

Programa, Conteúdos e Métodos de Ensino Teórico e Prático

Técnicas de Reconhecimento de Padrões

BERNARDETE MARTINS RIBEIRO

COIMBRA

MARÇO 2010

Programa, Conteúdo e Métodos de Ensino:
“Técnicas de Reconhecimento de Padrões”

Relatório elaborado para satisfação parcial das condições de
admissão às provas para o título de Agregado, de acordo
com o Decreto nº 301/72.

Parte I

Programa, Fundamentos e Métodos de Ensino

Conteúdo

I Programa, Fundamentos e Métodos de Ensino	1
1 Introdução	4
2 Enquadramento	6
2.1 A Reforma de Bolonha	6
2.2 A Reforma de Bolonha no DEI	7
2.3 O Mestrado de Engenharia Informática	9
2.3.1 A Opção Temática de Sistemas e Computação	10
2.4 A Disciplina de Técnicas de Reconhecimento de Padrões	11
2.4.1 Modelo Lectivo da Disciplina de TRP	11
2.4.2 Articulação com outras Disciplinas	11
3 Ensino de Técnicas de Reconhecimento de Padrões	18
3.1 Importância do Ensino de Reconhecimento de Padrões	18
3.2 Em Instituições Nacionais	19
3.2.1 Mestrado Integrado em Engenharia de Computadores e Telemática, Universidade de Aveiro	19
3.2.2 Mestrado Integrado de Engenharia Electrónica e Telecomunicações	19
3.2.3 Mestrado em Engenharia Informática e de Computadores, Instituto Superior Técnico	19
3.2.4 Mestrado em Engenharia Informática, Universidade de Lisboa	20
3.2.5 Mestrado em Informática, Universidade de Lisboa	20
3.2.6 Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação, Faculdade de Engenharia de Lisboa	20
3.2.7 Mestrado Integrado em Engenharia Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto	20
3.2.8 Mestrado em Ciência da Informação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto	20
3.2.9 Mestrado em Engenharia Informática e Mestrado em Informática, Universidade do Minho	20
3.2.10 Mestrado em Engenharia Informática, Universidade Nova de Lisboa	22
3.3 Em Instituições Estrangeiras	23
4 Métodos de Ensino e Avaliação	24
4.1 Contornos Gerais	24
4.2 Estratégia de Ensino Adoptada	25
4.3 Avaliação	27
5 Programa e Conteúdos de TRP	29
5.1 Introdução	29
5.2 Motivação	29

5.3	Objectivos	31
5.4	Programa e Conteúdo	32
5.5	Aulas Teóricas	32
5.5.1	Análise do Programa	32
5.5.2	Calendarização e Método de Ensino	40
5.6	Aulas Práticas	41
5.7	Bibliografia Adoptada	43
	Bibliografia	43
6	Considerações Finais	45
II	Anexos	47
A	Plano de Estudos da LEI	48
B	Plano de Estudos do PDTCI	50
C	Fichas Práticas	52
D	Enunciados das Provas	53
E	Enunciados dos Projectos	54
F	Apresentação de TRP	55
G	Projecções das Aulas Teóricas	56
H	Sumários das Aulas Teóricas e Práticas (<i>WebOnCampus</i>)	57
I	Relatório de Projecto de um Aluno	58
J	Referências Electrónicas	59

Capítulo 1

Introdução

O presente relatório descreve o enquadramento, objectivos, programa e conteúdos, estratégia pedagógica e métodos de ensino e de avaliação da disciplina de Técnicas de Reconhecimento de Padrões (TRP), unidade curricular do 1º semestre do 2º ano do Mestrado em Engenharia Informática (MEI) do Departamento de Engenharia Informática da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Esta disciplina foi criada como resultado do processo de adaptação ao modelo de Bolonha da anterior Licenciatura em Engenharia Informática, com duração de 5 anos, de que resultou o lançamento de dois novos cursos correspondentes aos dois primeiros ciclos de estudos: a Licenciatura em Engenharia Informática (LEI), com duração de 3 anos, e o Mestrado em Engenharia Informática, com duração de 2 anos, correspondendo ao modelo adoptado no espaço europeu. A adopção do modelo de Bolonha no departamento passou ainda pela criação de um Programa de Doutoramento em Ciências e Tecnologias da Informação (PDCTI) correspondente ao 3º ciclo de estudos.

A disciplina de TRP pertence à área curricular de Especialidades Optativas (OP), que integra um conjunto diversificado de cadeiras, as quais o aluno pode escolher de forma livre de modo a realizar 66 ECTS do total de 120 necessários para a conclusão do curso. As duas restantes áreas curriculares, nomeadamente, Economia, Gestão e Ciências Sociais (EGCS) e Dissertação/Estágio (DES) contêm as disciplinas obrigatórias, perfazendo os restantes 54 ECTS.

