem “profunda” e bem-sucedida [2].

As novas teorias da educação referem que os métodos de ensino devem motivar o estudante a relacionar-se com os assuntos em estudo de forma útil. Assim, os métodos de ensino devem levar o estudante a assumir uma maior responsabilidade e envolvimento no estudo, implicando uma busca ativa do conhecimento, a capacidade de interpretação de resultados e a criação de testes de hipóteses, seja este num contexto de cooperação ou num contexto individual [2]. Contudo, o sucesso do processo de ensino-aprendizagem depende de fatores como a motivação do estudante, que pode ser promovido através da clareza e boa organização dos conteúdos programáticos, bem como da relevância e da aplicação prática dos conteúdos da unidade curricular para a formação profissional e pessoal do estudante, mas também dos métodos e técnicas pedagógicas de ensino/aprendizagem utilizadas.

2.1. O Paradigma de Ensino/Aprendizagem de Bolonha

O Decreto-Lei n. 74/2006 de 24 de março refere que: “A adequação das formações ao novo modelo de organização do ensino superior vem sendo concretizada através de um trabalho em profundidade desenvolvido pelas instituições, que deve ser participado por estudantes e professores, e que visa, designadamente:

- A passagem de um ensino baseado na transmissão de conhecimentos para um ensino baseado no desenvolvimento de competências;
- A orientação da formação ministrada para os objetivos específicos que devem ser assegurados pelos ciclos de estudos do subsistema, universitário ou politécnico, em que se insere;
- Assegurar aos estudantes portugueses condições de formação e de integração profissional similares, em duração e conteúdo, às dos restantes Estados que integram o espaço europeu, através da adoção, em cada área de formação, de um número de créditos e, conseqüentemente, de uma duração, que não sejam diversos dos de instituições de referência de ensino superior daquele espaço nas mesmas áreas;

- A determinação do trabalho que o estudante deve desenvolver em cada unidade curricular incluindo, designadamente, e onde aplicável, as sessões de ensino de natureza coletiva, as sessões de orientação pessoal de tipo tutorial, os estágios, os projetos, os trabalhos no terreno, o estudo e a avaliação - e sua expressão em créditos, de acordo com o sistema europeu de transferência e acumulação de créditos, incluindo a realização de inquéritos aos estudantes e docentes tendo em vista esse fim;
- A fixação do número total de créditos, e conseqüente duração do ciclo de estudos, dentro dos valores e de acordo com os critérios estabelecidos pelo presente decreto-lei.”

Considerando os pressupostos referidos anteriormente, o processo de ensino/aprendizagem tem-se alterado, resultando na modificação do modelo pedagógico do ensino superior. Há vários estudos sobre práticas de ensino que apontam objetivamente para um ensino interativo entre o professor e o estudante, centrado no estudante - do qual se espera uma atitude pró-ativa e participativa -, em contradição com uma prática de ensino clássica, centrada no professor - baseada na transmissão de informação e na vontade do estudante em aprender os conceitos da unidade curricular [3]. Na unidade curricular de Teoria de Sistemas e Controlo são seguidas as recomendações supra apresentadas na definição dos objetivos e resultados de aprendizagem.

2.2. Estilos de Aprendizagem

O conhecimento sobre o método / estilo de aprendizagem de cada estudante pode ser aplicado para desenvolver e implementar novas estratégias de aprendizagem, tratando-se, por isso, de informação bastante relevante. O conceito de estilo de aprendizagem descreve a aprendizagem individual levando em consideração as preferências do estudante. A teoria de aprendizagem experiencial de Kolb é uma das teorias educacionais mais conhecidas no ensino superior. Segundo Kolb, novos conhecimentos, competências ou atitudes são alcançados por meio do confronto entre alguns modos de aprendizagem experiencial [4], [5].

O modelo de Kolb funciona em dois níveis ou duas atividades de aprendizagem, percepção e processamento, e Kolb destaca quatro estilos de aprendizagem distintos (acomodação, divergência, assimilação e convergência) baseados em quatro estágios de aprendizagem. O modelo de Kolb transmite uma compreensão dos estilos de aprendizagem individuais e a explicação de um círculo de aprendizagem experiencial, que pode ser aplicado a todos os aprendentes [4], [6].

A representação tradicional das duas atividades de aprendizagem de Kolb é baseada em dois eixos (Figura 5):

- o eixo horizontal, que corresponde à medição da atividade de processamento, a forma como abordamos uma situação, variando da experimentação ativa à observação refletiva;
- e, o eixo vertical, que corresponde à medição da atividade de percepção, distinguindo entre a experiência concreta e a conceptualização abstrata, quantificando a resposta emocional ou a forma de pensar. Os estilos de aprendizagem são a combinação dos dois eixos [6].

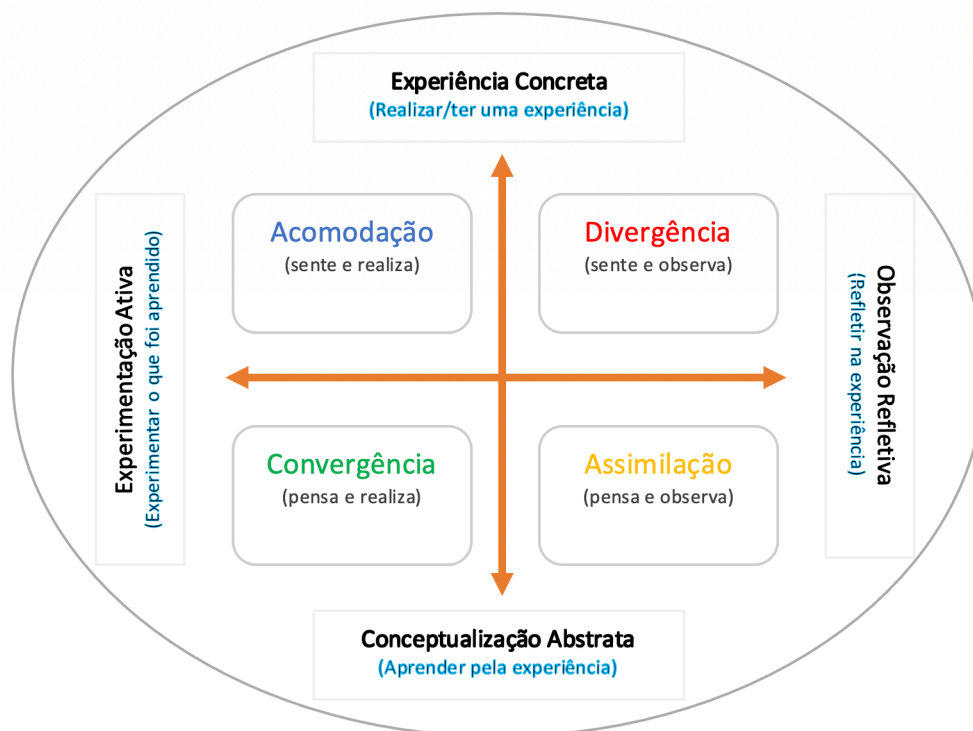


Figura 5 - Estilos de aprendizagem de Kolb, adaptado de [5]

A proposta elaborada por Felder e Soloman para indexar os estilos de aprendizagem é baseada na avaliação das preferências dos estudantes, de acordo com o modelo de Felder e Silverman [7]. Este modelo descreve o estilo de aprendizagem de um estudante com maior detalhe, distinguindo entre preferências em quatro dimensões (Figura 6).

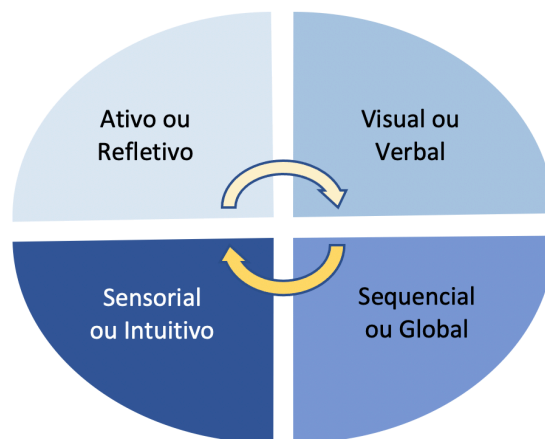


Figura 6 - Modelo de 4 dimensões proposto por Felder e Soloman, adaptado de [5]

Outra característica relevante baseia-se nas tendências, referindo que os estudantes com elevada preferência por um determinado comportamento também podem, por vezes, agir de forma diferente [8]. De acordo com [9], o modelo de Felder é mais apropriado para cursos hipermédia e é frequentemente utilizado na aprendizagem potenciada por tecnologia, tendo sido desenhado para uma aprendizagem tradicional [8].

A primeira dimensão do modelo de Felder distingue entre uma forma ativa e uma forma refletiva de processamento de informação. Estudantes ativos aprendem melhor trabalhando ativamente com os conteúdos de aprendizagem, aplicando-os e fazendo experiências com os mesmos. Tipicamente têm preferência por métodos de aprendizagem baseados em trabalhos de grupo, onde possam cooperar e discutir assuntos entre si. Em contraste, os estudantes refletivos preferem pensar e refletir sobre os conteúdos de aprendizagem. Tipicamente, preferem trabalhar sozinhos ou em pequenos grupos de trabalho.

A segunda dimensão do modelo de Felder distingue entre estudantes sensoriais e estudantes intuitivos. Os estudantes que preferem um estilo de aprendizagem sensorial gostam de aprender factos e conteúdos de aprendizagem concretos. Habitualmente, gostam de resolver problemas com abordagens padronizadas e têm uma tendência para ser mais práticos do que os estudantes intuitivos. Em contraste, os estudantes intuitivos preferem aprender com conteúdos de aprendizagem abstratos, como, por exemplo, teorias e os seus significados subjacentes. Tipicamente, estão mais vocacionados para desenvolver novas possibilidades, sendo, por isso, mais inovadores e criativos do que os estudantes sensoriais.

A terceira dimensão do modelo de Felder, visual-verbal, distingue entre os estudantes com maior capacidade de memória e, portanto, que preferem aprender com base na memória visual (por exemplo, imagens, diagramas ou fluxogramas) e os estudantes que aprendem melhor com base em representações textuais, independentemente de serem escritas ou verbais.

Na quarta dimensão, os estudantes são caracterizados de acordo com a sua forma de compreensão. Os estudantes sequenciais aprendem em pequenas etapas incrementais e, portanto, têm um progresso de aprendizagem linear. Habitualmente tendem a seguir caminhos lógicos graduais para encontrar soluções. Em contraste, os estudantes globais utilizam um processo de pensamento holístico e aprendem em “grandes saltos”. Tradicionalmente, tendem a absorver o material de aprendizagem quase aleatoriamente, sem associar ligações, mas depois de aprenderem conteúdos em quantidade suficiente, obtêm o “quadro” completo de conhecimento. Dessa forma são capazes de resolver problemas complexos, encontrar ligações entre diferentes áreas e juntar “as peças” de forma inovadora, mas têm dificuldade em explicar como o fizeram. Como a “visão geral” é importante para os estudantes globais, eles tendem a interessar-se mais por conhecimento abrangente, enquanto os estudantes sequenciais estão mais interessados em detalhes [10].

Assim, considerando as formas distintas de aprender que os estudantes podem possuir, os docentes devem garantir que as atividades pedagógicas sejam planeadas e conduzidas para oferecer a cada estudante a oportunidade de se envolver de maneira apropriada, identificando o estilo de aprendizagem do estudante. Além disso, os estudantes podem aprender de forma mais eficaz pela aplicação do ciclo de aprendizagem de Kolb (Figura 5) [4], [6]. A consciência do estilo de aprendizagem proporciona melhores experiências educativas de engenharia para os estudantes e pode ajudar os docentes a compreender melhor as suas preferências [5].

Nesse sentido, e por forma a proporcionar uma maior abrangência de metodologias e ferramentas para motivar os estudantes, o autor, como parte de uma equipa de docentes de diferentes instituições de ensino superior, tem promovido investigação para o ensino na área do Controlo, através do desenvolvimento e implementação de laboratórios virtuais e remotos, possibilitando aos estudantes uma maior possibilidade de experimentação [11]–[21]. Adicionalmente, o autor, em equipa, tem igualmente promovido investigação sobre o uso de jogos sérios, em diferentes planos de trabalho conducentes ao grau de mestre e de doutor, considerando o impacto que os mesmos possuem na motivação do jogador ou aprendente. Os jogos sérios, para além do prazer proporcionado aos jogadores, também servem para informar,

treinar e educar. Este tipo de jogos, em geral, tenta causar uma boa impressão no jogador que, para além do próprio domínio do jogo, também está a adquirir conhecimento e uma mensagem de característica didática [22]. Desta forma, ao proporcionarem-se práticas educativas atrativas e inovadoras onde o estudante tem a oportunidade de aprender de forma mais ativa, dinâmica e motivadora, os jogos sérios tornam-se auxiliares importantes no processo de ensino e aprendizagem, permitindo inúmeras vantagens, entre outras, o efeito motivador e facilitador de aprendizagem, o desenvolvimento de habilidades cognitivas e a socialização [23]. Embora os trabalhos do autor com a utilização de jogos sérios não tenham sido dirigidos para a área do Controlo, apresentam uma abordagem de desenvolvimento que poderá ser igualmente utilizada para a área do ensino do Controlo [24]–[28].

As ferramentas referidas, com uma lógica de utilização complementar ao ensino presencial, pelo facto de potenciarem um maior envolvimento dos estudantes nos conteúdos programáticos, permitem igualmente potenciar um aumento dos níveis de aprendizagem e consequente taxa de sucesso. A Sociedade Portuguesa para a Educação em Engenharia (SPEE) (<http://spee.org.pt>), da qual o autor é membro fundador, tem promovido a utilização destas ferramentas.

3. Conceitos e Desafios da Teoria e Sistemas de Controlo/Engenharia de Controlo

A engenharia de controlo procura compreender e controlar segmentos do ambiente, chamados de sistemas, com o objetivo de proporcionar produtos úteis e economicamente eficazes para a sociedade. Esta baseia-se nos fundamentos da teoria de realimentação e na análise de sistemas lineares e integra conceitos da teoria de redes e comunicações [29].

3.1. Breve História do Controlo

Historicamente, as primeiras aplicações de controlo por realimentação surgem no desenvolvimento dos mecanismos reguladores de flutuação na Grécia, no período de 300 a 1 a.C. O primeiro controlador automático por realimentação utilizado num processo industrial é tradicionalmente aceite como sendo o governador centrífugo de James Watt, desenvolvido em 1769 para controlo de velocidade de um motor a vapor. Seguidamente, a teoria e a prática do controlo automático tiveram um desenvolvimento considerável durante a 2ª guerra mundial, nomeadamente no projeto e implementação dos sistemas de piloto automático de aviões, posicionamento de armas ou controlo da antena de radar. Mais tarde, nos anos 80, a utilização de computadores digitais em sistemas de controlo tornou-se comum, permitindo aumentar a eficácia dos sistemas de controlo e massificando a sua utilização [29].

3.2. Classificação de Sistemas de Controlo

Um sistema de controlo consiste na interligação de componentes que formam uma configuração de sistema que proporciona uma resposta desejada do sistema. Um sistema de controlo pode ser do tipo malha aberta, quando utiliza um atuador para controlar o processo diretamente sem realimentação, ou do tipo malha fechada, quando utiliza uma medida da saída e a realimentação deste sinal para o comparar com a saída desejada (referência). Considerando o aumento de complexidade dos sistemas a controlar, com o objetivo de atingir a melhor *performance*, é frequente considerarem-se sistemas de controlo multivariável. Os sistemas de controlo de malha fechada apresentam algumas vantagens relativamente aos sistemas de malha aberta, nomeadamente [30]:

- rejeição à perturbação;

- desempenho garantido mesmo com incertezas do modelo (quando a estrutura do modelo não corresponde perfeitamente ao processo real e os parâmetros do modelo não são exatos);
- possibilidade de estabilização de processos instáveis;
- baixa sensibilidade a variações de parâmetros;
- melhor desempenho na procura da referência.

Por vezes, em alguns sistemas, é possível ter, simultaneamente, quer a estratégia por realimentação negativa (ação de malha fechada), quer a estratégia por antecipação (ação de malha aberta), incrementando o desempenho do sistema na procura da referência.

Adicionalmente, os sistemas de controlo podem ser classificados em diferentes domínios, no que se refere à sua linearidade, tipo de representação ou número de entradas/saídas, nomeadamente [29]:

- Sistemas Lineares vs. Não-lineares: nos sistemas lineares, que obedecem ao princípio da superposição, onde a saída é proporcional à entrada, as equações diferenciais lineares que os descrevem possuem parâmetros que não variam com o tempo - chamados de sistemas lineares invariantes no tempo (LTI). Os sistemas não-lineares, que não obedecem ao princípio da superposição e que são mais próximos dos sistemas do mundo real, são descritos através de equações diferenciais não lineares. Estes sistemas são muitas vezes linearizados por aproximação a um sistema linear através da teoria da perturbação;
- Representação no Domínio da Frequência vs. Domínio do Tempo: no domínio da frequência, os valores das variáveis de estado, as variáveis matemáticas que representam a entrada, a saída e a realimentação do sistema são representadas como funções de frequência. O sinal de entrada e a função de transferência do sistema são convertidas de funções de tempo para funções de frequência através de transformadas (Fourier, Laplace ou Z). No domínio do tempo, os valores das variáveis de estado são representados como funções do tempo. Uma vez que as técnicas do domínio da frequência são limitadas a sistemas lineares, o domínio do tempo é amplamente utilizado para analisar sistemas não lineares do “mundo” real;

- SISO vs. MIMO: nos sistemas *Single-Input Single-Output* uma saída é controlada por um sinal de controlo. Os sistemas *Multiple-Input Multiple-Output* são utilizados para representar sistemas complexos.