À semelhança doutros cursos da mesma índole, foram definidos grupos de disciplinas optativas, denominados Opções Temáticas¹ (OTs), correspondendo a uma especialização numa determinada área científico-tecnológica. As OTs são compostas por um grupo de cadeiras considerado nuclear para essa área (Círculo Central) e um grupo de disciplinas suplementares (2º Círculo). A obtenção de uma Opção Temática é conferida pela obtenção de 24 ECTSs em disciplinas do seu Círculo Central e de 18 ECTSs em disciplinas do seu 2º Círculo. A disciplina de TRP está incluída no 2º Círculo da OT em Sistemas e Computação.

Embora esta unidade curricular, como referido acima, tivesse sido criada com a Reforma de Bolonha (e vindo a funcionar regularmente no decurso destes 4 anos) havia já sido proposta pela autora para satisfação dos requisitos do concurso documental para Prof Associado do Departamento de Engenharia Informática em 2005².

¹Noutros cursos de Mestrado, Reforma de Bolonha, foram definidas unidades curriculares de especialização (UCEs) com funcionalidades semelhantes.

²Relatório elaborado nos termos da alínea a) do artº9 do Decreto-Lei nº301/72 no âmbito do concurso docu-

O relatório inicia-se com a presente Introdução, seguindo-se no próximo Capítulo o enquadramento de TRP, na Reforma de Bolonha, no MEI, dando-se ênfase à sua contextualização quer na LEI a montante, quer no PTDCI a jusante. No Capítulo 3 analisa-se o ensino de TRP no contexto avançado de Engenharia Informática, no 2º ciclo, quer no plano nacional, tendo como referência as principais Universidades, quer no plano internacional, tendo como referência algumas Universidades do espaço europeu não deixando porém de mencionar algumas Universidades americanas. No Capítulo 4 são objecto de exposição e discussão os métodos de ensino e avaliação. No Capítulo 5 são sintetizados os objectivos da disciplina, que nortearam a definição dos seus conteúdos, o programa e respectiva calendarização da disciplina. No Capítulo 6 são efectuadas as considerações finais. O relatório termina com a indicação da bibliografia geral da disciplina em que o respectivo programa se encontra organizado. O relatório contém ainda um conjunto de Anexos que nos pareceram de interesse para a fundamentação de alguns aspectos do mesmo.

Capítulo 2

Enquadramento

2.1 A Reforma de Bolonha

O Processo de Bolonha visa estabelecer uma Área Europeia de Ensino Superior, que permita o reconhecimento dos estudos (e da qualidade dos mesmos) realizados em cada país da Europa. O propósito é incentivar a mobilidade entre países, tornando o Espaço Europeu de Ensino Superior mais atractivo para os estudantes de outros países. Estes princípios levaram à adopção de um sistema estruturado em 3 ciclos de estudos, com graus facilmente reconhecíveis e comparáveis. O instrumento base é sistema de créditos ECTS (*European Credit Transfer and Accumulation System*), que considera a globalidade do trabalho de formação do aluno, incluindo não só as aulas e outras actividades realizadas em contacto com docentes, mas também todo o seu trabalho de estudo e reflexão.

O processo de formação passa a estar sobretudo centrado no processo de aprendizagem ao invés de se centrar no trabalho de leccionação do docente. Ou seja, passa a estar centrado no estudante e nas horas de trabalho que dedica às aulas, seminários, estudo, exames, realização de trabalhos, reflexão sobre as matérias.

Os programas de estudo passam a ser organizados com base nas competências que o aluno deve alcançar no fim do período de estudos. Estas competências são específicas ao curso e área de estudo, mas também competências transversais como a capacidade para analisar situações e resolver problemas, capacidades comunicativas, liderança, integração em equipa, adaptação à mudança, capacidade de seleccionar informação, de a organizar e sintetizar, entre outras.

Em [Bergen, 2005], são definidos para cada ciclo descritores genéricos constituindo Resultados de Aprendizagem baseados em Competências. É assim definido um sistema de ensino baseado na transmissão de conhecimentos para um sistema baseado no desenvolvimento de competências.

Nesta linha, em [Tuning, 2005] procura-se também definir perfis profissionais comparáveis e possibilitar que os diplomas sejam mais facilmente legíveis em termos dos seus conteúdos, de forma a promover a empregabilidade no mercado de emprego europeu. Um dos seus contributos relevantes foi o desenvolvimento de uma metodologia para a construção, compreensão, avaliação e ajustamento de cursos, tendo em vista uma melhoria sustentada da qualidade, vista como parte integrante de cada processo educacional (ver Figura 2.1¹).