3.3. Projeto de Sistemas de Controlo

O projeto de sistemas de controlo requer que se obtenha a configuração, as especificações e a identificação dos parâmetros chave de um sistema proposto para atingir uma determinada necessidade. A sequência de ações necessária para o projeto de sistemas de controlo considera as seguintes etapas [29]:

1. Definir os objetivos do sistema de controlo;
2. Identificar as variáveis a controlar;
3. Definir as especificações das variáveis;
4. Definir a configuração do sistema e identificar o atuador;
5. Obter o modelo do processo, do atuador e do sensor;
6. Definir um controlador e os parâmetros a ser ajustados;
7. Otimizar os parâmetros do controlador e analisar o desempenho do sistema;
8. Se o desempenho do sistema estiver de acordo com as especificações, o projeto está concluído, caso contrário retoma-se iterativamente ao ponto 4.

Com o aumento e maior acessibilidade ao poder computacional, a utilização de simuladores tem ganho especial interesse no projeto de sistemas de controlo complexos, quer a nível industrial, mas também a nível pedagógico e académico, sendo o mais utilizado o *Matlab/Simulink* da *Mathworks* (www.mathworks.com), mas também o *LabVIEW* da *National Instruments* (www.ni.com) que possui um módulo de *Control Design and Simulation*, ou o *Modelica* (www.modelica.org) que possui igualmente um módulo para desenvolvimento de sistemas de controlo (*BuildingControlLib*) [31].

3.4. Desenvolvimento Evolutivo de Estratégias de Controlo

Podem distinguir-se 4 estágios de desenvolvimento de métodos de engenharia de controlo, os quais incluem, entre outras, as seguintes estratégias [32]:

- Fase A (Convencional): Controlo por Realimentação/Antecipação;
- Fase B (Avançada I): Controlo Adaptativo e Autoajustável;

- Fase C (Avançada II): Controlo Ótimo;
- Fase D (Avançada III): Controlo *Fuzzy* e Redes Neurais.

As estratégias convencionais (Fase A) são adequadas para sistemas e problemas mais simples, muito utilizados ainda atualmente, enquanto as estratégias avançadas devem ser reservadas para problemas complexos. As estratégias da Fase B e C são recomendadas para controlo de sistemas multivariáveis, quando existem alterações das condições de operação. As estratégias da Fase D permitem projetar controladores baseados no conhecimento e são recomendadas quando o sistema apresenta não-linearidades e incerteza (no caso das redes neurais, requerem uma fase de treino e de atualização periódica) [32]–[36].

Adicionalmente e particularmente nos últimos 10 anos, com a proliferação da utilização de técnicas de inteligência artificial, nomeadamente de *machine learning*, assistiu-se a uma utilização da categoria de *Reinforcement Learning (RL)* em sistemas considerados nas várias estratégias de controlo das fases descritas anteriormente. O RL (Figura 7) corresponde a uma abordagem computacional, dirigida por objetivos, na qual o computador aprende a executar uma tarefa através da interação com um ambiente dinâmico desconhecido. Esta abordagem de aprendizagem permite ao computador realizar uma série de decisões para maximizar a recompensa cumulativa da tarefa sem intervenção humana, bem como sem ser explicitamente programado para realizar a tarefa [38]–[41].

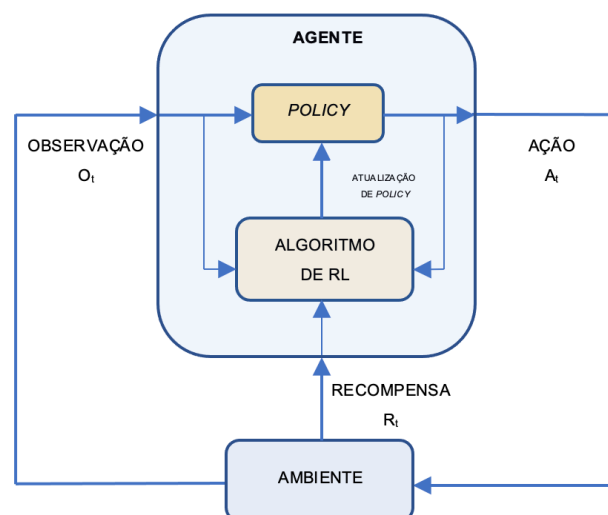
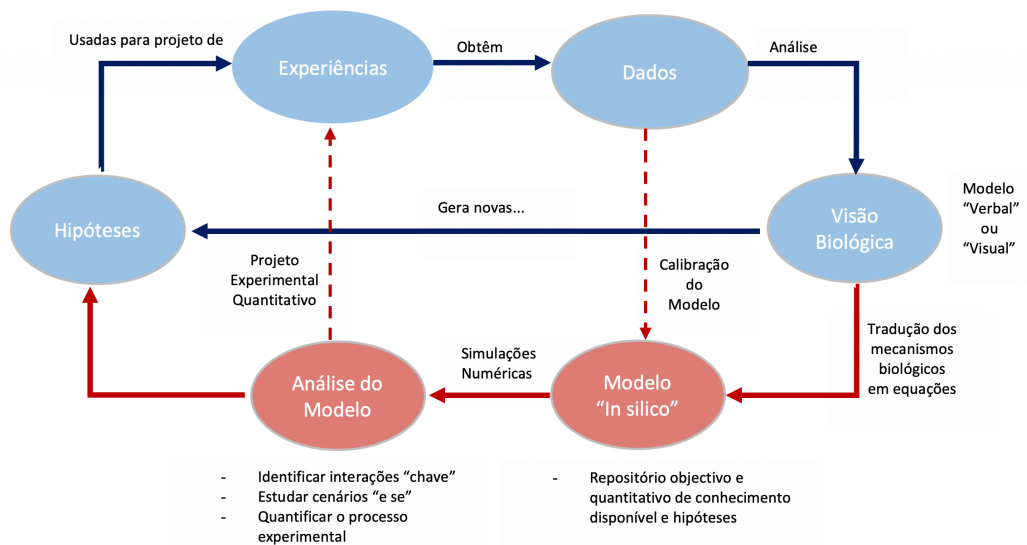


Figura 7 – Representação de um cenário geral de Reinforcement Learning, adaptado de [41]

3.5. Desafios Futuros dos Sistemas de Controlo

Da pesquisa realizada verifica-se que estão a emergir novas tendências de investigação na área de Sistemas e Controlo considerando a sua relevância e potencial para responder a grandes desafios sociais nas áreas dos transportes, energia, preservação de água, cuidados de saúde e manufatura, nomeadamente [37]:

- No que se refere ao sector dos transportes, agir na sua eficiência permite melhorar a qualidade do ar e água, reduzir o ruído, minimizar o efeito das alterações climáticas por libertação de gases, aumentar a segurança dos passageiros, entre outros, havendo, por isso, oportunidade para o desenvolvimento de sistemas de transporte inteligentes e automatizados, que utilizem motores elétricos ou híbridos;
- No que se refere ao sector da energia, onde se verifica uma procura crescente por alternativas sustentáveis, emana o tópico das redes inteligentes (*smart grids*). Estas redes consistem num sistema de energia com ação cibernética, desde a fonte de combustível até à geração, transmissão, distribuição e utilizador final, que permite a integração de fontes de energia renovável intermitentes que contribuem para descarbonizar os sistemas de energia e melhorar a sua eficiência energética;
- No que se refere à preservação da água potável, considerando as preocupações crescentes inerentes a uma deficiente utilização e aumento da sua escassez, identificam-se desafios na gestão de redes de água, quer seja para uso doméstico, agricultura ou indústria, através de estratégias de controlo distribuído e descentralizado, que aproximam modelos de controlo preditivo;
- Relativamente à área de cuidados de saúde, emanam desafios na área da modelação e análise de doenças permitindo uma investigação mais eficiente, rápida e focada da doença, com potencial impacto no seu tratamento e cura [42] (Figura 8);



- *Figura 8 - Modelo tradicional (parte de cima) vs. Modelo de Sistemas e Controlo (parte de baixo) na Investigação de Doenças, adaptado de [37]*

- No que concerne ao sector dos sistemas de manufatura, há oportunidades para melhoria da sua eficácia através da aplicação de estratégias de controlo moderno para substituição dos controladores PID clássicos. Modelos combinados de sistemas ciber-físicos podem melhorar as estratégias de monitorização e controlo. Adicionalmente, o tempo de inatividade não programado é um dos maiores custos evitáveis em qualquer operação de produção, portanto, melhores diagnósticos e uma manutenção preditiva otimizada podem resultar em ganhos consideráveis. Uma ação mais eficaz requer uma visão geral de toda a operação, desde a cadeia de fornecimento de matéria-prima, à produção e ao utilizador final.

Os desafios de inovação supramencionados consideram que até 2030 sejam explorados os seguintes tópicos com intervenção da área de Sistemas e Controlo, nomeadamente [37]:

- Sistemas de controlo distribuído em rede;
- Modelação dinâmica baseada em dados e controlo;
- Complexidade e controlo;
- Sistemas de infraestruturas críticas;
- Sistemas ciber-físicos de sistemas (CPSoS);
- Autonomia, cognição e controlo;
- Sistemas ciber-físicos e humanos (CPHS).

Por tudo o que foi referido anteriormente, verifica-se que a presente década apresenta uma grande oportunidade para o contributo e desenvolvimento da área de Sistemas e Controlo, drasticamente potenciado com o contributo massivo das técnicas de inteligência artificial, entre outras disciplinas [43], [44].

4. A Unidade Curricular de Teoria de Sistemas e Controlo

A unidade curricular de Teoria de Sistemas e Controlo é lecionada no 1º semestre do 2º ano com uma carga horária semanal de 4 horas, num formato de 2 horas teóricas e 2 horas teórico-práticas, conforme referido anteriormente.

4.1. Objetivos

Com esta unidade curricular pretende-se dotar o estudante de conhecimentos e práticas que lhe permitam analisar, modelar e implementar sistemas de controlo automático, potenciando assim o seu nível de produtividade profissional na conceção, manutenção e gestão de sistemas eletrónicos de controlo. No final do semestre o estudante deverá ser capaz de identificar os elementos fundamentais de um sistema de controlo, analisar e modelar matematicamente sistemas mecânicos, elétricos, eletromecânicos, térmicos e de nível de fluídos, bem como desenvolver capacidades para a correta sintonização dos parâmetros de controlo em malha fechada (ação proporcional, integral e derivativa (PID)). Por último, pretende-se que adquira alguns conceitos introdutórios sobre o funcionamento de sistemas de controlo por computador (discretos).

4.2. O *Dossier* da Unidade Curricular

Do *dossier* da unidade curricular, disponível na plataforma *Moodle* (<https://elearning.ipca.pt/>) para os estudantes inscritos na unidade curricular, faz parte a seguinte informação:

- Ficha de apresentação da unidade curricular;
- Coleção de diapositivos de apoio às aulas;
- Artigos científicos de interesse;
- Sítios *web* de ferramentas de apoio à aprendizagem;
- Coleção de exercícios propostos;
- Proposta de trabalho teórico-prático e de simulação;
- Enunciados de testes e exames (sem soluções);
- Resultados de avaliação nas diferentes épocas de avaliação;
- Sumários das aulas.

4.3. Ficha de Apresentação da Unidade Curricular

A ficha de apresentação da unidade curricular inclui os seguintes elementos:

- Objetivos;

- Conhecimentos e Competências a Adquirir;
- Conteúdos Programáticos;
- Bibliografia (principal/complementar);
- Demonstração da Coerência dos Conteúdos Programáticos com os Objetivos da Unidade Curricular;
- Metodologias de Ensino/Aprendizagem;
- Demonstração da Coerência das Metodologias de Ensino com os de Ensino/Aprendizagem;
- Metodologias de Avaliação;
- Ano Letivo, Docente Responsável, Área Disciplinar, Departamento;
- Plano de Estudos (curso, regime, semestre, ano curricular, ECTS, horas totais, horário de funcionamento);
- Equipa Docente.

O **anexo A** inclui a Ficha de Apresentação da Unidade Curricular de Teoria de Sistemas e Controlo para o ano letivo 2016/2017 (último ano em que o autor lecionou a unidade curricular, conforme referido previamente).

4.4. Conteúdo Programático

O **anexo B** apresenta alguns programas de unidade curriculares similares à de Teoria de Sistemas e Controlo a funcionar noutros cursos e instituições de ensino superior (IES) portuguesas e internacionais, em planos de estudos essencialmente de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. No âmbito nacional consideraram-se IES do ensino universitário, bem como do ensino politécnico.

Da análise efetuada aos programas de unidades curriculares similares à de Teoria de Sistemas e Controlo, em termos nacionais e internacionais, constata-se que estas se encontram, maioritariamente, numa fase mais avançada dos planos de estudo das IES universitárias nacionais ou internacionais. Já nas IES politécnicas nacionais verifica-se que se encontram, essencialmente, no 2º ano dos planos de estudo, tal como a unidade curricular apresentada neste relatório. De referir que nos cursos das IES politécnicas nacionais os estudantes, tipicamente, ingressam no mercado de trabalho imediatamente após a conclusão da licenciatura de 3 anos e que apenas uma parte dos estudantes realiza um curso de mestrado, nesses casos, em regime pós-laboral (regime tipicamente oferecido nos cursos de mestrado das

IES politécnicas nacionais), em comparação com os estudantes dos cursos das IES universitárias nacionais, os quais tendencialmente realizam a licenciatura e o mestrado de forma consecutiva no regime laboral, garantindo-se assim uma formação de 5 anos contínua para uma parte significativa dos estudantes. Esta tendencialmente menor duração da formação nas IES politécnicas antes da entrada no mercado de trabalho dos graduados, leva a que os conceitos de Teoria de Sistemas e Controlo sejam introduzidos no curso mais cedo, com o objetivo de potenciar e maximizar a sua aplicação até ao estágio/projeto final de curso e posterior capacitação da sua aplicação pelos graduados, no exercício da profissão de engenheiro eletrotécnico e de computadores. Adicionalmente, verifica-se também que nas IES nacionais a carga letiva varia de 4 a 5 horas por semana, considerando de entre 2 a 3 horas teóricas semanais, conjugadas geralmente com 2 horas de práticas laboratoriais semanais ou 2 horas teórico-práticas semanais, o que se verifica também para a unidade curricular de Teoria de Sistemas e Controlo (2 horas teóricas e 2 horas teórico-práticas semanais, como referido anteriormente). Em alguns casos são conjugadas horas teóricas, teórico-práticas e de práticas laboratoriais. No caso da unidade curricular de Teoria de Sistemas e Controlo, embora não possua horas específicas dedicadas à componente de práticas laboratoriais, são disponibilizadas ferramentas de simulação e de apoio ao ensino (como a plataforma *Control System Academy* ou *SimLab*) [45], [46], bem como realizados trabalhos teórico-práticos e de simulação, com o objetivo de minimizar o impacto da ausência das mesmas. O número de créditos das unidades curriculares varia de 5 a 7.5 ECTS, sendo na grande maioria das IES analisadas de 6 ECTS, número que se verifica para a unidade curricular de Teoria de Sistemas e Controlo. Embora não se tenha encontrado informação disponível relativamente à carga letiva semanal das unidades curriculares da maioria das IES estrangeiras analisadas, considerando o número de ECTS das mesmas, pode assumir-se que se situarão nos intervalos verificados nas unidades curriculares das IES nacionais.

Dos diferentes programas das unidades curriculares analisados, quer a nível nacional, quer a nível internacional, identifica-se uma grande convergência dos conteúdos considerados no programa da unidade curricular de Teoria de Sistemas e Controlo, nomeadamente nos tópicos de: Introdução ao Controlo de Processos, Ferramentas Matemáticas para Análise de Sistemas de Controlo, Modelação de Sistemas, Análise da Resposta Transitória, Ações Básicas de Controlo e Resposta de Sistemas de Controlo. No que se refere ao tópico de Sistemas de Controlo por Computador ou Controlo Digital verifica-se que o mesmo é abordado essencialmente nas IES politécnicas nacionais, dado que nas IES universitárias nacionais é posteriormente incluído em unidades curriculares específicas de Controlo Digital nos anos subsequentes (cursos de

mestrado) dos planos de estudo. Verifica-se que nas unidades curriculares dos cursos de *Bachelors* das IES estrangeiras analisadas, o tópico não é incluído, sendo abordado de forma distribuída em outras unidades curriculares dos cursos, contudo é-o no curso de *Double Degree Major* apresentado pela *Curtin University*.