¹ Adaptado de <http://www.dges.mctes.pt/DGES/pt/Estudantes/Processo+de+Bolonha/Processo+de+Bolonha/>

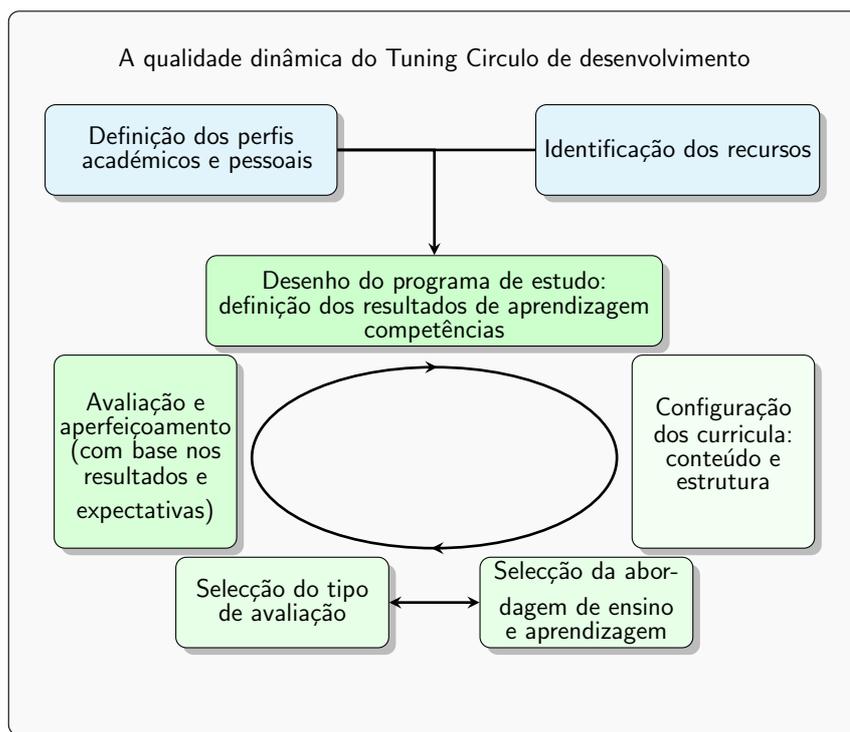


Figura 2.1: Círculo de melhoria dinâmica da qualidade proposto por Tuning

Outra iniciativa de impacto *Joint Quality Initiative* visa a descrição dos Descritores de Dublin [DublinDescriptors, 2004], que estabelecem os objectivos de cada um dos ciclos de estudos na perspectiva das competências a adquirir, os quais passaram a estar incluídos na legislação portuguesa (cf. Decreto-Lei 74/2006).

2.2 A Reforma de Bolonha no DEI

Para melhor enquadramento do Processo de Bolonha no DEI apresentamos na Figura 2.2 os cursos existentes no DEI, que englobam desde a Reforma Curricular da LEI de 2002, a criação de um novo curso de Licenciatura de 4 anos, em Comunicações e Multimédia, e a criação em 2003 do Mestrado em Informática e Sistemas, o MISuc. Este curso de Mestrado veio de certa forma estabelecer os alicerces do futuro Programa Doutoral.

Após todo um trabalho prévio, bem pensado e estruturado, que em grande parte auferiu da metodologia seguida por Tuning, foram criados no DEI os novos cursos - englobando os 3 ciclos. O trabalho de reflexão incidu em aspectos tão essenciais quanto diversificados tais como: implicações sobre a adopção do modelo a nível nacional, a evolução do ensino da Engenharia Informática no plano internacional, necessidades do mercado de emprego, recursos humanos, logísticos e materiais disponíveis. Deste trabalho resultou a definição dos perfis académicos e profissionais tendo por base a concepção dos planos de estudo, incluindo a explicitação dos objectivos de aprendizagem (competências e saberes). Foram então tomadas em consideração neste processo de reflexão as seguintes fontes:

- Conclusões da Declaração de Bolonha [Bologna, 1999], e deliberações de reuniões ministeriais europeias que as consolidaram;

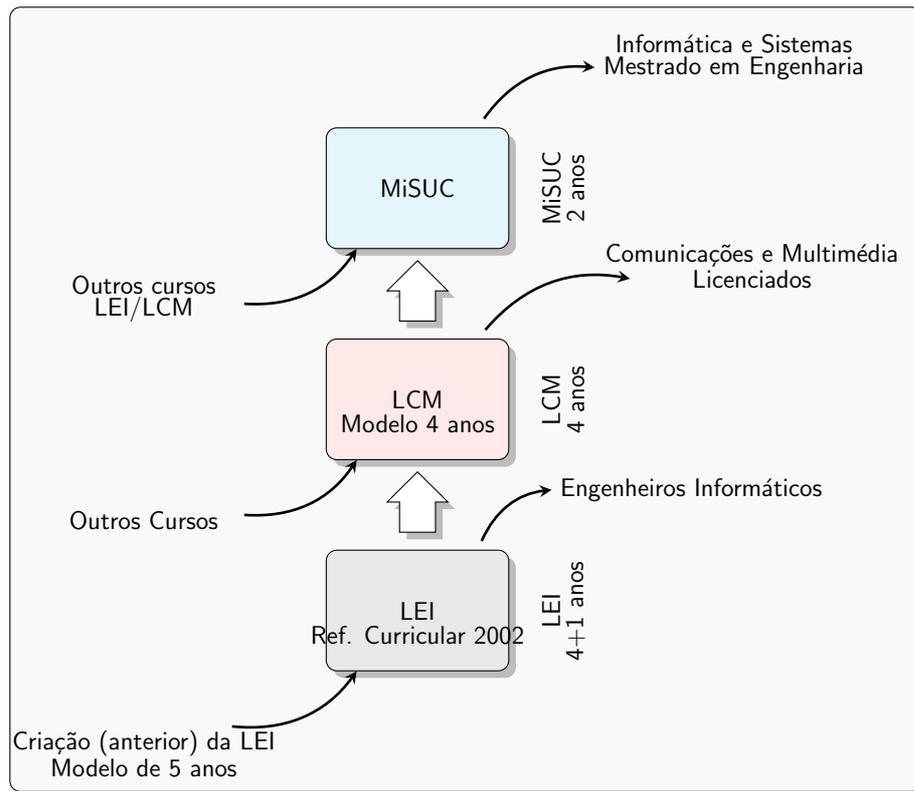


Figura 2.2: Cursos pré-Bolonha DEI

- Recomendações curriculares da *Association for Computer Machinery* (ACM) e do *Institute for Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) [CC, 2008]
- Recomendações por um painel alargado de especialistas nacionais que apoiou o DEI nesta reformulação;
- Recomendações das comissões do Conselho Nacional de Avaliação do Ensino Superior (CNAVES) que avaliaram a LEI;
- Recomendações formuladas pela Ordem dos Engenheiros, que aprovou a acreditação da LEI por um novo período de seis anos.

Numa segunda fase procedeu-se ao desenho das opções temáticas e das unidades curriculares, começando-se por identificar em cada uma as competências genéricas e específicas relevantes para MEI, constituídas como objectivos de aprendizagem. Posteriormente foram ainda definidas as estratégias pedagógicas, métodos pedagógicos e métodos de avaliação

A Reforma efectuada envolve os 3 Ciclos de Estudos com o lançamento de uma Licenciatura (LEI), um Mestrado (MEI) e um Programa de Doutoramento (PDCTI), assumindo como seu principal objectivo a constituição de um sistema de formação de elevada qualidade.

A Figura 2.3 ilustra o modelo adoptado segundo as 3 vertentes principais: duração de cada ciclo, esforço em realizado (em ECTS) e tipos de acesso (entrada e saída) de cada ciclo.

O curso do 1º Ciclo [BolonhaLEI, 2006], a montante do MEI, assume nitidamente um modelo de banda larga. Tendo em consideração quer a rápida evolução da informática, quer a volatilidade do mercado de trabalho, considerou-se de primordial importância dotar os diplomados pela LEI de capacidades que acompanhassem essa dinâmica ao invés da empregabilidade directa.

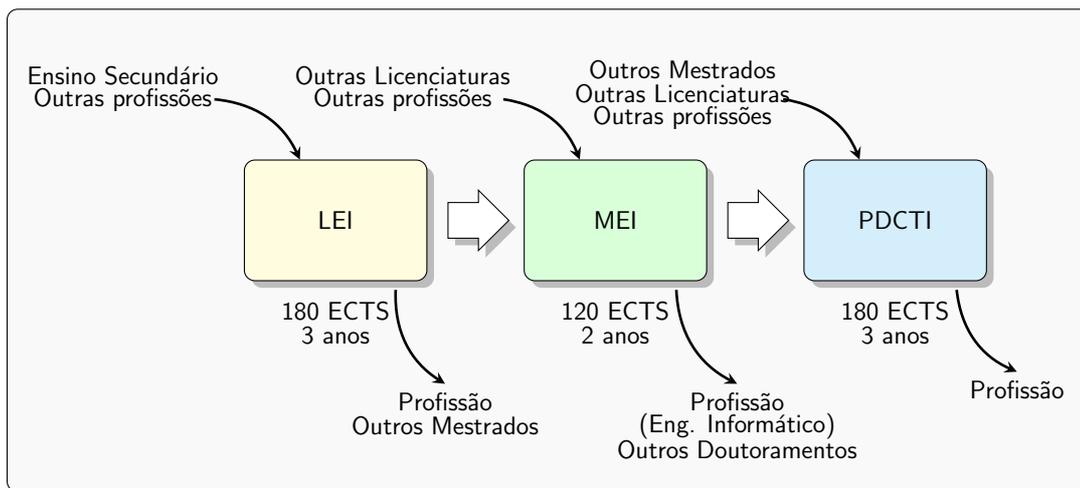


Figura 2.3: Cursos pós-Bolonha no DEI

Assim, consideraram-se primordiais a aprendizagem dos fundamentos, ministrando uma sólida formação de base capaz de fazer face às evoluções tecnológicas de curto-prazo. O curso contém, assim, sólidas componentes de fundamentos de Programação e de Informática, bem como componentes de Matemática e de Física. Contém ainda um conjunto seleccionado de unidades curriculares de transição para a vida profissional e para prosseguimento em estudos mais avançados, mas é, contudo, deliberadamente reduzido o peso da formação profissionalizante: não existe uma unidade curricular de Estágio e oferecem-se apenas duas disciplinas especificamente orientadas para a aquisição de competências relacionais e de gestão.