O programa proposto para a unidade curricular de Teoria de Sistemas e Controlo está organizado pelos conteúdos apresentados a seguir, os quais o autor considera ser fundamentais para a formação de base, na área do Controlo, de um graduado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, nomeadamente:

- ***Introdução ao Controlo de Processos***

O que é o Controlo de Processos Automático. Os problemas dos Sistemas Manuais de Controlo. Constituição de um Sistema de Controlo. Termos importantes em Controlo de Processos. Objetivo e Importância dos Sistemas de Controlo Automático de Processos. Controlo Regulador e Servo Controlo. Sinais de Transmissão. Estratégias de Controlo. Conhecimentos Necessários para o Controlo de Processos.

Neste capítulo pretende-se, essencialmente, que o estudante compreenda de forma geral o que é um sistema de controlo, como é constituído um sistema de controlo, bem como as principais estratégias de controlo utilizadas, quer na indústria, quer em sistemas domésticos. São apresentados exemplos comuns de sistemas de controlo. No final do capítulo são propostos exercícios utilizando sistemas conhecidos de controlo, nos quais os estudantes devem identificar a estratégia de controlo utilizada, bem como os elementos de medida, decisão e funções de ação no sistema de controlo.

O nível de compreensão e aquisição de conhecimento dos estudantes neste capítulo costuma ser bastante positivo. Este capítulo decorre ao longo de 3 sessões (uma semana e meia).

- ***Ferramentas Matemáticas para Análise de Sistemas de Controlo***

Revisões: Definição de Transformada de Laplace. Principais Funções de Entrada de Processos. Transformada de Laplace de Funções Comuns. Propriedades da Transformada de Laplace. Solução de Equações Diferenciais Utilizando a Transformada de Laplace. Inversão por Expansão de Frações Parciais. Atrasos na Resposta. Números Complexos. Operações com Números Complexos.

Neste capítulo efetuam-se revisões sobre os principais tópicos matemáticos necessários para a resolução analítica dos problemas de controlo, com especial incidência na Transformada de Laplace e sua aplicação na resolução de equações diferenciais. Ao longo do capítulo são efetuados exercícios de aplicação para uma melhor compreensão dos estudantes. Verifica-se que os estudantes costumam apresentar algumas dificuldades na sistematização dos métodos matemáticos, os quais após a resolução de alguns exercícios são tipicamente ultrapassados. Este capítulo decorre ao longo de 5 sessões (duas semanas e meia).

- **Modelação de Sistemas**

Função de Transferência. Representação de Sistemas em Diagramas de Blocos. Representação em Espaço de Estados. Modelação de Sistemas Eléctricos e Electrónicos, Sistemas de Controlo de Nível de Líquidos, Sistemas Térmicos, Sistemas Mecânicos - Translacionais e Rotacionais.

Neste capítulo é explicado inicialmente o conceito de função de transferência, bem como a forma de representação gráfica de sistemas de controlo em diagramas de blocos, mas também na forma matricial, em espaço de estados. Seguidamente, explica-se como proceder à modelação matemática de diferentes tipos de sistemas (eléctricos/electrónicos, mecânicos, térmicos ou hidráulicos) utilizando leis da física. Pretende-se que os estudantes sejam capazes de descrever estes sistemas através de equações diferenciais. Pela elevada multidisciplinariedade de conhecimentos necessários, os estudantes costumam apresentar dificuldades na compreensão deste capítulo. Contudo, a realização sistemática de exercícios ao longo das sessões permite mitigar esta dificuldade e aumentar o nível de autonomia dos estudantes na modelação dos sistemas. Este capítulo decorre ao longo de 8 sessões (quatro semanas), sendo o capítulo de maior duração.

- **Análise da Resposta Transitória**

Sinais de Teste Típicos. Resposta Transitória e Resposta em Estado Estável. Estabilidade. Estabilidade Relativa e Erro em Estado Estável. Sistemas de Primeira Ordem. Resposta ao Degrau Unitário. Resposta à Rampa Unitária. Resposta ao Impulso Unitário. Comparação entre as Respostas às Entradas. Sistemas de Segunda Ordem. Resposta ao Degrau Unitário. Definição das Especificações da Resposta Transitória. Resposta ao Impulso Unitário. Análise da Resposta Transitória Utilizando a Ferramenta Matlab. Método de Routh-Hurwitz. Diagrama do Lugar Geométrico de Raízes (LGR).

Neste capítulo são apresentados os principais sinais de entrada utilizados em sistemas de controlo, bem como a definição de resposta transitória e em estado estável de um sistema. Os diferentes tipos de classificação de estabilidade, bem como a noção de erro em estado estável são também apresentados. Seguidamente, descrevem-se e comparam-se as respostas ao impulso unitário, degrau unitário e rampa unitária em sistemas de primeira ordem. A classificação de sistemas de segunda ordem, em termos de amortecimento é subsequentemente descrita, assim como a resposta destes sistemas ao impulso unitário e ao degrau unitário. Definem-se também as especificações da resposta transitória. Por último, são apresentadas as regras para a construção do LGR. Ao longo das sessões são realizados vários exercícios de aplicação dos conceitos transmitidos que permitem uma melhor compreensão dos mesmos pelos estudantes. A utilização da ferramenta *Matlab* inicia-se neste capítulo potenciando a motivação dos estudantes e permitindo uma maior correlação entre os conceitos apresentados até então. Este capítulo decorre ao longo de 4 sessões (duas semanas).

- **Ações Básicas de Controlo e Resposta de Sistemas de Controlo**

Classificação de Controladores. Ação de Controlo On/Off. Ação de Controlo Proporcional. Ação de Controlo Integral. Ação de Controlo Proporcional - Integral. Ação de Controlo Proporcional - Derivativa. Ação de Controlo Proporcional - Integral - Derivativa (PID). Efeitos da Ação de Controlo Integral no Desempenho de um Sistema. Resposta de um Sistema com Ação Proporcional, com Perturbação. Resposta de um Sistema Proporcional - Integral, com Perturbação. Regras de Sintonização de Controladores Proporcional - Integral - Derivativo.

Neste capítulo pretende-se que os estudantes sejam capazes de projetar um controlador *On/Off*, bem como um controlador PID, conhecendo o impacto e influência das ações proporcional, integral e derivativa. Descreve-se também o processo de sintonização do controlador PID através das regras de *Ziegler-Nichols*. Ao longo do capítulo são realizados vários exercícios, quer de forma analítica, quer através da utilização da ferramenta *Matlab*. Nesta fase, através dos assuntos introduzidos até então, os quais permitem compreender de forma mais completa os sistemas de controlo e implementar computacionalmente os mesmos, a motivação dos estudantes costuma ser bastante elevada, potenciando a sua aprendizagem. Este capítulo decorre ao longo de 4 sessões (duas semanas).

- **Sistemas de Controlo por Computador**

Constituição de um Sistema de Controlo de Processos por Computador. Cálculo da Ação de Controlo por Computador. Teoria da Amostragem. Transformada Z. Transformada Z de Funções

Comuns. Efeito do Tempo de Atraso num Sistema de Amostragem. Teoremas da Transformada Z. Expansão em Frações Parciais. Dispositivos de Holding. Sistemas em Malha Fechada. Estabilidade no Plano Z.

Neste capítulo faz-se a transição de sistemas de controlo contínuos para sistemas discretos. É explicado o teorema da amostragem, bem como a definição de transformada Z, suas funções e teoremas. Descreve-se a utilização do retentor de ordem zero e sua implicação na função de transferência de um sistema em malha fechada. Por último, caracteriza-se a estabilidade de um sistema discreto no plano Z, em malha aberta e em malha fechada. Ao longo do capítulo são realizados exercícios quer de forma analítica, quer através da ferramenta *Matlab*. O capítulo decorre ao longo de 2 sessões (1 semana). Dado o reduzido tempo disponível para o capítulo, pretende-se que este apresente, de forma geral, como são constituídos e implementados os sistemas de controlo discretos, fornecendo aos estudantes as principais noções e conceitos sobre mesmos, para que posteriormente consigam desenvolver e compreender a sua utilização de forma autónoma. Por se tratar do último capítulo da unidade curricular, quando surgem impedimentos que não permitem a lecionação de todas as aulas previstas, a sua lecionação não ocorre, sendo nesse caso fornecido, aos estudantes, material de apoio, incluindo simuladores e material de apoio *web*, que lhes permita adquirir o conhecimento desejado e minimizando o impacto do que seria transmitido presencialmente.

O planeamento temporal dos conteúdos programáticos considera um semestre com uma duração típica de 15 semanas, no qual duas semanas são utilizadas para acompanhamento de trabalhos de grupo e avaliações. Caso o semestre tenha uma duração diferente ou ocorram constrangimentos que impeçam a lecionação de todas as aulas previstas fazem-se os ajustes considerados necessários para minimizar o impacto na aprendizagem dos estudantes, conforme referido anteriormente.

4.5. Funcionamento das Aulas

A unidade curricular de Teoria de Sistemas e Controlo tem atribuída uma carga horária semanal de 4 horas, distribuídas entre 2 horas teóricas e 2 horas teórico-práticas, conforme referido anteriormente. Contudo, é considerado um regime “híbrido” nas sessões, acompanhando-se a apresentação de conceitos teóricos com a aplicação de exemplos e exercícios práticos. Assim, ao longo dos diferentes capítulos que fazem parte do programa da unidade curricular, a

apresentação e explanação dos aspetos teóricos é, sempre que considerado importante, complementada com a resolução de problemas e exercícios.

A componente teórica das sessões permite adquirir o conhecimento e as metodologias que proporcionam as ferramentas necessárias para a realização de problemas na componente teórico-prática das sessões, assim como para o trabalho teórico-prático e de simulação a desenvolver ao longo do semestre. Simultaneamente permite orientar os estudantes na busca de conhecimento complementar ao que é apresentado nas sessões. Nestas sessões é privilegiado o método expositivo, procurando-se uma interação direta do professor com os estudantes em sala e o envolvimento e a participação destes na discussão dos assuntos estudados. Este método é apoiado pela apresentação de conteúdos baseada em diapositivos, passível de integração com a bibliografia recomendada e com outros elementos como o estudo de casos de aplicação e de artigos científicos de interesse. A participação dos estudantes nas sessões é também estimulada através de questões que são colocadas pelo professor para reflexão e discussão de casos de aplicação, procurando captar e explorar as diversas perspetivas que surgem na discussão estimulando o espírito crítico dos estudantes.

Na componente teórico-prática das sessões são realizados, inicialmente, exercícios pelo professor, a título demonstrativo, os quais os estudantes acompanham, esclarecendo as dúvidas existentes. Posteriormente, são apresentados novos exercícios para resolução pelos estudantes de forma individual ou em grupo, os quais o docente vai acompanhando circulando pela sala. No final um estudante ou o docente apresenta a resolução do exercício no quadro. Esta abordagem permite aos estudantes o desenvolvimento de competências de trabalho autónomo e em grupo, estimulando a sua participação ativa nas sessões.

No ano letivo 2016/2017, último ano em que o autor lecionou a unidade curricular (como previamente referido), embora a assiduidade das aulas não fosse um elemento de avaliação, dos 16 estudantes inscritos na unidade curricular, verificou-se uma média de assistência de 14,7 estudantes, o que corresponde a uma presença superior a 90% dos estudantes inscritos. Este elevado valor leva a crer que os estudantes consideraram como fundamental para a sua aprendizagem a participação nas sessões.

O autor considera que da forma descrita são adotadas as técnicas e métodos mais adequados às características da unidade curricular, de forma a serem atingidos os objetivos definidos para a unidade curricular e alcançados os resultados de aprendizagem.

4.6. Recursos

A leção é assegurada por um único docente. Relativamente aos espaços físicos, é adequada uma sala de aulas que facilite a interação entre o docente e os estudantes, preferindo-se uma sala com mesas e cadeiras, em detrimento de um auditório, equipada com tomadas onde os estudantes possam ligar os seus computadores portáteis e ter acesso à *web*. Deve possuir um quadro *didax* e um vídeo-projetor.

Relativamente aos recursos bibliográficos, o docente disponibiliza os diapositivos de apoio, e faculta o acesso à bibliografia que existe na biblioteca. Quanto aos artigos científicos de leitura recomendada, estão tipicamente acessíveis através da *B-On* [47]. São também recomendados simuladores e material de apoio da *web* (como a plataforma *Control System Academy* ou *SimLab*, previamente referidos) [45], [46].

4.7. Medida de Esforço

À unidade curricular de Teoria de Sistemas e Controlo correspondem, como referido anteriormente, 6 ECTS, ou seja, representa aproximadamente um esforço de 160 horas totais de trabalho por parte do estudante. Considerando uma carga letiva semanal de quatro horas, durante quinze semanas, perfazendo 60 horas de contacto com o docente, estima-se assim que um estudante deva dedicar cerca de 100 horas adicionais de estudo e trabalho autónomo, onde se inclui a realização do trabalho teórico-prático e de simulação a ser desenvolvido ao longo do semestre.

4.8. Documentação de Apoio

No âmbito da unidade curricular de Teoria de Sistemas e Controlo são várias as referências bibliográficas que poderiam ser consideradas. Contudo, com o objetivo de garantir uma maior convergência de estudo junto dos estudantes, são indicados dois manuais como bibliografia principal, um dedicado aos sistemas contínuos e outro dedicado aos sistemas discretos. Estes manuais fazem parte das referências bibliográficas da maior parte dos programas de unidades curriculares similares, quer a nível nacional, quer a nível internacional, podendo ser considerados como as “bíblis” da área. Para além destes manuais são também disponibilizados os dispositivos do autor utilizados durante as aulas. Os estudantes poderão também, se o desejarem, procurar outras referências disponíveis, quer fisicamente na biblioteca, quer digitalmente na *web*.

O manual “*Modern Control Engineering*”, 4th edition, de K. Ogata, da editora Prentice-Hall, 2001, é assumido como o livro de texto da unidade curricular para os sistemas contínuos. Trata-se de um manual de fácil leitura e compreensão, apresentando ao longo do texto bastantes exercícios resolvidos, e por resolver, quer de forma analítica, quer de forma computacional, utilizando o *Matlab*. A abordagem bastante objetiva e aplicacional do manual permite suportar uma aprendizagem completa dos estudantes. Recomenda-se, em particular, a leitura dos capítulos: 1 - “*Introduction to Control Systems*”, 2 - “*The Laplace Transform*”, 3 - “*Mathematical Modeling of Dynamic Systems*”, 4 - “*Mathematical Modeling of Fluid Systems and Thermal Systems*”, 5 – “*Transient and Steady-State Response Analysis*”, 6 - “*Root-Locus Analysis*” e 10 – “*PID Controls and Two-Degrees-of-Freedom Control Systems*” [48].

O manual “*Computer-Controlled Systems: Theory and Design*”, 3rd edition, de K. Aström and B. Wittenmark, da editora Prentice-Hall, 1996, é assumido como o livro de texto da unidade curricular para os sistemas discretos. Assim, como o manual anterior, é também de leitura acessível, com exemplos e exercícios resolvidos, bem como por resolver. Recomenda-se, em particular, a leitura dos capítulos: 1 - “*Computer Control*”, 2 - “*Discrete-Time Systems*” e 3 - “*Analysis of Discrete-Time Systems*” [49].

São também recomendados, como bibliografia complementar os seguintes manuais:

- Ogata, K. (1992), “*System Dynamics*”, 2nd edition, Prentice-Hall, New Jersey;
- Smith, C. & Corripio, A. (1997), “*Principles and Practice of Automatic Process Control*”, 2nd edition, Wiley, New York;
- Houpis, C. & Lamont, G. (1992), “*Digital Control Systems*”, 2nd edition, Mc-Graw Hill, Singapore.

Como apoio, disponibiliza-se a “*Coleção de Transparências da Unidade Curricular de Teoria de Sistemas e Controlo*”, 2005, bem como a “*Ficha de Exercícios de Matlab/Simulink*”, 2013, elaborados pelo autor, e recomenda-se o uso de simuladores (<http://www.controlsystemsacademy.com/index.html>) e material de apoio da *web* (<http://dei-s2.dei.uminho.pt/labsim/SimLab/controlo.html>), conforme previamente referido.

4.9. Avaliação

A metodologia e critérios de avaliação são definidos na 1^a aula do semestre, com a concordância dos estudantes e docente, sendo similares para todos os estudantes inscritos na unidade

curricular, quer pela primeira vez, quer com mais do que uma inscrição, quer estudantes Erasmus ou internacionais.

A classificação final dos estudantes na época de avaliação contínua é obtida com base nos seguintes elementos de avaliação:

1. prova escrita - classificação mínima de 8/20 valores;
2. trabalho teórico-prático e de simulação em grupo - classificação mínima de 8/20 valores.

O estudante será aprovado à unidade curricular quando a média dos dois elementos de avaliação for maior ou igual a 9.5/20 valores. Poderá também submeter-se a exame da Época de Recurso e/ou de Época Especial caso não obtenha aprovação na época de avaliação contínua, ou pretenda melhorar a classificação.

4.9.1. Prova de Avaliação Escrita

A prova de avaliação considera vários grupos de questões de aplicação prática sobre os conteúdos programáticos abordados. A resposta a cada uma das questões envolve uma resolução analítica, clara e objetiva.

A prova é realizada com consulta de suportes documentais físicos que o estudante pretenda trazer, não sendo permitido o uso de computador ou acesso à internet. Em cada questão ou alínea da prova é indicada a cotação em valores numa escala de 0 a 20, obtendo-se a classificação final da prova através da soma das diferentes pontuações obtidas em cada uma das questões/alíneas da prova. Sempre que possível, utiliza-se uma abordagem de correção que considere a independência entre as respostas das diferentes alíneas.