No Anexo A apresentamos o Plano de Estudos da LEI. Mais informação sobre o curso encontra-se disponível em <http://eden.dei.uc.pt/~bribeiro/LEIBolonha.pdf>.

A jusante do MEI encontra-se o novo Programa de Doutoramento, destinado a proporcionar formação avançada e de elevada especialização em contexto de investigação.

No Anexo B apresentamos o Plano de Estudos do PDCTI. Mais informação sobre o curso encontra-se disponível em <http://eden.dei.uc.pt/~bribeiro/MEIBolonha.pdf>.

2.3 O Mestrado de Engenharia Informática

O Mestrado em Engenharia Informática [BolonhaMEI, 2006] tem uma duração de 4 semestres. A conclusão do curso implica a obtenção de um mínimo de 120 ECTS, que incluem a elaboração de uma Dissertação/Estágio representando 42 ECTSs.

Ao contrário do que acontece com o 1º Ciclo, existe uma formação mais especializada neste ciclo, em consonância com o espírito da Declaração de Bolonha.

A Tabela 2.1 explicita os Objectivos de Aprendizagem do MEI, entendidos como requisitos para a obtenção do grau. Estruturados segundo os Descritores de Dublin, integram competências de carácter horizontal e competências específicas da profissão, tendo como referência os perfis identificados para a profissão de Engenheiro Informático durante o processo de concepção do curso.

O Plano de Estudos do MEI encontra-se sistematizado na Tabela 2.2. O aluno tem ao seu dispor um conjunto abrangente de disciplinas susceptível de lhe permitir um perfil de formação individualizado. Neste enquadramento, verifica-se que as unidades curriculares “Dis-

sertação/Estágio”, “Gestão de Empresas” e “Organização, Comportamento, Conhecimento e Inovação”, são obrigatórias, enquanto todas as outras unidades curriculares são optativas.

As últimas três têm por objectivo a construção de competências sociais, organizacionais e de gestão, procurando reforçar os resultados obtidos na LEI no sentido da familiarização, em contexto, com os processos do empreendedorismo, os aspectos financeiros das empresas, os planos de negócios e de marketing e respectiva concepção e exploração, bem como com o desenvolvimento dos saberes e competências associados à opção por distintos modelos organizacionais, com os princípios do comportamento organizacional, da aprendizagem organizacional e da gestão do conhecimento e com os processos de inovação, dos mais clássicos e locais até aos mais orgânicos e cooperativos.

A escolha das unidades optativas pode ser feita de acordo com agrupamentos aconselhados, denominados Opções Temáticas (OTs), cada uma das quais se traduz numa ênfase em determinada área científico-tecnológica. São definidas três Opções Temáticas, que coincidem largamente com as áreas definidas nas recomendações curriculares ACM/IEEE:

- Engenharia de Redes de Comunicação
- Sistemas e Computação
- Sistemas de Informação e Engenharia de Software

Cada OT especifica um grupo de unidades curriculares considerado nuclear para a área em questão (Círculo Central) e um grupo de disciplinas suplementares (2º Círculo). A obtenção de uma Opção Temática é conferida pela obtenção de 24 ECTS em disciplinas do seu Círculo Central e de 18 ECTS em unidades curriculares do seu 2º Círculo. Passamos a descrever a OT em Sistemas e Computação, de cujo 2º círculo faz parte a unidade curricular de TRP.

2.3.1 A Opção Temática de Sistemas e Computação

Esta área temática visa a concepção, desenvolvimento e implementação dos processos (e mecanismos) que permitam integrar de forma coerente soluções com as seguintes características apresentadas em [BolonhaMEI, 2006]:

- Robusto(a)s, porque tolerantes a falhas e a mudanças no ambiente;
- Eficazes, porque resolvem correctamente os problemas para que foram desenvolvidas;
- Eficientes, porque resolvem os problemas minimizando os recursos necessários produzindo resultados óptimos ou quase óptimos;
- Adaptáveis, porque capazes de responder de modo autónomo às exigências dos problemas que lhe são colocados.

A Tabela 2.3 descreve os Objectivos de Aprendizagem definidos para esta OT, que apresenta como pré-requisitos indicativos a realização das disciplinas do primeiro ciclo na vertente programação, arquitectura de computadores, bases de dados, inteligência artificial e software de sistema.

Na Tabela 2.4 pode observar-se que o Círculo Central desta OT é constituído por 4 unidades curriculares (Computação de Alto Desempenho, Computação Evolucionária, Computação Adaptativa e Inteligência Artificial) que totalizam 24 ECTS. Estas disciplinas têm, pois, carácter obrigatório para quem pretenda realizar esta Opção Temática. No 2º Círculo, encontra-se um leque bastante alargado e diversificado de unidades curriculares com as quais se torna necessário realizar um mínimo de 18 ECTS, o que confere ao aluno grande flexibilidade na construção de um perfil próprio.