A duração máxima da prova é de 90 minutos, não sendo permitida tolerância. Considerando que se trata de uma prova com consulta, o tempo de realização da mesma acaba por ser também uma forma indireta de avaliação. A nota mínima da prova é de 8 valores, a qual é ponderada com a classificação do trabalho teórico-prático e de simulação descrito a seguir. Conforme referido anteriormente, a aprovação requer uma média ponderada de 9.5 valores e a não aprovação permite acesso ao exame da Época de Recurso e/ou exame da Época Especial, o qual abrange todos os conteúdos programáticos.

O **anexo C** apresenta, como exemplo, uma prova de avaliação escrita, um enunciado de exame e um enunciado de um trabalho teórico-prático e de simulação (descrito a seguir), referentes ao ano letivo 2016/2017.

4.9.2. Trabalho Teórico-prático e de Simulação

No trabalho teórico-prático e de simulação pretende-se que um grupo de até 3 estudantes escolha um sistema de 2ª ordem, no qual deve, de forma analítica:

- a) Modelar matematicamente o sistema no domínio de Laplace considerando a relação entre o parâmetro de saída escolhido e o parâmetro de entrada;
- b) Aplicar uma entrada em degrau unitário e calcular a resposta da saída do sistema no domínio do tempo;
- c) Considerar uma perturbação no sistema que resulte na inclusão de um integrador duplo na função de transferência da planta e aplicar as regras de *Ziegler-Nichols* para sintonizar corretamente um controlador PID a aplicar no sistema;
- d) Calcular a atenuação, a frequência natural não amortecida e o fator de amortecimento, para a função de transferência do sistema, classificando o mesmo em termos de amortecimento.

Seguidamente, utilizando uma ferramenta computacional, à sua escolha, deve:

- a) Obter a representação gráfica da saída do sistema para o degrau unitário em malha aberta (condições da alínea b anterior);
- b) Obter a representação gráfica da saída do sistema para o degrau unitário em malha fechada (condições da alínea c anterior).

O trabalho é apresentado e defendido em sala de aula pelo grupo de estudantes, sendo que após a discussão dispõem de um prazo de 48 horas para entregar um relatório final do trabalho, considerando as sugestões e correções indicadas pelo docente no momento da defesa. Pretende-se assim tornar a defesa do trabalho num momento pedagógico e de aprendizagem, permitindo aos estudantes melhorar ainda a sua classificação após a mesma (relatório que leva em linha de conta a discussão do trabalho e os *inputs* do docente). Na nota final do trabalho poderão resultar diferentes classificações para cada estudante, do grupo de trabalho, em função do desempenho individual na discussão efetuada.

A nota mínima no trabalho teórico-prático e de simulação é de 8 valores em 20 possíveis, a qual é ponderada com a classificação da prova de avaliação, conforme referido anteriormente.

4.10. Resultados de Avaliação dos Estudantes

A Tabela 1 apresenta os resultados de avaliação dos estudantes nos três últimos anos em que o autor lecionou a unidade curricular, do ano letivo 2014/15 ao ano letivo 2016/17. São apresentados o número de alunos inscritos (In), a razão (%) entre o número de alunos avaliados face ao número de alunos inscritos (Av/In), a razão (%) entre o número de alunos aprovados face ao número de alunos inscritos (Ap/In) e, por último, a razão (%) entre o número de alunos aprovados face ao número de alunos avaliados (Ap/Av).

Tabela 1-Índices de Aprovação e Número de Inscritos da Unidade Curricular entre 2014-2017

| Ano letivo | Número Alunos Inscritos (In) | Rácio Alunos | Rácio Alunos | Rácio Alunos |
|------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | | Avaliados/Inscritos (Av)/(In) % | Aprovados/Inscritos (Ap)/(In) % | Aprovados/Avaliados (Ap)/(Av) % |
| 2014/15 | 19 | 90 | 84 | 94 |
| 2015/16 | 29 | 76 | 59 | 77 |
| 2016/17 | 16 | 88 | 88 | 100 |

A Figura 9 apresenta a evolução (%) dos rácios de avaliação (Av/In; Ap/In; Ap/Av) da unidade curricular compreendida entre o ano letivo 2014/15 e o ano letivo 2016/17.

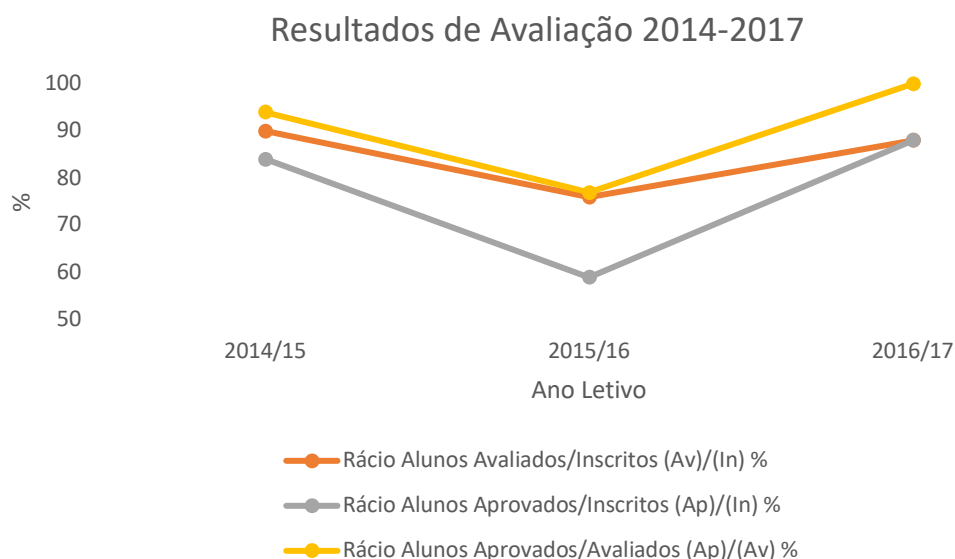


Figura 9 - Evolução (%) dos Rácios de Avaliação entre 2014-2017

A Figura 10 apresenta a evolução do número de alunos inscritos (In) da unidade curricular compreendida entre o ano letivo 2014/15 e o ano letivo 2016/17. Importa referir que o número

de vagas anual do curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores no concurso nacional de acesso ao ensino superior é de 25.

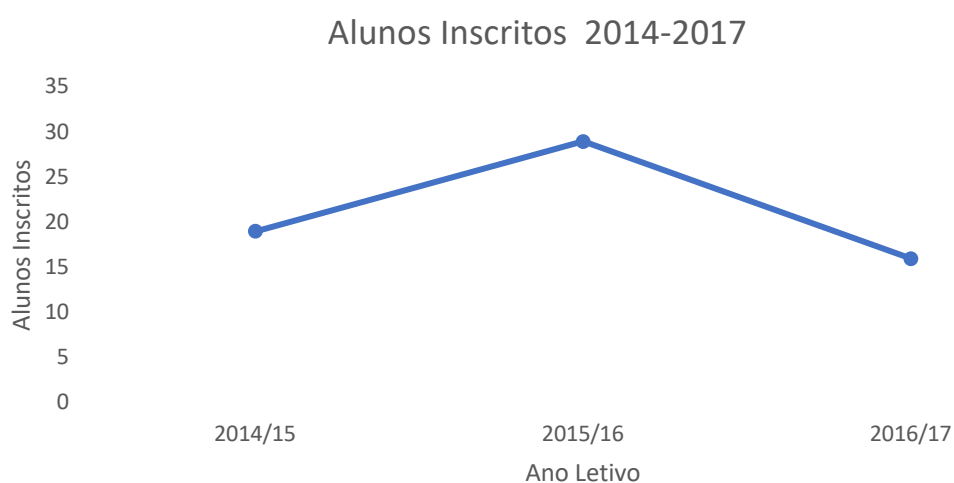


Figura 10 - Evolução no Número de Alunos Inscritos entre 2014-2017

Observando a Tabela 1, a Figura 9 e a Figura 10, verifica-se que os níveis de aprovação da unidade curricular são bastante positivos, variando entre 59% e 88% para o rácio Ap/In e entre 77% e 100% para o rácio Ap/Av. No que se refere ao rácio Av/In, variável entre 76% e 90%, embora com um nível relativamente alto, importa perceber os motivos que levam estudantes inscritos a não realizar qualquer elemento de avaliação, verificando-se tratarem-se essencialmente de casos de entre os seguintes grupos: trabalhadores estudantes e por isso com menor disponibilidade e por vezes menor assiduidade, estudantes repetentes e por isso com possibilidade de sobreposição de horário a outras unidades curriculares e estudantes Erasmus, por vezes com menor assiduidade. No caso do ano letivo 2016/17 trataram-se de 2 estudantes, um repetente e um Erasmus.

No ano letivo 2016/2017 as médias do, 2º ano do curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, a todas as unidades curriculares, do curso para todos os anos considerando todas as unidades curriculares, e da Escola Superior de Tecnologia do IPCA, para todos os cursos, com todas as unidades curriculares, para os rácios (%) Av/In, Ap/In e Ap/Av são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Índices de Aprovação (%) do 2º ano do curso, do curso e da Escola no ano letivo 2016/17

| Ano letivo 2016/17 | Rácio Alunos | Rácio Alunos | Rácio Alunos |
|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | Avaliados/Inscritos | Aprovados/Inscritos | Aprovados/Avaliados |
| | (Av)/(In) % | (Ap)/(In) % | (Ap)/(Av) % |
| Média do 2º ano | 85 | 70 | 83 |
| Média do curso | 86 | 75 | 87 |
| Média da Escola | 87 | 76 | 89 |

Pela análise da Tabela 2 verifica-se que os índices de aprovação do 2º ano do curso, do curso no seu geral, e de todos os cursos da escola, apresentam também eles níveis bastante positivos. Contudo, a unidade curricular de Teoria de Sistemas e Controlo apresenta, ainda assim, índices de aprovação superiores aos níveis médios, não se tratando por isso de uma unidade curricular sinalizada.

Parece haver também uma relação inversa entre o número de alunos inscritos e os níveis de aprovação da unidade curricular, sendo que de entre os 3 anos letivos analisados o que apresenta melhor desempenho (ano letivo 2016/17), ocorre precisamente quando o número de alunos inscritos é menor e vice-versa, para o ano letivo 2015/2016. Tal facto pode ser facilmente explicado pela maior disponibilidade de tempo do docente para acompanhar individualmente cada estudante no ano letivo 2016/17 (1 docente para 16 estudantes), que proporcionalmente se reduz praticamente para metade no ano letivo 2015/2016 (1 docente para 29 estudantes). Esta observação motiva o autor para continuar a desenvolver ferramentas e implementar estratégias de ensino/aprendizagem que permitam aumentar os níveis de aprovação da unidade curricular perante um maior número de estudantes inscritos.

4.11. Avaliação Pedagógica do Docente, Unidade Curricular e do Envolvimento do Estudante

No âmbito do Gabinete para a Avaliação e Qualidade [50], em funcionamento desde 2012, o IPCA possui um modelo de avaliação da dimensão do ensino e aprendizagem, por processos, do qual faz parte a realização de inquéritos de avaliação pedagógica, os quais abordam as dimensões de [51]:

- Funcionamento da unidade curricular;
- Desempenho pedagógico do docente;
- Envolvimento do estudante no processo de ensino e aprendizagem.

Estes inquéritos, realizados *online* no final de cada semestre para todas as unidades curriculares do IPCA, são um importante instrumento do sistema interno de garantia da qualidade do processo de ensino e aprendizagem. A informação fornecida pelos questionários permite acompanhar o funcionamento de cada unidade curricular possibilitando, aos responsáveis pela gestão pedagógica, identificar as fragilidades/sucessos das mesmas, e dos respetivos cursos, e a definição das ações de melhoria necessárias à garantia de um ensino de qualidade. Adicionalmente, este momento de avaliação permite também aos estudantes intervir de forma ativa e construtiva na melhoria contínua do processo de ensino e aprendizagem.

As respostas recolhidas são obrigatórias, anónimas e devem ter relevância estatística para serem consideradas (critérios IPCA: estudantes com frequência a pelo menos 1/3 aulas, número de estudantes que respondem igual ou superior 6 e não inferior a 30% dos inscritos [51]), sendo enviadas para conhecimento do docente e dos responsáveis pedagógicos do IPCA, em tempo útil.

O **anexo D** apresenta os resultados do questionário de avaliação pedagógica realizados para a unidade curricular de Teoria de Sistemas e Controlo, no último ano em que o autor lecionou a unidade curricular (ano letivo 2016/2017).

5. Atualização do Programa da Unidade Curricular de Teoria de Sistemas e Controlo

Considerando a rápida proliferação de utilização de técnicas de inteligência artificial aplicadas nos vários domínios da sociedade, nomeadamente no âmbito da engenharia, e concretamente na área do Controlo, o autor considera fundamental que o futuro engenheiro Eletrotécnico e de Computadores adquira conhecimentos introdutórios sobre a utilização da categoria de *Reinforcement Learning* em estratégias de Controlo. Assim, os objetivos da unidade curricular foram reformulados e passaram a incluir o “Conhecimento e capacidade de aplicação de algoritmos de *Reinforcement Learning* em sistemas de controlo.” Partindo desta motivação e fruto da experiência do autor adquirida na lecionação desta unidade curricular ao longo de mais de 10 anos, efetuaram-se também outras alterações, quer nos conteúdos programáticos, quer no número de sessões dedicadas aos mesmos, nomeadamente:

- No que se refere ao capítulo de “Introdução ao Controlo de Processos”, reduziu-se o número de sessões de 3 para 2, por se considerarem suficientes para abordar os tópicos introdutórios listados;
- Os conceitos apresentados no capítulo de “Ferramentas Matemáticas para Análise de Sistemas de Controlo” - nos quais é feita a revisão de conceitos matemáticos - foram incluídos como tópico inicial do capítulo de “Modelação de Sistemas”, mantendo-se o número de 8 sessões dedicadas ao capítulo;
- No capítulo de “Análise de Resposta Transitória”, aumentaram-se 2 sessões - passando o mesmo a ter 6 sessões - o que permite reforçar o número de horas de contacto dedicadas ao capítulo e assim contribuir para uma melhor consolidação dos conteúdos pelos estudantes. Igual ação foi tida para o capítulo de “Ações Básicas de Controlo e Resposta de Sistemas de Controlo”.
- Por último, substituiu-se o capítulo de “Sistemas de Controlo de Computador” pelo capítulo de “Introdução ao *Reinforcement Learning*”, composto por um total de 4 sessões. Esta opção tem por base capacitar o estudante - embora que de forma introdutória – do elevado potencial de aplicação real da abordagem de *Reinforcement Learning*, quer na resolução de problemas complexos, quer na melhoria da performance dos métodos de controlo tradicionais.

Os conteúdos programáticos de cada capítulo, bem como o número de sessões dedicadas aos mesmos são agora:

- **Introdução ao Controle de Processos**

O que é o Controle de Processos Automático. Os problemas dos Sistemas Manuais de Controle. Constituição de um Sistema de Controle. Termos importantes em Controle de Processos. Objetivo e Importância dos Sistemas de Controle Automático de Processos. Controle Regulador e Servo Controle. Sinais de Transmissão. Estratégias de Controle. Conhecimentos Necessários para o Controle de Processos. (2 sessões)

- **Modelação de Sistemas**

Revisões sobre Transformadas de Laplace e Números Complexos. Função de Transferência. Representação de Sistemas em Diagramas de Blocos. Representação em Espaço de Estados. Modelação de Sistemas Elétricos e Eletrônicos, Sistemas de Controle de Nível de Líquidos, Sistemas Térmicos, Sistemas Mecânicos - Translacionais e Rotacionais. (8 sessões)

- **Análise da Resposta Transitória**

Sinais de Teste Típicos. Resposta Transitória e Resposta em Estado Estável. Estabilidade. Estabilidade Relativa e Erro em Estado Estável. Sistemas de Primeira Ordem. Resposta ao Degrau Unitário. Resposta à Rampa Unitária. Resposta ao Impulso Unitário. Comparação entre as Respostas às Entradas. Sistemas de Segunda Ordem. Resposta ao Degrau Unitário. Definição das Especificações da Resposta Transitória. Resposta ao Impulso Unitário. Análise da Resposta Transitória Utilizando a Ferramenta Matlab. Método de Routh - Hurwitz. Diagrama do Lugar Geométrico de Raízes (LGR). (6 sessões)

- **Ações Básicas de Controle e Resposta de Sistemas de Controle**

Classificação de Controladores. Ação de Controle On/Off. Ação de Controle Proporcional. Ação de Controle Integral. Ação de Controle Proporcional - Integral. Ação de Controle Proporcional - Derivativa. Ação de Controle Proporcional - Integral - Derivativa (PID). Efeitos da Ação de Controle Integral no Desempenho de um Sistema. Resposta de um Sistema com Ação Proporcional, com Perturbação. Resposta de um Sistema Proporcional - Integral, com Perturbação. Regras de Sintonização de Controladores Proporcional – Integral - Derivativo. (6 sessões)

Introdução ao “Reinforcement Learning”

Conceitos Introdutórios de “Reinforcement Learning”. Recompensa e Estruturas de “Policy”. Treino e Depuração de Algoritmos de Aprendizagem. A Utilização do Matlab e Simulink para “Reinforcement Learning”. (4 sessões)

Neste capítulo transmitem-se primeiramente os conceitos fundamentais necessários para compreender o “Reinforcement Learning”, comparando-o com o projeto de sistemas de controlo tradicionais. Distingue-se entre aprendizagem supervisionada, não supervisionada e “Reinforcement Learning”. Apresenta-se o conceito de “Exploration” e “Exploitation”, bem como a adaptação de funções de recompensa. Os diferentes tipos de algoritmos de treino (“policy-based”, “value-based”, “actor-critic”), a equação de Bellman, bem como a depuração dos algoritmos de aprendizagem são também ensinados. O capítulo termina com a apresentação dos desafios e desvantagens do “Reinforcement Learning”. Ao longo do capítulo é explorado o uso do Matlab e Simulink para “Reinforcement Learning”.

Para suportar a atualização do programa da unidade curricular, a bibliografia principal/complementar foi também atualizada, concretamente:

- Atualizou-se o manual “Modern Control Engineering”, 5th edition, de K. Ogata, da editora Prentice-Hall, 2010, da 4ª edição para a 5ª edição;
- Incluíram-se manuais sobre a temática de “Reinforcement Learning”, nomeadamente:
 - o “Reinforcement Learning: An Introduction”, 2nd edition, de R. S. Sutton and A.G. Barto, da editora The MIT Press, 2018;
 - o “Reinforcement Learning with MATLAB”, Mathworks, 2020.
- Adicionou-se à bibliografia complementar um manual de Controlo Digital:
 - o “Controlo Digital: da Teoria à Simulação Numérica”, de F. Soares, C. Leão e B. Alves, Universidade do Minho, 2011.

6. Considerações Finais

O presente documento foi elaborado para o cumprimento de um dos requisitos legais exigidos aos candidatos à realização de provas de agregação, nomeadamente um relatório sobre uma unidade curricular no âmbito do ramo de conhecimento ou especialidade das provas. Assim, este relatório apresentou a unidade curricular de Teoria de Sistemas e Controlo, lecionada no 2º ano, 1º semestre, do curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do IPCA. Justificou-se a escolha desta unidade curricular, bem como o seu enquadramento no plano curricular do curso de Licenciatura. Apresentaram-se breves considerações sobre o processo de Bolonha, bem como se descreveram estratégias de ensino que têm sido seguidas pelo autor. Adicionalmente, considerando os recentes constrangimentos provocados pela COVID-19, o recurso a estratégias de aprendizagem baseada em projetos (*Project-Based Learning*) poderá ser também abordado futuramente. Seguidamente, apresentou-se uma revisão dos principais conceitos da área dos sistemas e controlo, para além de uma descrição histórica e de uma descrição evolutiva da área, bem como sobre os principais desafios sociais futuros. Depois, descreveu-se em detalhe a componente pedagógica considerada na unidade curricular de Teoria de Sistemas e Controlo, incluindo, de entre outros, os objetivos, os conteúdos programáticos, a descrição do funcionamento das aulas, os materiais de apoio utilizados, os métodos e elementos de avaliação, para além de uma análise da avaliação obtida pelos estudantes.

Na definição da unidade curricular esteve sempre subjacente a preocupação em selecionar os conteúdos programáticos mais relevantes, com a “profundidade” suficiente, proporcionando uma efetiva compreensão por parte dos estudantes, especialmente por se tratar da única unidade curricular da área de sistemas e controlo do curso. A escolha dos métodos pedagógicos a adotar e do processo de avaliação parecem adequados para a concretização do modelo de ensino baseado no desenvolvimento de competências, ou seja, adequados quer aos objetivos a atingir, quer aos conteúdos programáticos, e capazes de atrair e motivar os estudantes, considerando, em particular, os bons resultados que foram obtidos pelos mesmos.

Apresentou-se uma proposta de revisão do programa da unidade curricular, iniciada no presente ano letivo 2022/2023 incluindo, entre outras alterações, um capítulo de “Introdução ao *Reinforcement Learning*”.

Por último, importa destacar que a área da Engenharia vive em constante mudança, devendo o modelo e abordagem propostos para a unidade curricular ser ajustado em função das necessidades futuras que possam surgir, quer da parte da sociedade, bem como da parte da indústria e também da parte dos estudantes.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Referências

- [1] Oferta Educativa do IPCA - Licenciatura em Engenharia Electrónica e de Computadores, “Alteração do plano de estudos do curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores,” *Diário da República*, 2.^a série — N.º 36 — 20 de fevereiro de 2018, 2018. <https://est.ipca.pt/wp-content/uploads/sites/4/2015/12/Plano-de-estudos-do-curso-de-Licenciatura-em-Engenharia-Eletrotécnica-e-de-Computadores.pdf>.
- [2] N. Hativa, *Teaching for Effective Learning in Higher Education*, 1st ed. Springer Netherlands, 2000.
- [3] M. Prosser and K. Trigwell, *Understanding Learning And Teaching: The Experience in Higher Education*. Society for Research into Higher Education & Open University Press, 1999.
- [4] D. Kolb, Alice; Kolb, *The Kolb Learning Style Inventory—Version 3.1 2005 Technical Specifications*. HayGroup, 2005.
- [5] C. Barros *et al.*, “Assessing remote physiological signals acquisition experiments,” in *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE)*, 2014, vol. 5, doi: 10.1115/IMECE2014-37927.
- [6] D. A. Kolb, *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Pearson Education Limited, 2015.
- [7] R. Litzinger, Thomas; Wise, Jonh; Lee, Sangha; Felder, “A Study of the Reliability and Validity of Felder-Soloman Index of Learning Styles,” in *Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*, 2005, pp. 10.95.1-10.95.16.
- [8] S. Graf, S. R. Viola, Kinshuk, and T. Leo, “Representative characteristics of felder-silverman learning styles: An empirical model,” *IADIS Int. Conf. Cogn. Explor. Learn. Digit. Age, CELDA 2006*, pp. 235–242, 2006.
- [9] C. A. Carver, R. A. Howard, and W. D. Lane, “Enhancing student learning through hypermedia courseware and incorporation of student learning styles,” *IEEE Trans. Educ.*, vol. 42, no. 1, pp. 33–38, 1999, doi: 10.1109/13.746332.
- [10] L. Felder, Richard; Silverman, “Learning and Teaching Styles In Engineering Education,” *Eng. Educ.*, vol. 78, no. 7, pp. 674–681, 1988.
- [11] F. Soares, C. P. Leao, V. Carvalho, R. M. Vasconcelos, and S. Costa, “Automation & Control remote laboratory: Evaluating a cooperative methodology,” *Proc. - 2012 6th IEEE Int. Conf. E-Learning Ind. Electron. ICELIE 2012*, pp. 34–39, 2012, doi:

- 10.1109/ICELIE.2012.6471144.
- [12] F. Soares and C. P. Leão, "Automation and Control in Engineering A Global Approach with Educational Kits," in *Sensordevices 2015*, 2015, no. c, pp. 7–12.
- [13] M. F. Silva and V. Carvalho, "Remote System of Temperature Monitoring and Control," *Int. J. Online Eng.*, vol. 4, no. 4, pp. 60–62, 2008, doi: 10.3991/ijoe.v4i4.689.
- [14] F. Soares, C. P. Leão, V. Carvalho, R. M. Vasconcelos, and S. Costa, "Automation and control remote laboratory: A pedagogical tool," *Int. J. Electr. Eng. Educ.*, vol. 51, no. 1, 2014, doi: 10.7227/IJEEE.51.1.5.
- [15] F. Soares, C. P. Leão, J. Machado, and V. Carvalho, "Sensors & Transducers Experiences in Automation and Control in Engineering Education with Real-world Based Educational Kits," *Sensors & Transducers*, vol. 193, no. 10, pp. 135–144, 2015, [Online]. Available: <http://www.sensorsportal.com>.
- [16] M. Silva, F. Pereira, F. Soares, C. P. Leão, J. Machado, and V. Carvalho, "PAIR: The remote industrial automation trainer," in *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE)*, 2014, vol. 5, doi: 10.1115/IMECE2014-38771.
- [17] M. Silva, F. Pereira, F. Soares, C. P. Leão, J. Machado, and V. Carvalho, "Industrial controlling process using the remote industrial automation trainer PAIR," in *AIP Conference Proceedings*, 2015, vol. 1648, doi: 10.1063/1.4912856.
- [18] F. Soares, C. P. Leão, V. Carvalho, R. M. Vasconcelos, and S. Costa, "Automation and control remote laboratory: A pedagogical tool," *Int. J. Electr. Eng. Educ.*, vol. 51, no. 1, pp. 54–67, 2014, doi: 10.7227/IJEEE.51.1.5.
- [19] C. P. Leão, F. O. Soares, V. Carvalho, and R. M. Vasconcelos, "Automation and control engineering laboratory: Students perspectives," in *WCE 2010 - World Congress on Engineering 2010*, 2010, vol. 3.
- [20] V. Silva, V. Carvalho, R. M. Vasconcelos, and F. Soares, "Remote PID Control of a DC Motor," *Rev 2007 4th Int. Conf. Remote Eng. Virtual Instrum.*, no. 4, pp. 4–6, 2007.
- [21] R. Soares, Filomena; Carvalho, Vítor; Vasconcelos, "A Remote Experience between Industrial Informatics and Electronic Engineering Students: A DC Motor Control Kit," 2009.
- [22] J. Brandão, T. Ferreira, and V. Carvalho, *An overview on the use of serious games in the military industry and health*. 2012.
- [23] R. Savi and V. R. Ulbricht, "Jogos Digitais Educacionais: Benefícios E Desafios," *Renote*, vol. 6, no. 1, 2008, doi: 10.22456/1679-1916.14405.
- [24] T. Martins, M. Araújo, V. Carvalho, F. Soares, and L. Torrão, *Physio vinci-a first approach on a physical rehabilitation game*, vol. 8778. 2014.

- [25] T. Martins, V. Carvalho, and F. Soares, "Web portal: Total challenge," *Int. J. Web Portals*, vol. 4, no. 1, 2012, doi: 10.4018/jwp.2012010105.
- [26] T. Martins, V. Carvalho, F. Soares, and M. Araújo, "The Use of Serious Games as a Successful Educational Tool," in *The International Conference on E-Learning in the Workplace 2015*, 2015, pp. 1–6, [Online]. Available: https://www.icelw.org/proceedings/2015/ICELW2015/Papers/Martins_Carvalho_et_al.pdf.
- [27] T. Barbosa, S. Lopes, C. P. Leão, F. Soares, and V. Carvalho, *Serious Game for Teaching Statistics in Higher Education: Storyboard Design*, vol. 265. 2019.
- [28] C. P. Leao, F. Soares, V. Carvalho, S. Lopes, and I. Gonçalves, "A serious game concept to enhance students' learning of statistics," 2017, doi: 10.1109/EXPAT.2017.7984390.
- [29] R. Munasinghe, *Classical Control Systems: Design and Implementation*. Alpha Science, 2012.
- [30] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, no. 5. Prentice Hall, 2010.
- [31] J. Figueiredo, V. Carvalho, J. Machado', and F. Soares, "Modelica modeling language as a tool on control engineering education: Simulation of a two-tank system," 2015, doi: 10.1109/TALE.2014.7062602.
- [32] Š. Kozák, "Advanced control engineering methods in modern technological applications," *Proc. 2012 13th Int. Carpathian Control Conf. ICC 2012*, pp. 392–397, 2012, doi: 10.1109/CarpathianCC.2012.6228674.
- [33] P. J. Antsaklis, "Neural networks for control systems," *IEEE Trans. Neural Networks*, vol. 1, no. 2, pp. 242–244, 1990, doi: 10.1109/72.80237.
- [34] H. J. L. Van Can *et al.*, "Design and real time testing of a neural model predictive controller for a nonlinear system," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 50, no. 15, pp. 2419–2430, 1995, doi: 10.1016/0009-2509(95)00083-H.
- [35] M. M. Landau I.D., Lozano R., "Introduction to Adaptive Control," in *Adaptive Control. Communications and Control Engineering.*, London: Springer, 1998, pp. 1–30.
- [36] T. Basar, "Contributions to the Theory of Optimal Control," in *Control Theory: Twenty-Five Seminal Papers (1932-1981)*, IEEE, 2001, pp. 147–166.
- [37] F. Lamnabhi-Lagarrigue *et al.*, "Systems & Control for the future of humanity, research agenda: Current and future roles, impact and grand challenges," *Annu. Rev. Control*, vol. 43, pp. 1–64, 2017, doi: 10.1016/j.arcontrol.2017.04.001.
- [38] B. Recht, "A Tour of Reinforcement Learning: The View from Continuous Control," *ArXiv*, vol. abs/1806.0, pp. 1–28, 2018.

- [39] R. S. Sutton and A. G. Barto, *Reinforcement Learning: An Introduction*, 2nd ed. Cambridge: The MIT Press, 2018.
- [40] Mathworks, *Reinforcement Learning with MATLAB*. MathWorks, 2019. doi: 10.31826/jlr-2013-100101.
- [41] MathWorks, “What Is Reinforcement Learning? - MATLAB & Simulink,” *Mathworks.Com*, 2022. <https://www.mathworks.com/discovery/reinforcement-learning.html>
- [42] M. Schliemann and E. Bullinger, “A New Look at Disease: Parkinson’s as Seen Through the Eyes of an Engineer [Book review],” *IEEE Control Syst. Mag.*, vol. 34, no. 1, pp. 70–71, 2014, doi: 10.1109/MCS.2013.2284663.
- [43] A. Korikov, “Artificial intelligence in robot control systems,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 363, p. 12013, 2018, doi: 10.1088/1757-899x/363/1/012013.
- [44] P. P. Khargonekar, “Advancing Control in the Era of ML and AI,” 2018, [Online]. Available: https://www.mckinsey.de/files/170620_studie_ai.pdf.
- [45] T. Sadilek, Tomas; Husain, “Control System Academy,” 2017. <http://www.controlsystemsacademy.com>.
- [46] F. Gonçalves, “SimLab,” *University of Minho*, 2008. <http://deis2.dei.uminho.pt/labsim/SimLab/>.
- [47] P. S. F. for Technolgy(FCT), “Biblioteca do Conhecimento Online,” 2004. <https://www.b-on.pt/>.
- [48] K. Ogata, *Modern control engineering*, 4th ed. Person, 2002.
- [49] B. Astrom, Karl.; Wittenmark, *Computer Controlled Systems: Theory and Design*, no. 3. Prentice Hall, 1997.
- [50] C. para a A. e Q. do IPCA, “Manual da Qualidade do IPCA,” 2012. [Online]. Available: https://www.ipca.pt/files/phatfile/Manual_da_Qualidade_do_IPCA.pdf.
- [51] IPCA, “Avaliação do Ensino e Aprendizagem,” *Gabinete para a Avaliação e Qualidade*, 2012. <https://ipca.pt/ipca/servicos-ipca/gabinete-de-qualidade/qapa/teste/>.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Anexos

ANEXO A - Ficha de Apresentação da Unidade Curricular no Ano Letivo 2016/17

ANEXO B - Programas de Unidades Curriculares Similares à de Teoria de Sistemas e Controlo
noutras Instituições de Ensino Superior (IES) Portuguesas e Estrangeiras

ANEXO C - Teste de Avaliação, Enunciado do Trabalho Teórico-prático e de Simulação e
Enunciado de Exame da Época de Recurso no Ano Letivo 2016/17

ANEXO D - Resultados do Inquérito de Avaliação Pedagógica no Ano Letivo 2016/17

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

ANEXO A - Ficha de Apresentação da Unidade Curricular no Ano Letivo
2016/17



Teoria de Sistemas e Controlo (10012)
(Systems Theory and Control)

Ano Letivo 2016/2017
Responsável Vitor Hugo Mendes da Costa Carvalho
Área Disciplinar Controlo, Automação e Robótica (Control, Automation and Robotics)
Departamento Tecnologias

Plano de estudos

| Curso | Regime | Semestre | Ano Curricular | ECTS | Total de Horas | Horário |
|------------|--------|----------|----------------|------|----------------|------------------------|
| EEC (9112) | D | S1 | 2 | 6.0 | 180 | 5 ^ª [16h00] |

Docencia

| Nome | Curso | Semestre |
|---|-------|----------|
| Vitor Hugo Mendes da Costa Carvalho (180) | EEC | S1 |

Enquadramento

Objetivos da Disciplina



Com esta unidade curricular pretende-se dotar o aluno de conhecimentos e práticas que lhe permitam analisar, modelar e implementar sistemas de controlo automático contínuo e digital, ampliando assim, o seu nível de produtividade profissional na concepção, manutenção e gestão de sistemas electrónicos.



This curricular unit aims to provide students with the knowledge and practices that enable it to analyze, model and implement automatic control systems continuous and digital, thereby increasing its level of productivity in professional design, maintenance and management of electronic systems.

Conhecimentos e competências a adquirir



O conteúdo proposto apresenta os seguintes objectivos:

Identificar os elementos fundamentais de um sistema de controlo; Analisar e modelar matematicamente sistemas de controlo mecânicos, eléctricos, electromecânicos, térmicos e nível de fluidos; Desenvolver capacidades para a correcta sintonização dos parâmetros de controlo em malha fechada (proporcional, integral e derivativo); Conceber sistemas de controlo analógicos e digitais.