2.4 A Disciplina de Técnicas de Reconhecimento de Padrões

A disciplina de Técnicas e Reconhecimentos de Padrões (TRP) é uma disciplina do 2º Círculo, sendo leccionada no 1º semestre, do 2º ano do MEI. A disciplina está assim no final da sequência de cadeiras da opção Temática de Computação. Os alunos que tenham escolhido esta opção temática encontram encontram a jusante no plano de estudos do MEI, a presente disciplina. O Currículo da disciplina, numa perspectiva de um conjunto de “aprendizagens pretendidas” [Roldão, 2003] é apresentado na Tabela 2.6 que descreve as competências a adquirir, e no Quadro 6, onde são apresentados os conteúdos que deverão ser apropriados no processo de aprendizagem. Como pré-requisitos, estão as todas as disciplinas de Programação da LEI. Ainda importantes, como pré-requisitos, são todas as disciplinas base de Matemática com particular enfoque nas de Matemática Discreta, Álgebra, e Estatística. Na secção seguinte, analisamos as interacções de TRP com outras disciplinas.

2.4.1 Modelo Lectivo da Disciplina de TRP

O Modelo Lectivo previsto para a disciplina, que se apresenta na Tabela 2.5 prevê a realização de 30 horas de Aulas Teóricas e outras 30 de Prática Laboratorial e Seminários. Estão ainda previstas 102 horas para actividades de estudo e avaliação.

2.4.2 Articulação com outras Disciplinas

Quanto interacções com outras disciplinas do MEI, a montante de TRP, destacamos as que sumariamos na Tabela 2.7 (parte (a), e a jusante (parte (b))), onde incluímos os conteúdos de aprendizagem que nos parecem relacionarem-se mais com os resultados de aprendizagem de TRP.

1. Conhecimento e capacidade de compreensão

- Conhecer e compreender de forma crítica e aprofundada os princípios centrais da Engenharia Informática, designadamente os envolvidos nas soluções informáticas para problemas de complexidade e dimensão elevadas em engenharia de software, computação e algoritmia, sistemas de informação, redes de computadores e comunicação informática.
- Compreender de forma crítica os conhecimentos envolvidos nas soluções para as principais áreas de aplicação da Engenharia Informática.
- Conhecer e compreender os processos do empreendedorismo, a dimensão social das organizações, os aspectos económicos, financeiros, jurídicos e organizativos das empresas.

2. Aplicação de conhecimentos e compreensão

- Demonstrar capacidade para conceber, projectar e implementar soluções envolvendo os conhecimentos e conceitos adquiridos de forma reflexiva, em situações novas e não-familiares, designadamente em contextos alargados e envolvendo sinergias com outras áreas disciplinares e em áreas de especialização emergentes.

3. Realização de julgamento/tomada de decisões

- Demonstrar a capacidade para integrar conhecimentos, lidar com questões complexas, julgar de modo crítico novas propostas científicas e tecnológicas, desenvolver soluções, conceber modelos, sistemas e processos ou emitir juízos em situações de informação limitada ou incompleta, com requisitos em competição, incluindo reflexões sobre as implicações e responsabilidades éticas e sociais que resultem ou condicionem essas soluções e esses juízos
- Demonstrar capacidade para promover a busca e a aplicação de métodos e soluções inovadoras, apelando à curiosidade, à criatividade e ao rigor.

4. Comunicação

- Demonstrar a capacidade de comunicar as suas conclusões – e os conhecimentos e os raciocínios a elas subjacentes – quer a especialistas, quer a não especialistas, por via escrita ou oral, em contextos nacionais e internacionais, de uma forma clara e sem ambiguidades.
- Demonstrar capacidade para trabalhar de forma cooperativa, nomeadamente em contextos de liderança envolvendo equipas heterogéneas.

5. Competências de auto-aprendizagem

- Demonstrar ter desenvolvido as competências que lhe permitam prosseguir autonomamente na ampliação dos saberes e competências, de um modo fundamentalmente auto-orientado.