The content offered comprises the following objectives:

Identify the key elements of a control system; Analyze and modeling mathematically mechanical, electrical, electromechanical, thermal and fluid level control systems; Develop the capacity for proper tuning of the parameters of closed loop control (proportional, integral and derivative); Develop analog and digital control systems.

Programa

Conteúdos Programáticos



1. Introdução ao Controlo de Processos;
2. Ferramentas Matemáticas para Análise de Sistemas de Controlo;
3. Modelação de Sistemas;
4. Análise da Resposta Transitória;
5. Acções Básicas de Controlo e Resposta de Sistemas de Controlo;
6. Sistemas de Controlo por Computador.



1. Introduction to Process Control;
2. Mathematical Tools for Control Systems Analysis;
3. Modeling Systems;
4. Analysis of Transient Response;
5. Basic Control Actions and Response of Control Systems;
6. Computer Controlled Systems.

Bibliografia

Principal

- K. Ogata, (2001). Modern Control Engineering, 4th Edition, Prentice-Hall, New Jersey. K.
- K. Aström and B. Wittenmark, (1996). Computer-Controlled Systems: Theory and Design, 3rd Edition, Prentice-Hall, New Jersey.

Complementar

- Ogata, (1992). System Dynamics, 2nd Edition, Prentice-Hall International Editions, New Jersey.
- C. Smith and A. Corripio, (1997). Principles and Practice of Automatic Process Control, 2nd Edition, Wiley, New

York.

C. Houpis and G. Lamont (1992). Digital Control Systems, 2nd Edition, Mc-Graw Hill, Singapore.

Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos da UC



Os conteúdos programáticos são apresentados por forma a explorar de forma sustentada as matérias necessárias para complementar a formação dos estudantes no domínio dos sistemas de controlo procurando aprofundar conceitos relacionados com áreas da maior importância para as actividades de concepção de sistemas de controlo. O conteúdo do programa proposto aborda as várias vertentes imprescindíveis ao cumprimento desses objectivos, nomeadamente no que diz respeito aos tópicos actuais e desenvolvimentos recentes.



The syllabus is presented in order to explore in a sustained way the topics needed to complement the training students in the field of control systems seeking to deepen concepts related areas of major importance to the design activities of control systems. The content of the proposed syllabus addresses the various aspects essential to the fulfillment of these objectives, particularly in respect to current topics and recent developments.

Metodologias de Ensino/Aprendizagem

Metodologias



A metodologia de ensino adoptada prossegue uma pedagogia centrada no processo de aprendizagem dos estudantes, fomentando a sua capacidade de iniciativa, de pesquisa e de auto-aprendizagem e privilegiará métodos activos de ensino-aprendizagem, com apoio no sítio web da disciplina. Será estabelecido pelos docentes um horário para as actividades de tutoria, a qual poderá revestir diferentes modalidades.



The teaching methodology adopted follows a pedagogy focused on learning process of the students, fostering their ability to initiative, research and self-learning methods and focus on active teaching and learning, with support on the website of discipline. Will be established by the faculty a schedule for activities tutoring, which can take different forms.

Demonstração da coerência das metodologias de ensino com os objetivos E/A da UC



Esta metodologia de ensino e de avaliação vai ao encontro dos objectivos traçados para a presente Unidade Curricular dado que os estudantes terão de pesquisar e desenvolver trabalho de pesquisa sobre os conteúdos. As aulas não se limitam a ser unicamente expositivas mas antes, colaborativas. A avaliação ao contemplar as apresentações dos trabalhos solicitados vai ao encontro dos objectivos da Unidade Curricular e ao dos do processo de Bolonha que apontam para uma metodologia que permita um ensino-aprendizagem cooperativo, o desenvolvimento de competências interpessoais, uma maior transparência dos conteúdos e a colaboração efectiva dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem. O programa é abordado nas aulas teórico-práticas acompanhando-se a explicação de cada um deles com exemplos que permitam uma melhor compreensão dos temas. Nas aulas são, ainda, apresentados estudos de caso que permitem aos estudantes desenvolver a capacidade de compreender os problemas associados.



This teaching methodology and assessment meets the objectives set for this course given that students will to research and develop research work on content. The classes are not limited to only exhibition but rather collaborative. The evaluation when contemplating the presentations of papers requested meets the objectives of the course and of the Bologna process that point to a methodology that enables a collaborative teaching and learning, skills development interpersonal, greater transparency of content and collaboration actual students in the teaching-learning process. The program is addressed in practical classes following the explanation of each one of them with examples that allow a better understanding of the issues. At the classes are also presented case studies that allow students develop the ability to understand the problems associated with it.

Metodologias de Avaliação



A classificação final dos alunos é obtida com base nos seguintes elementos de avaliação:

1ª prova escrita (avaliação parcial da matéria) – nota mínima 8 valores;

2ª trabalho prático (avaliação parcial da matéria) – nota mínima 8 valores;

O aluno será aprovado à disciplina quando a média dos dois elementos de avaliação for maior ou igual a 9.5 valores, caso contrário pode sempre submeter-se a Exame de Recurso.



The final score of the students is obtained based on the following assessment:

1st written test - minimum score 8 points;

2nd practical work - minimum score 8 points;

The student will be approved discipline when the average of the two elements of assessment is not less than 9.5, otherwise he may always submit to a final exam.

Parecer

Parecer favorável.

Assinatura

| Diretor de Departamento | Coordenador Área Disciplinar | Responsável da UC | Unidade Orgânica |
|--|--|--|---|
| João Luís Araújo Martins Vilaça 17/10/2016 09:44:11 Europe/Lisbon | João Luís Araújo Martins Vilaça 20/09/2016 15:23:28 Europe/Lisbon | Vitor Hugo Mendes da Costa Carvalho 20/09/2016 02:14:21 Europe/Lisbon | Escola Superior Tecnologia 17/10/2016 09:44:11 Europe/Lisbon |



Esta página foi intencionalmente deixada em branco

ANEXO B - Programas de unidade curriculares similares à de Teoria de Sistemas e Controlo noutras instituições de ensino superior (IES) portuguesas e estrangeiras

Apresentam-se de seguida as páginas *web* de alguns programas de unidade curriculares similares à apresentada neste documento.

IES do Ensino Universitário Português

1. No curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro, unidade curricular de Sistemas e Controlo, 3º ano, 1º semestre

<https://www.ua.pt/pt/uc/14422>
(acedido em dezembro de 2022)

2. No curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, unidade curricular de Controlo, 2º ano, 2º semestre

https://sigarra.up.pt/feup/pt/ucurr_geral.ficha_uc_view?pv_ocorrencia_id=499480
(acedido em dezembro de 2022)

3. No curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, unidade curricular de Sistemas de Controlo, 3º ano, 1º semestre

https://apps.uc.pt/courses/PT/unit/86667/21062/2023-2024?common_core=true&type=ram&id=8922
(acedido em dezembro de 2022)

4. No curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, unidade curricular de Controlo, 2º ano, 2º semestre

<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/cursos/leec21/disciplina-curricular/1690378868621444>
(acedido em dezembro de 2022)

IES do Ensino Politécnico Português

1. No curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Politécnico de Bragança, unidade curricular de Controlo de Sistemas, 2º ano, 2º semestre

https://apps.ipb.pt/guia-ects/GuiaEcts/PdfService?cod_escola=3043&cod_curso=9112&n_plano=742&n_disciplina=2202&n_opcao=0&ano_lect=2021&locale=1
(acedido em dezembro de 2022)

2. No curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Escola Superior de Tecnologia do Politécnico de Setúbal, unidade curricular de Controlo, 2º ano, 2º semestre

https://www.si.ips.pt/ests_si/Disciplinas_geral.FormView?P_ANO_LECTIVO=2020/2021&P_CAD_CODIGO=LEEC22116&P_PERIODO=2S
(acedido em dezembro de 2022)

3. No curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Escola Superior de Tecnologia do Politécnico de Tomar, unidade curricular de Sistemas de Controlo, 2º ano, 2º semestre

https://portal2.ipt.pt/pt/Cursos/estt/l_-_eec/911251/
(acedido em dezembro de 2022)

IES Estrangeiras

1. No curso de *BEng (Hons) in Electrical and Computer Engineering* na *School of Engineering and Digital Sciences* da *Nazarbayev University*, unidade curricular de *Linear Control Theory*, 3º ano, 1º semestre

https://seds.nu.edu.kz/wp-content/uploads/2020/07/BEngECEHandbook_07.07.2020.pdf
(acedido em dezembro de 2022)

2. No curso de *BEng (Hons) in Electronics and Computer Science* no *College of Science and Engineering* da *University of Edinburg*, unidade curricular de *Control and Instrumentation Engineering*, 3º ano, 1º semestre

<http://www.drps.ed.ac.uk/22-23/dpt/cxscee09002.htm>
(acedido em dezembro de 2022)

3. No curso de *BsC in Engineering in Electrical and Computer Engineering* na *University of Cape Town*, unidade curricular de *Control Systems Engineering*, 3º ano, 2º semestre

https://web.archive.org/web/20190819021856/http://www.ee.uct.ac.za/sites/default/files/image_tool/images/228/Staff/2019_EC%20plus%20Course%20Outlines.pdf
(acedido em dezembro de 2022)

4. No curso de *Double Degree Major in Electrical and Electronic Engineering, Computer Science* da *School of Electrical Engineering, Computers and Math Sciences (EECMS)* da *Curtin University*, unidade curricular de *Dynamic Modelling and Control*, 4º ano, 1º semestre

<https://handbook.curtin.edu.au/units/unit-ug-dynamic-modelling-and-control--mxen3004v1>
(acedido em dezembro de 2022)

1. No curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática, unidade curricular de Sistemas e Controlo, 3º ano, 1º semestre

<https://www.ua.pt/pt/uc/14422>
(acedido em dezembro de 2022)

Programa

- Conceitos fundamentais: malha aberta e malha fechada; estabilidade; definições e classificações.
- Técnicas de representação dos modelos matemáticos: equação diferencial; funções de transferência; diagramas de blocos e de fluxo de sinal. Importância (e revisão) da Transformada de Laplace.
- Modelação física de sistemas elétricos, mecânicos, térmicos e fluídicos; modelação de elementos transdutores.
- Análise dos sistemas no domínio do tempo: resposta no tempo dos sistemas de primeira e segunda ordem (e superior); regimes transitório e estacionário.
- Estabilidade: estabilidade entrada limitada saída limitada; critério de Routh-Hurwitz.
- Método do lugar das raízes: regras de construção e interpretação do lugar das raízes.
- Análise no domínio da frequência: diagramas de Bode; margens de ganho e fase.
- Controlo de sistemas por realimentação da saída: especificações de desempenho; compensação do regime estacionário e da resposta transitória; compensador proporcional, PI, PD e PID.

Bibliografia

- A. Pereira de Melo, **Teoria dos Sistemas de Controlo Lineares**, Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática, Universidade de Aveiro, 2010.
- Gene. F. Franklin, J. David Powell, and A. Emami-Naeini, **Feedback Control of Dynamic Systems** (7th Ed.), Pearson Higher Education, 2015.
- Katsuhiko Ogata, **Modern Control Engineering** (5th Ed.), Prentice Hall, 2010.
- J. L. Martins de Carvalho, **Dynamical Systems and Automatic Control**, Prentice Hall, 1993.

Metodologia de Ensino e Atividades de Aprendizagem

- Exposição da matéria nas aulas teóricas.
- Resolução de exercícios de índole prática e teórico-prática nas aulas práticas, refletindo o conhecimento adquirido nas aulas teóricas.
- Utilização de ferramentas da aplicação MATLAB para resolução de exercícios.
- Execução pelos alunos de trabalhos laboratoriais, utilizando os equipamentos didáticos do Laboratório de Controlo do DETI.
- Esclarecimento de dúvidas nas aulas de orientação tutorial, e nos períodos de atendimento aos alunos.

Carga Letiva Semanal

- 2 horas teórico-práticas.
- 2 horas de práticas laboratoriais.

Créditos

- 6 ECTS.

2. No curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, unidade curricular de Controlo, 2º ano, 2º semestre

https://sigarra.up.pt/feup/pt/ucurr_geral.ficha_uc_view?pv_ocorrencia_id=499480
(acedido em dezembro de 2022)

Programa

- 1. Modelização e resposta temporal de sistema em malha aberta.**
Determinação de modelos elementares de sistemas mecânicos, elétricos e hidráulicos. Análise, no domínio dos tempos, da resposta de sistemas de 1ª e 2ª ordem, ao impulso unitário, degrau unitário e rampa unitária, com recurso à transformada de Laplace. Idem para sistemas de ordem superior a 2. Estabilidade. Critério de Estabilidade de Routh-Hurwitz.
- 2. Análise no Domínio das Frequências.**
Introdução. Traçado logarítmico - Diagrama de Bode. Diagramas de Bode de funções de transferência elementares. Diagramas de Bode de uma função de transferência geral. Influência dos Zeros na Resposta em Frequência.
- 3. Análise de Sistemas Realimentados.**
Introdução. Noção de Sistema Realimentado. Diagrama de blocos de um Sistema Realimentado. Álgebra dos diagramas de blocos. Regras para a simplificação de diagramas de blocos.
- 4. Análise de desempenho, em regime permanente, de Sistemas Realimentados.**
Erros de posição, de velocidade e de aceleração.
- 5. Análise de desempenho, de Sistemas Realimentados, com recurso ao método dos Lugares Geométricos de Raízes.**
Introdução do método do Lugar das Raízes. Equação característica e trajetórias das raízes. Condições de amplitudes e de ângulos. Regras para o desenho do Lugar das Raízes.
- 6. Análise de Desempenho, de Sistemas Realimentados, no Domínio das Frequências.**
Traçados Polares ou de Nyquist. Critério de Estabilidade de Nyquist. Estabilidade Relativa: noções de Margem de Ganho e de Margem de Fase.
- 7. Compensação Avanço e Atraso, nos Domínios dos Tempos e das Frequências. Controladores PID.**
- 8. Espaços dos Estados.**
Representações nos espaços dos estados de sistemas dinâmicos lineares, invariantes (no tempo e no domínio de Laplace). Cálculo da resposta temporal. Controlabilidade e observabilidade. Projeto de controladores (colocação dos polos em malha fechada) por realimentação linear no estado. Projeto de estimadores de estado lineares.

Bibliografia

- J. L. Martins de Carvalho; **Sistemas de controle automático**. ISBN: 85-216-1210-9.

- J. L. Martins de Carvalho; **Dynamical systems and automatic control**. ISBN: 0-13-221755-4.
- G.F. Franklin, J.D. Powell, A. Emami-Naeini; **Feedback Control of Dynamic Systems**, Pearson Higher Education, 2010. ISBN: 978-0-13-500150-9. (bibliografia complementar)

Metodologia de Ensino e Atividades de Aprendizagem

- Aulas teóricas: ensino presencial.
- Aulas teórico-práticas: exposição e resolução de exemplos no quadro, esclarecimento de dúvidas e discussão dos problemas previamente selecionados.

Carga Letiva Semanal

- 2 horas teóricas.
- 2 horas teórico-práticas.

Créditos

- 6 ECTS.

3. No curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, unidade curricular de Sistemas de Controlo, 3º ano, 1º semestre

https://apps.uc.pt/courses/PT/unit/86667/21062/2023-2024?common_core=true&type=ram&id=8922
(acedido em dezembro de 2022)

Programa

- Introdução aos Sistemas de Controlo.
- Modelização Matemática de Sistemas Dinâmicos.
- Análise das Respostas Transitória e em Regime Permanente.
- Ações de Controlo Básicas e Respostas de Sistemas de Controlo.
- Lugar de Raízes.
- Análise da Resposta em Frequência.
- Controlos PID e Introdução ao Controlo Robusto.
- Análise de Sistemas Dinâmicos em Espaço de Estados.
- Breve Introdução ao controlo não-linear: Análise de estabilidade utilizando técnicas de Lyapunov.

Bibliografia

- K. Ogata, (2010) - **Modern Control Engineering**, 5th edition, Prentice-Hall.
- N. Nise, (2011) - **Control Systems Engineering**, 6th edition, John Wiley & Sons, Inc.

Metodologia de Ensino e Atividades de Aprendizagem

- Aulas teóricas com exposição detalhada dos conceitos, princípios e teorias fundamentais e com a resolução de exercícios práticos aplicados a situações reais.
- Aulas laboratoriais em ambiente de Matlab/Simulink com o intuito de projetar e implementar metodologias de análise e controlo para sistemas reais (e.g.: modelação, simulação e controlo de um motor DC).

- A avaliação será composta por um exame final com peso de 60% e por uma avaliação laboratorial feita ao longo do semestre com peso de 40%.

Carga Letiva Semanal

- 2 horas teóricas.
- 2 horas práticas laboratoriais.

Créditos

- 6 ECTS.