Tabela 2.1: Objectivos de Aprendizagem do MEI

UNIDADES CURRICULARES	H. CONTACTO	SEM	ECTS	TIPO
1º ano				
Computação Adaptativa	T:30; PL:30; O:2 = 62	1	6	Opc.
Fundamentos de Sistemas de Comunicação	T:30; PL:30; O:2 = 62 1	1	6	Opc.
Gestão de Sistemas e Redes	T:30; PL:30; O:2 = 62	1	6	Opc.
Integração de Sistemas	T:30; PL:30; O:2 = 62	1	6	Opc.
Inteligência Artificial	T:30; PL:30; O:2 = 62	1	6	Opc.
Interacção Humano-Computador	T:30; PL:30; TC:2 = 62	1	6	Opc.
Mobilidade em Redes de Comunicação	T:30; PL:30; O:2 = 62	1	6	Opc.
Sistemas de Gestão de Dados	T:30; PL:30; O:2 = 62	1	6	Opc.
Org, Comp, Conhecimento e Inovação	T:15; S/OT:45; TC:2 = 62	2	6	Obrig.
Aplicações para Internet	T:20; PL:35; OT:5; O:2 = 62	2	6	Opc.
Computação de Alto Desempenho	T:30; PL:30; O:2 = 62	2	6	Opc.
Computação Evolucionária	T:30; PL:30; O:2 = 62	2	6	Opc.
Estudo e Desenvolvimento de Jogos	T:30; PL:30; O:2 = 62	2	6	Opc.
Gestão de Projectos de Software	T:20; PL:40; O:2 = 62	2	6	Opc.
Informática Médica	T:30; PL:20; TC:5; OT:5; O:2=62	2	6	Opc.
Inteligência no Negócio	T:30; PL:30; TC:2 = 62	2	6	Opc.
Laboratório de Comunicações	T:15; PL:45; O:2 = 62	2	6	Opc.
Modelação e Desempenho de Redes	T:30; PL:30; TC:2 = 62	2	6	Opc.
Multimédia Avançada	T:15; S:5; PL:18; O:5 = 43	2	6	Opc.
Planeamento e Gestão da Produção	T:25; PL:30; S:3; O:4 = 62	2	6	Opc.
Segurança em Sistemas de Comunicação	T:30; PL:30; O:2 = 62	2	6	Opc.
Segurança em Sistemas de Informação	T:27; PL:33; O:2 = 62	2	6	Opc.
Sistemas Inteligentes para Gestão de Conhecimento	T:20; P:30; S:10; O:2 = 62	2	6	Opc.
Sistemas Ubíquos	T:14; PL:14; PR:12; S:10; O:3=53	2	6	Opc.
Visão Computacional	T:30; PL:30; O:2 = 62	2	6	Opc.
Manipuladores e Robótica	T:30; PL:30; O:2 = 62	2	6	Opc.
Teoria da Comunicação	T:30; PL:30; O:2 = 62	2	6	Opc.
Processamento Digital do Sinal e da Voz	T:30; PL:30; O:2 = 62	2	6	Opc.
1º ano				
Gestão de Empresas	T:15; S/OT:45; TC:2 = 62	1	6	Obrig.
Aplicações Telemáticas	T:15; PL:30; O:2 = 47	1	4	Opc.
Engenharia de Redes	T:15; PL:30; O:2 = 47 1 4 Opc.	1	4	Opc.
Gestão de Sistemas de Informação	T:15; S:30; TC:45; O:2 = 62	1	6	Opc.
Métodos de Investigação	T:15; S/OT:45; TC:2 = 62	1	6	Opc.
Multimédia e Aprendizagem	T:15; PL:25; O:6 = 46	1	6	Opc.
Protocolos de Comunicação II	T:30; PL:30; O:2 = 62	1	6	Opc.
Reutilização de Software	T:30; S:30; O:2 = 62	1	6	Opc.
Sistemas de Comunicação	T:30; PL:30; O:2 = 62	1	6	Opc.
Sistemas Integrados de Apoio ao Negócio	T:30; S:30; O:2 = 62	1	6	Opc.
Supervisão e Informática Industrial	T:27; PL:33; O:2 = 62	1	6	Opc.
Técnicas de Reconhecimento de Padrões	T:30; S:30; O:2 = 62	1	6	Opc.
Teoria e Prática da Optimização	T:25; PL:30; S:3; O:4 = 62	1	6	Opc.
Tópicos Avançados de Comunicações	T:15; PL:30; O:2 = 47	1	4	Opc.
Web Semântica	T:20; PL:30; S:10; O:2 = 62	1	6	Opc.
Dissertação/Estágio	OT:50 = 50	1, 2	42	Obrig.

Tabela 2.2: Plano de Estudos do MEI

<p>1. Competências</p> <p>1.1 – Capacidade para compreender de forma crítica o conhecimento envolvido em soluções informáticas de elevada complexidade</p> <p>1.2 – Capacidade para conceber, projectar e implementar soluções envolvendo conhecimento avançado, introduzindo eventualmente aspectos originais</p> <p>1.3 – Capacidade para julgar de modo crítico novas propostas científicas e tecnológicas na área dos sistemas e computação, incluindo a apreciação das consequências éticas, sociais e económicas das propostas inovadoras.</p> <p>1.4 – Capacidade e disponibilidade para partilhar com os pares, por via escrita ou oral, o conhecimento adquirido, eventualmente original.</p> <p>1.5 – Capacidade para promover a busca de novas soluções, isoladamente ou em grupo, apelando à curiosidade e ao rigor.</p> <p>2. Conhecimentos</p> <p>2.1 – Computação de Alto Desempenho</p> <p>2.2 – Abordagens Meta-Heurísticas para Resolução de Problemas de Elevada Complexidade</p> <p>2.3 – Computação Adaptativa</p> <p>2.4 – Inteligência Artificial</p>
--