4. No curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, unidade curricular de Controlo, 2º ano, 2º semestre

<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/cursos/leec21/disciplina-curricular/1690378868621444>
(acedido em dezembro de 2022)

Programa

- 1) Introdução ao Controlo: exemplos motivadores e perspetiva histórica
- 2) Modelos de sistemas físicos; linearização de sistemas dinâmicos
- 3) Objetivos a atingir com sistemas de controlo: conceitos de estabilidade e desempenho.
- 4) Diagramas de blocos: regras básicas e redução sucessiva de blocos
- 5) Estabilidade: estabilidade de SLITs e resposta natural
- 6) Efeitos da retroação: seguimento de referências, rejeição de perturbações e atenuação de ruído; erros em regime estacionário
- 7) Análise e projeto de sistemas de controlo utilizando a técnica do lugar geométrico das raízes ("root locus"); controladores PID.
- 8) Análise de sistemas de controlo no domínio da frequência utilizando os diagramas de Bode e Nyquist; margens de ganho e margem de fase e efeitos do atraso na cadeia de ação
- 9) Sistemas de compensação por avanço e atraso de fase.
- 10) Introdução ao projeto de sistemas de controlo univariável por moldagem do ganho de malha
- 11) Limitações ao desempenho atingível com retroação.

Bibliografia

- **Feedback Control of Dynamic Systems**, 8th Edition: G. Franklin, J. Powell, and A. Naeini 2019 Prentice-Hall.
- **Feedback Systems: an Introduction for Engineers**, K. Astrom and R. Murray 2008 Princeton University Press
-

Metodologia de Ensino e Atividades de Aprendizagem

- Componente de Competências Transversais.
- Componente Laboratorial.
- Componente de Programação e Computação.
- 50% de avaliação continua/50% de avaliação não continua.

Carga Letiva Total

- 42 horas teórico-práticas.

- 14 horas práticas laboratoriais

Créditos

- 6 ECTS.

1. No curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Politécnico de Bragança, unidade curricular de Controlo de Sistemas, 2º ano, 2º semestre

https://apps.ipb.pt/guia-ects/GuiaEcts/PdfService?cod_escola=3043&cod_curso=9112&n_plano=742&n_disciplina=2202&n_opcao=0&ano_lect=2021&locale=1
(acedido em dezembro de 2022)

Programa

- Controlo no domínio contínuo:
 - o Conceitos básicos: estabilidade, sistema de malha aberta, sistema de malha fechada;
 - o Análise e projeto de sistemas de controlo: lugar das raízes, diagramas de Bode e de Nyquist, compensadores avanço/atraso e controladores PID.
- Controlo no domínio discreto:
 - o Amostragem e reconstrução, Transformada Z, Mapeamento plano S para plano Z, Período de amostragem, Análise de sistemas de controlo digitais, Projeto de controladores digitais.

Bibliografia

- K. Ogata, **Modern Control Engineering**, Prentice-Hall, 2001.
- D’Azzo, J., **Linear Control Systems Analysis and Design: Conventional and Modern**, McGraw-Hill, 1975.
- Houpis, C., Lamont, G., **Digital Control Systems: Theory, Hardware, Software**, McGraw-Hill, 1992.
- **The Mechatronics Handbook**, CRC Press, 2002 5. Kilian, C., **Modern Control Technology**, Thomson Delmar Learning, 2006

Metodologia de Ensino e Atividades de Aprendizagem

- Aulas teóricas: Exposição dos conceitos teóricos. Apresentação, análise e discussão de exemplos de aplicação. Resolução de exercícios. Execução de trabalhos práticos de simulação em MATLAB.

Carga Letiva Semanal

- 2 horas teóricas.
- 2 horas práticas laboratoriais.

Créditos

- 6 ECTS.

2. No curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Escola Superior de Tecnologia do Politécnico de Setúbal, unidade curricular de Controlo, 2º ano, 2º semestre

https://www.si.ips.pt/ests_si/Disciplinas_geral.FormView?P_ANO_LECTIVO=2020/2021&P_CAD_CODIGO=LEEC22116&P_PERIODO=2S
(acedido em dezembro de 2022)

Programa

1. Introdução aos sistemas de controlo. Conceitos básicos de controlo: processos; variáveis envolvidas; perturbações e ruído; controlo feedforward; controlo de realimentação; diagrama da cadeia de controlo. (3h T/P + 2h L)
2. Modelação e representação de sistemas: Equações diferenciais, transformada de Laplace, função de transferência. Polos e zeros. Diagramas de blocos -(3h T/P + 2h L)
3. Resposta temporal de sistemas de 1ª e 2ª ordem. Caracterização da resposta. Polos dominantes. Erro em regime estacionário - (9h T/P + 6h L)
4. Estabilidade: Noção de estabilidade. Estabilidade absoluta e relativa. Método de Routh-Hurwitz - (3h T/P + 2h L)
5. Diagrama do Lugar Geométrico das Raízes (LGR) ou (Root-Locus): Condição de módulo e condição de argumento. Regras para a construção do diagrama do LGR para ganho positivo. Root-locus em função de qualquer parâmetro. (6h T/P + 6h L).
6. Projeto de compensadores por avanço e atraso de fase com base no LGR - (4.5h T/P + 2h L)
7. Resposta no domínio da frequência: Diagramas de Bode, aproximação assintótica, curvas exatas. Sistemas de fase mínima. Estabilidade relativa, margem de Ganho e de Fase, robustez. Relações entre resposta temporal e resposta em frequência. (10.5h T/P + 6h L)
8. Projeto de controladores clássicos e compensadores: As ações básicas de controlo - Proporcional (P), Integral (I) e Derivativo (D). O controlador PID. Projeto de controladores PID: métodos de Ziegler-Nichols (ganho crítico e curva de reação). Reset-windup: consequências e soluções. (6h T/P + 4h L)

Bibliografia

- Norman S. Nise; **Control Systems Engineering**, John Wiley & Sons Inc, 2003. ISBN: 978-0471445777
- Ogata; **Modern Control Engineering**, Prentice – Hall, 2001. ISBN: 978-0130432452
- Phillips, Harbor; **Feedback Control Systems**, Pearson US Imports & PHIPes, 1999. ISBN: 978-0139490903
- J. David Powell, Abbas Emami-Naeini, and Gene F. Franklin; **Feedback Control of Dynamic Systems**, Prentice Hall, 2005. ISBN: 978-0131499300

Metodologia de Ensino e Atividades de Aprendizagem

- Os conteúdos teóricos da unidade curricular serão expostos através de aulas teórico/práticas. Os estudantes serão motivados para aplicar as competências adquiridas através da análise, discussão e solução de problemas.
- Aulas Laboratoriais: Análise e projeto de sistemas de controlo através da simulação em computador e de trabalhos práticos. Deste modo é possível aos alunos relacionar os conceitos aprendidos nas aulas T/P com aplicações práticas e introduzi-los na utilização de software para análise e projeto de sistemas de controlo. Nestas aulas os estudantes ganham experiência na análise e apresentação de dados assim como na elaboração de relatórios.

Carga Letiva Semanal

- 3 horas teórico-práticas.
- 2 horas práticas laboratoriais.

Créditos

- 6 ECTS.

3. No curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Escola Superior de Tecnologia do Politécnico de Tomar, unidade curricular de Sistemas de Controlo, 2º ano, 2º semestre

https://portal2.ipt.pt/pt/Cursos/estt/l_-_eec/911251/
(acedido em dezembro de 2022)

Programa

1. Introdução: Breve introdução aos sistemas de controlo automático. Controlo por realimentação e controlo direto (feedforward). Controlo em cascata / mestre-escravo. Sensores e codificadores em sistemas de controlo: potenciômetros, codificadores, tacómetros. Revisão Diagrama de Blocos.
2. Modelos matemáticos de sistemas físicos: Revisão aos Sistemas mecânicos de translação e aos sistemas mecânicos de rotação. Motor DC em sistemas de controlo (Modelos matemáticos; curvas torque-velocidade). Engrenagens e backlash. Servomecanismos.
3. Análise temporal em malha aberta e malha fechada: Análise de estabilidade relativa. Critério de Routh. Efeito da adição de polos e zeros. Polos dominantes em funções de transferência. Aproximação de sistemas de ordem superior a sistemas de ordem inferior. Estabilidade de Nyquist: Análise através do Diagrama de Nyquist.
4. Análise de sistemas de controlo: Critérios de projeto. Análise de erros em regime estacionário. Método do lugar das raízes. Métodos no domínio da frequência - representação gráfica de funções de transferência sinusoidais (diagrama de Bode e traçado polar): Frequência e pico de ressonância e largura de banda de sistemas de 2ª ordem; Critérios de estabilidade; Efeito da adição de polos e zeros.
5. Projeto de sistemas de controlo clássicos: Configuração do controlador. Controlo PID [Ações de controlo proporcional (P), proporcional-derivativo (PD) e proporcional-integral-derivativo (PID)]; Sintonização de controladores PID (Método de Ziegler-Nichols em malha aberta e em malha fechada; Método de colocação de polos; Método experimental). Compensação em avanço-atraso (Controladores em avanço e controladores em atraso). Análise de perturbações. Projeto de sistemas com várias malhas de realimentação. Projeto no domínio da frequência.
6. Projeto de sistemas de controlo digitais: Introdução aos sistemas de controlo digitais. Os conversores A/D e D/A no anel de controlo. Diagramas de blocos de sistema de controlo digitais. Projeto de controladores PID digitais via discretização de PID analógicos: método de emulação.

Bibliografia

- Franklin, G. e Powell, D. e Emani-Naeini, A. (2006). **Feedback Control of Dynamic Systems**. USA: Pearson Prentice Hall
- Golnaraghi, F. e Kuo, B. (2003). **Automatic Control Systems**. USA: John Wiley & Sons
- Ogata, K. (2002). **Modern Control Engineering**. USA: Prentice-Hall

- Franklin, G. e Workman, M. e Powell, D. (1998). **Digital Control of Dynamic Systems**. California - USA: Addison-Wesley

Metodologia de Ensino e Atividades de Aprendizagem

- Aulas teóricas em que se descrevem e exemplificam os métodos em estudo, aulas teórico-práticas em que são propostos exercícios de aplicação, e Práticas de Laboratório.

Carga Letiva Semanal

- 2 horas teóricas.
- 2 horas teórico-práticas.
- 1 hora práticas laboratoriais.

Créditos

- 6 ECTS.

1. No curso de **BEng (Hons) in Electrical and Computer Engineering na School of Engineering and Digital Sciences da Nazarbayev University**, unidade curricular de **Linear Control Theory**, 3º ano, 1º semestre

https://seds.nu.edu.kz/wp-content/uploads/2020/07/BEngECEHandbook_07.07.2020.pdf
(acedido em dezembro de 2022)

Programa

This course is an introductory course in control theory which introduces analysis of feedback closed loop systems and controller design. The course includes description of linear, time-invariant, continuous time systems, differential equations, transfer function representation, block diagrams and signal flows. Moreover, it discusses system dynamic properties in time and frequency domains, and performance specifications. Then the course covers basic properties of feedback including stability analysis: Routh-Hurwitz criterion, Root Locus method, Bode gain and phase margins, and Nyquist criterion. Then classical controller design in time and frequency domain: lead, lag, lead-lag compensation, rate feedback, and PID controller are introduced. Laboratory work consists of MATLAB and Simulink assignments, reinforcing analytical concepts and design procedures.

Bibliografia

- Não disponível

Metodologia de Ensino e Atividades de Aprendizagem

- Não disponível

Carga Letiva Semanal

- horas teóricas e de práticas laboratoriais (informação do número de horas não disponível)

Créditos

- 6 ECTS.

2. No curso de **BEng (Hons) in Electronics and Computer Science no College of Science and Engineering da University of Edinburg**, unidade curricular de **Control and Instrumentation Engineering**, 3º ano, 1º semestre

<http://www.drps.ed.ac.uk/22-23/dpt/cxscee09002.htm>
(acedido em dezembro de 2022)

Programa

1. **Instrumentation** (3 lectures): main types of transducers including flow, pressure, temperature, position, force, velocity and acceleration transducers; signal conditioning and interfacing.
2. **Mathematical Models of Dynamic Systems** (5 lectures): open and closed-loop systems; static and dynamic response; modelling of linear systems; linearisation; Laplace transform; transfer functions; block diagrams.

3. **Feedback Systems** (5 lectures): error signals; sensitivity; disturbance rejection; steady-state and transient response; performance of 1st and 2nd order systems; stability; Routh-Hurwitz stability criterion.
4. **Control Systems in Frequency Domain** (5 lectures): Bode plots; gain and phase margins; frequency domain performance specifications; relative stability; controller design using frequency response methods.
5. **Controller Design** (4 lectures): Proportional-Integral-Derivative controllers; Phase-lead and lag compensators; introduction to Artificial Intelligence for Control (Neural Networks, Fuzzy Controllers).

Bibliografia

- Dorf, R. C. and Bishop, R. H., **Modern Control Systems**, 12th ed., Pearson Education, 2011, ISBN-10: 0131383108.
- Ogata, K., **Modern Control Engineering**, 5th ed., Pearson Education, 2008, ISBN-10: 0137133375.
- Nise, N. S., **Control Systems Engineering**, 6th ed., Wiley International, 2011, ISBN-10: 0470646128.
- Golnaraghi, F. and Kuo, B. C., **Automatic Control Systems**, 9th ed., John Wiley & Sons, 2009, ISBN-10: 0470048964.

Metodologia de Ensino e Atividades de Aprendizagem

- Não disponível

Carga Letiva Semanal

- Não disponível a carga letiva semanal, apenas o número de horas totais por tipologia:
 - 22 Lecture Hours;
 - 11 Seminar/Tutorial Hours;
 - 3 Supervised Practical/Workshop/Studio Hours.

Créditos

- 5 ECTS.

3. No curso de BSc in Engineering in Electrical and Computer Engineering na University of Cape Town, unidade curricular de Control Systems Engineering, 3º ano, 2º semestre

https://web.archive.org/web/20190819021856/http://www.ee.uct.ac.za/sites/default/files/image_tool/images/228/Staff/2019_EC%20plus%20Course%20Outlines.pdf
(acedido em dezembro de 2022)

Programa

This course aims to develop the understanding of open and closed loop configurations, block diagrams, dynamic system modelling, transient response, steady state error criterion. System stability: Routh Hurwitz criterion, Root Locus. Frequency responses. Nyquist plots, Bode diagrams, Nichols Charts. Compensation: Lead-lag circuits, minor loops, feedforward and three- term controllers. Sensitivity functions, minimum prototype response controllers, bilinear transformation, frequency response methods. State variables, state space models and design methods. Robustness, observability controllability, stability and performance.

Bibliografia

- Não disponível

Metodologia de Ensino e Atividades de Aprendizagem

- Não disponível

Carga Letiva Semanal

- horas teóricas e de práticas laboratoriais (informação do número de horas não disponível)

Créditos

- 6 ECTS.

4. No curso de *Double Degree Major in Electrical and Electronic Engineering, Computer Science* da *School of Electrical Engineering, Computers and Math Sciences (EECMS)* da *Curtin University*, unidade curricular de *Dynamic Modelling and Control*, 4º ano, 1º semestre

<https://handbook.curtin.edu.au/units/unit-ug-dynamic-modelling-and-control--mxen3004v1>

(acedido em dezembro de 2022)

Programa

Overview and history of feedback control. Mathematical modelling of physical systems including thermal, fluid, electromechanical and mechanical. Interpretation of the dynamic response of low order systems in both the time, frequency and s domain. Feedback and stability. Stability assessment techniques, root locus analysis. Response specifications, time and (mention of) frequency. Introduction to controllers. PID algorithms and tuning. Sampled data systems and digital control systems.

Bibliografia

- Não disponível

Metodologia de Ensino e Atividades de Aprendizagem

- Não disponível

Carga Letiva Semanal

- 1 science laboratory hours;
- 1 tutorial hours;
- 1 workshop hours;
- 3 seminar hours.

Créditos

- 7,5 ECTS.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

ANEXO C - Teste de Avaliação, Enunciado do Trabalho Teórico-prático e de Simulação e Enunciado de Exame da Época de Recurso no Ano Letivo 2016/17

Teste de Avaliação



ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES
TEORIA DE SISTEMAS E CONTROLO - 2º ANO
Ano Lectivo 2016/2017

Época Normal
Semestral 1º teste Anual 1ª Chamada 1º Teste 2º Teste Global
 2º teste 2ª Chamada

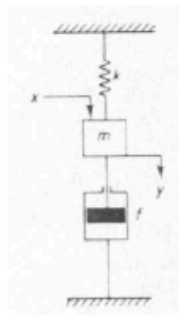
Época Recurso Época Especial Exame Especial

Duração: 1 h 30 m Tolerância: 00 minutos Com Consulta _____
 Sem consulta _____

Docente: Vítor Hugo Carvalho Data: 6 / 12 / 2016

• Cotação: 1- 10 valores 2- 5 valores 3- 5 valores

1. Considere o seguinte sistema mecânico ($m=1$ Kg, $f=5$ Ns/m e $k=6$ N/m):



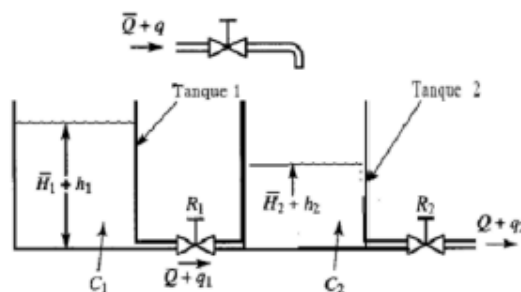
1.1. Deduza a equação que traduz a relação entre a força de entrada $X(s)$ e o deslocamento da massa de saída $Y(s)$. (2 val.)

Nota: Caso não tenha conseguido efectuar a questão 1.1, considere para as restantes alíneas que

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{s^2 + 6s + 8}$$

- 1.2. Considere que se aplica uma força em degrau de 2 N na entrada, calcule a saída $y(t)$, considerando o sistema em malha aberta. (2 val.)
- 1.3. Multiplique a função de transferência do sistema por um integrador (1/s). Aplique a 2ª regra de Ziegler-Nichols para sintonizar correctamente um controlador PID a aplicar, considerando o sistema realimentado unitariamente. (2 val.)
- 1.4. Represente em diagrama de blocos o sistema realimentado com o controlador PID. (1 val.)

- 1.5. Obtenha a função de transferência do sistema realimentado considerando a sintonização do controlador PID obtida. (1 val.)
 - 1.6. Apresente a sequência de comandos em Matlab para implementar o sistema de controlo referido na alínea 2.2, considerando uma resposta representada graficamente ao degrau unitário, para um tempo de 10 s, com incrementos de 0.5 s. (2 val.)
2. Considere a seguinte planta de um sistema: $\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{16}{s^2 + 8s + 16}$ e determine, considerando uma entrada em degrau unitário os seguintes parâmetros:
- 2.1. A atenuação do sistema (0.5 val.)
 - 2.2. A frequência natural não amortecida (0.5 val.)
 - 2.3. O factor de amortecimento (0.5 val.)
 - 2.4. A classificação em que se insere o sistema em termos de amortecimento. Justifique. (1 val.)
 - 2.5. O tempo de atraso (0.5 val.)
 - 2.6. O tempo de subida (0.5 val.)
 - 2.7. O tempo de pico (0.5 val.)
 - 2.8. O tempo de estabelecimento a 2 % (0.5 val.)
 - 2.9. O overshoot (%) (0.5 val.)
3. Considere o seguinte sistema hidráulico:



- 3.1. Represente-o sob a forma matricial, utilizando espaço de estados. (5 val.)

Enunciado do Trabalho Teórico-prático e de Simulação

ENG. ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES – ANO LETIVO 2016/17

TEORIA DE SISTEMAS E CONTROLO
2º ANO
TRABALHO TEÓRICO PRÁTICO E DE SIMULAÇÃO



- 1) **Escolha um sistema dinâmico de 2ª ordem e resolva o seguinte conjunto de questões, de forma analítica:**
 - a) Modele matematicamente o sistema no domínio de Laplace considerando a relação entre o parâmetro de saída escolhido e o parâmetro de entrada;
 - b) Considere que se aplica uma entrada em degrau unitário, calcule a resposta da saída do sistema no domínio do tempo;
 - c) Considere que o sistema sofre uma perturbação, que resulta na inclusão de um integrador duplo na função de transferência da planta. Aplique as regras de Ziegler-Nichols para sintonizar corretamente um controlador PID a aplicar no sistema;
 - d) Para a função de transferência do sistema, calcule a atenuação, a frequência natural não amortecida e o fator de amortecimento, classificando seguidamente o sistema em termos de amortecimento;
- 2) **Seguidamente, utilizando uma ferramenta computacional, à sua escolha:**
 - a) Obtenha a representação gráfica da saída do sistema para o degrau unitário em malha aberta (condições da alínea b anterior);
 - b) Obtenha a representação gráfica da saída do sistema para o degrau unitário em malha fechada (condições da alínea c anterior).
- 3) **Elabore um relatório sobre o trabalho realizado.**

Exame da Época de Recurso



| ENUNCIADO de EXAME | |
|---|-------------|
| CURSO: | |
| UNIDADE CURRICULAR: | |
| ANO CURRICULAR: | SEMESTRE: |
| DOCENTE: | |
| <input type="checkbox"/> Época Normal <input type="checkbox"/> Época Exames <input type="checkbox"/> Época Especial <input type="checkbox"/> Exame Especial (a) <input type="checkbox"/> Justificação de Faltas | |
| <input type="checkbox"/> Com consulta <input type="checkbox"/> Sem consulta Duração: [] hora [] minutos Tolerância: [] minutos | |
| ANO LECTIVO: | DATA EXAME: |

Notas:

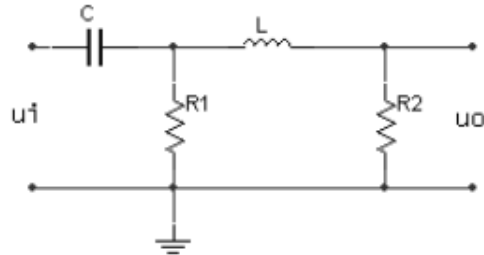
- Qualquer tentativa de fraude implica a anulação do exame;
- Pode trocar a ordem das questões, desde que as identifique convenientemente;
- Identifique as suas folhas de exame com o seu nome e número de estudante;
- Numere as suas folhas de exame;
- Identifique as suas respostas de acordo com a numeração das questões;
- Utilize uma caligrafia legível.

- Cotação: 1- 5 valores 2- 10 valores 3- 5 valores

1- Responda, utilizando palavras suas, ao conjunto de questões teóricas/ teórico-práticas infra apresentadas.

- a) Distinga sistemas de controlo manual de sistemas de controlo automático, referindo quer as características associadas a ambos quer as suas vantagens/desvantagens. **(2 val.)**
- b) Indique quais os elementos nucleares de um sistema de controlo automático, apresentando também as funções de cada. **(1 val.)**
- c) Distinga controlo regulador de servo controlo, indicando exemplos reais de aplicação de cada estratégia. **(1 val.)**
- d) Considere o sistema de controlo automático de velocidade de cruzeiro de um automóvel. Indique os dispositivos, que efectuem tipicamente, a medida da variável a controlar e que tomam decisões. Apresente também as funções de acção e classifique o seu funcionamento. **(1 val.)**

2- Considere o seguinte circuito, onde $R2/L = 10$ e $R1xC=0.5$:



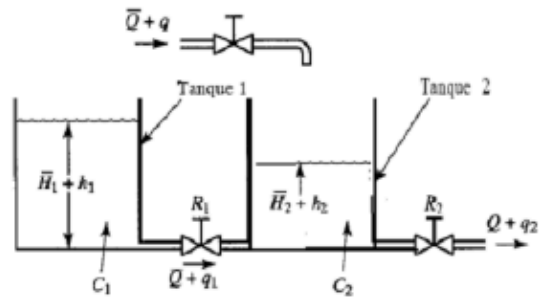
- a) Modele matematicamente o circuito de forma a obter a função de transferência, no domínio de Laplace, $U_o(s)/U_i(s)$. (2 val.)

Nota: Caso não tenha conseguido efectuar a questão 1a), considere para as restantes alíneas que

$$\frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{5s}{(s+5)(s+20)}$$

- b) Determine a tensão de saída do circuito, no domínio do tempo, $u_o(t)$, para uma tensão de entrada em degrau, de amplitude 10 V, após 100 ms (malha aberta). (2 val.)
- c) Multiplique a função de transferência do sistema por um integrador duplo ($1/s^2$). Aplique a 2ª regra de Ziegler- Nichols para sintonizar correctamente um controlador PID a aplicar, considerando o sistema realimentado unitariamente. (2 val.)
- d) Represente em diagrama de blocos o sistema realimentado com o controlador PID. (1 val.)
- e) Obtenha a função de transferência do sistema realimentado considerando a sintonização do controlador PID obtida. (2 val.)
- f) Apresente a sequência de comandos em Matlab para implementar o sistema de controlo referido na alínea 1e, considerando uma resposta representada graficamente ao degrau unitário, para um tempo de 10 s, com incrementos de 0.5 s. (1 val.)

3- Considere o seguinte sistema:



1.1. Determine a relação entre $H_2(s)$ e $Q(s)$ (3 val.)

1.2. Represente-o sob a forma matricial, utilizando espaço de estados. (2 val.)

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

ANEXO D - Resultados do Inquérito de Avaliação Pedagógica no Ano Letivo 2016/17

Relatório

21/09/20, 23:53

Ano Letivo

Apoio ao Utilizador

Nome de utilizador: Vítor Hugo Mendes da Costa Carvalho. (Sair)



Minha página principal ► Relatório ► Ver todas as Respostas

View Todas as respostas- ver 10

View Default order Ascending order Descending order

ⓘ Todos os participantes

Ver todas as Respostas. Todos os participantes. View Default order ⓘ

Notação

A_i – número de alunos inscritos na unidade curricular: 16

A_f – número de alunos com frequência na unidade curricular: 10

R_{f_i} - número de respostas à i -ésima questão, dadas por alunos com frequência na unidade curricular. 10

R_i - número de respostas à i -ésima questão, dadas por alunos inscritos na unidade curricular. 10

<https://elearning.ipca.pt/1617/mod/qa/report.php?instance=299&sid=299&action=vall>

Página 1 de 9

Relatório

21/09/20, 23:53

| Dimensão | Representatividade | Representa |
|---------------------------------|---------------------------------------|------------|
| Funcionamento da UC | $R_{f_1} \geq \max(0.3 \cdot A_f, 6)$ | Sim |
| Atividade Pedagógica do Docente | $R_{f_1} \geq \max(0.3 \cdot A_f, 6)$ | Sim |
| Autoavaliação do estudante | $R_i \geq \max(0.3 \cdot A_i, 6)$ | Sim |

Questionário Teoria de Sistemas e Controlo (EEC) (Vitor Hugo Mendes da Costa Carvalho)

Regime Presencial - Licenciaturas

1 Dados da UC

1.1 Ano Letivo

201617

1.2 Código do Curso

9112

<https://elearning.ipca.pt/1617/mod/qa/report.php?instance=299&sid=299&action=vall>

Página 2 de 9

1.3 Código da Disciplina
10012

1.4 Código do Docente
180

2 Assiduidade do estudante ao par UC/Docente

2.1 Qual a sua frequência às aulas deste docente/UC? (Se nunca frequentou o questionário termina)

| Resposta | N | % |
|----------------------------------|-------|------|
| Frequentou mais de 2/3 das aulas | 1 | 10% |
| Frequentou todas as aulas | 9 | 90% |
| Total | 10/10 | 100% |

2.2 A sua baixa frequência às aulas desta UC deveu-se a:

Nenhuma resposta para esta questão.

3 Funcionamento da Unidade Curricular

3.1 Como avalia o funcionamento da Unidade Curricular relativamente aos aspetos a seguir apresentados:

| | Min | Max | S/O (#) | Classificação Média | | | | | | | Média | DevPad | Considerado na média |
|--|-----|-----|---------|---------------------|---|---|---|---|---|---|-------|--------|----------------------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | | |
| 1. Clareza nos objectivos definidos no programa da UC | 4 | 7 | 0 | | | | | | | | 5.70 | 1.100 | ✓ |
| 2. Adequação da carga horária semanal (horas de contacto) ao programa da UC | 4 | 7 | 0 | | | | | | | | 5.70 | 0.900 | ✓ |
| 3. Adequação do volume de trabalho da UC, fora das horas de contacto | 5 | 7 | 0 | | | | | | | | 6.10 | 0.831 | ✓ |
| 4. Correspondência entre o volume de trabalho exigido para a UC e o número de ECTS | 5 | 7 | 0 | | | | | | | | 5.80 | 0.748 | ✓ |
| 5. Contributo da UC para a formação na área do curso | 4 | 7 | 0 | | | | | | | | 5.90 | 1.044 | ✓ |
| 6. Adequação dos meios | 5 | 7 | 0 | | | | | | | | 6.10 | 0.831 | ✓ |

disponibilizados para o funcionamento da UC (salas, equipamentos...)

| | | | | | | | |
|--|---|---|---|--|-------------|-------|---|
| 7. Adequação dos métodos de avaliação aos objetivos da UC | 4 | 7 | 0 | | 5.90 | 1.044 | ✓ |
| 8. Suficiência da bibliografia recomendada aos conteúdos programáticos da UC | 3 | 7 | 0 | | 5.50 | 1.284 | ✓ |
| 9. Posicionamento da UC no plano de estudos do curso | 4 | 7 | 0 | | 5.70 | 1.100 | ✓ |
| 10. Adequação do número de estudantes da turma | 5 | 7 | 0 | | 6.30 | 0.781 | ✓ |
| 11. Grau de satisfação global com a UC | 4 | 7 | 0 | | 5.80 | 0.980 | |
| Média da Dimensão | | | | | 5.87 | | |

3.2 Houve repetição de conteúdos dos programa lecionados nesta UC com outra(s) UC(s) do curso?

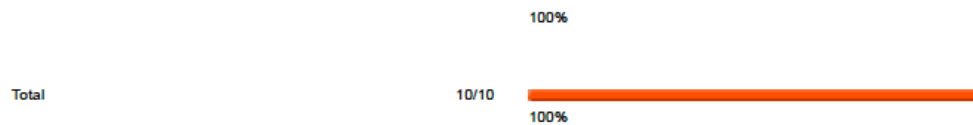
| Resposta | N | % |
|----------|----|---|
| Sim | 0 | |
| Não | 10 | |

<https://elearning.jpca.pt/1617/mod/quiz/report.php?instance=299&sid=299&action=wall>

Página 5 de 9

Relatório

21/09/20, 23:53



Se sim, indique quais?

Nenhuma resposta para esta questão.

4 Atividade Pedagógica do Docente

4.1 Como avalia a Atividade Pedagógica do Docente relativamente aos aspetos a seguir apresentados:

| | Min | Max | S/O (#) | Classificação Média | | | | | | | Média | DevPad | Considerado na média |
|--|-----|-----|---------|---------------------|---|---|---|---|---|---|-------|--------|----------------------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | | |
| 1. Clareza na apresentação/exposição dos conteúdos programáticos da UC | 3 | 7 | 0 | | | | | | | | 5.50 | 1.360 | ✓ |
| 2. Valorização da participação dos estudantes nas atividades de aprendizagem | 4 | 7 | 1 | | | | | | | | 5.56 | 1.257 | ✓ |
| 3. Adequação das estratégias e | 3 | 7 | 0 | | | | | | | | 5.60 | 1.357 | ✓ |

<https://elearning.jpca.pt/1617/mod/quiz/report.php?instance=299&sid=299&action=wall>

Página 6 de 9



metodologias de ensino/aprendizagem adotadas aos programa da UC

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|--|-------------|-------|--|
| 4. Capacidade de estimular a motivação e interesse nos estudantes | 3 | 7 | 0 | | 5.80 | 1.327 | |
| 5. Cumprimento das regras de avaliação previamente definidas no programa da UC | 4 | 7 | 0 | | 5.90 | 1.300 | |
| 6. Disponibilidade para o acompanhamento dos estudantes, fora das horas de contacto (aulas) | 3 | 7 | 2 | | 5.25 | 1.581 | |
| 7. Empenho na lecionação da UC | 3 | 7 | 0 | | 5.60 | 1.281 | |
| 8. Criação de um clima favorável à aprendizagem | 4 | 7 | 0 | | 6.10 | 0.943 | |
| 9. Pontualidade às aulas | 4 | 7 | 0 | | 5.80 | 1.077 | |
| 10. Apreciação global do docente | 4 | 7 | 0 | | 5.90 | 0.943 | |
| Média da Dimensão | | | | | 5.68 | | |

5 Autoavaliação do estudante

5.1 Como avalia a sua prestação enquanto estudante neste par UC/Docente:

| | Min | Max | S/O (#) | Classificação Média | | | | | | | Média | DevPad | Considerado na média |
|--|-----|-----|---------|---------------------|---|---|---|---|---|---|-------|--------|----------------------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | | |
| 1. Os meus conhecimentos anteriores foram suficientes para o acompanhamento desta UC | 2 | 7 | 0 | | | | | | | | 5.10 | 1.448 | |
| 2. Participo ativamente nas atividades de ensino/aprendizagem (aulas, trabalhos, etc.) | 4 | 7 | 0 | | | | | | | | 5.80 | 0.980 | |
| 3. Recorro ao apoio dos docentes | 1 | 7 | 0 | | | | | | | | 5.20 | 1.720 | |
| 4. A UC permitiu-me a aquisição e desenvolvimento das competências adequadas à área de formação do curso | 3 | 7 | 0 | | | | | | | | 5.50 | 1.204 | |
| 5. A UC permitiu-me desenvolver capacidades de reflexão crítica | 4 | 7 | 0 | | | | | | | | 5.90 | 0.831 | |

| | | | | | | |
|--|---|---|---|---|-------------|-------|
| 8. Grau de satisfação global com a minha prestação | 5 | 7 | 0 |  | 5.80 | 0.748 |
| Média da Dimensão | | | |  | 5.50 | |

Observações e comentários

Nenhuma resposta para esta questão.



TOPO

**Info**

IPCA

Siga IPCA

E-mail IPCA

Escola Superior de Tecnologia

Escola Superior de Gestão

Escola Superior de Design

Contact usVila Frescaíña S. Martinho 4750-810
BARCELOS

Phone: (+351) 253 802 190

E-mail: suporte@ipca.pt

Follow us



Copyright IPCA - Instituto Politécnico do Cávado e do Ave