Tabela 2.3: Objectivos de Aprendizagem da OT em Sistemas e Computação

Unidades Curriculares da OT em Sistemas e Computação			
Círculo	Unidade Curricular	ECTS	Tipo
Círculo Central	Computação de Alto Desempenho	6	Obrigatória
	Computação Evolucionária	6	Obrigatória
	Computação Adaptativa	6	Obrigatória
	Inteligência Artificial	6	Obrigatória
2º Círculo	Aplicações para Internet	6	Obter pelo menos 18 ECTS nestas unidades
	Informática Médica	6	
	Integração de Sistemas	6	
	Inteligência do Negócio	6	
	Planeamento e Gestão da Produção	6	
	Reutilização de Software	6	
	Sistemas de Gestão de Dados	6	
	Sistemas Inteligentes para Gestão de Conhecimento	6	
	Sistemas Ubíquos	6	
	Supervisão e Informática Industrial	6	
	Técnicas de Reconhecimento de Padrões	6	
	Teoria e Prática da Optimização	6	
Web Semântica	6		

Tabela 2.4: Composição do Círculo Central e do 2º Círculo do MEI

Actividades de Aprendizagem previstas para TRP				
Actividade (1)	Descrição	HT (2)	HC (3)	ECTS
T	Aulas de exposição (plenárias) focando os conceitos básicos, de forma a permitir a aquisição de conhecimentos e competências previstas nos grupos 1 e 3. Apresentação de Seminários e sua discussão sobre temas que envolvem as competências 2 e 3.	30	30	1,11
PL	Aulas de Resolução de Problemas com vista à preparação do Projecto. Desenvolvimento do Projecto para facilitar a aquisição das competências dos grupos 2 e 3.	30	30	1,11
O	Estudo e Avaliação. Inclui elaboração de Relatório Escrito e Defesa Oral. Relaciona-se com a aquisição das competências dos grupos 1, 2, 4 e 5.	102	2	3,78
Totais:		162	62	6
Notas: (1) T: Aula Teórica (magistral); PL: Prática Laboratorial (laboratório não-supervisionado); O: Outras actividades (seminários, estudo, avaliação, etc.) (2) Horas de trabalho do estudante, "incluindo todas as formas de trabalho previstas, designadamente as horas de contacto e as horas dedicadas a estágios, projectos, trabalhos no terreno, estudo e avaliação" (3) Horas de contacto (sub-conjunto de HT)				

Tabela 2.5: Modelo Lectivo de TRP

1. Conhecimento e capacidade de compreensão

- 1.1. Conhecimento dos modelos capazes de descrever objectos pelas suas características e atributos.
- 1.2. Compreensão das operações abstractas que têm em vista o cálculo de relações de proximidade e medidas de distância entre objectos.
- 1.3. Domínio das técnicas para o problema de reconhecimento de padrões (Seleção de características, técnicas de base estatística, técnicas de inferência indutiva baseadas na minimização do risco (empírico e/ou estrutural), classificação supervisionada e não-supervisionada, abordagem sintáctica e estrutural, entre outras).
- 1.4. Domínio das técnicas de combinação de classificadores.

2. Aplicação de conhecimentos e compreensão

- 2.1. Aplicação de conceitos de discriminação de padrões utilizando funções de decisão generalizadas e regiões de decisão em vários cenários reais.
- 2.2. Aplicação de princípios da teoria da decisão de Bayes, com base na estimação de parâmetros, de forma a poderem serem aplicados os métodos em situações onde não se conhece a distribuição de probabilidade das observações.
- 2.3. Aplicação das técnicas de selecção e extracção de características a problemas e ambientes reais
- 2.4. Reforço da capacidade de abstracção.

3. Realização de julgamento/tomada de decisões

- 3.1. Capacidade de gerir o conhecimento adquirido, seleccionar as metodologias adequadas para a resolução de problemas complexos em vários cenários reais.
- 3.2. Capacidade de tomar decisões relativamente a desafios de implementação em tempo real (Indústria, Medicina, Web,..)

4. Comunicação

- 4.1. Reforço de competências de Comunicação Escrita pela elaboração de um Relatório Escrito e dos principais tópicos de um seminário a realizar.
- 4.2. Reforço de competências de Comunicação Oral na expressão de julgamento/tomada de decisão em situações concretas, pela realização de uma defesa oral e de uma apresentação oral.

5. Competências de auto-aprendizagem

- 5.1. Autonomia e motivação para aprender e integrar novos conhecimentos.

Tabela 2.6: Competências a Adquirir

Unidades Curriculares do MEI que interagem com TRP		
Unidade Curricular	A/S	Conteúdos
Inteligência Artificial	1/1	<ul style="list-style-type: none"> - Representação de Conhecimento - Inferência - Aprendizagem Simbólica - Planeamento - Sistemas Multi-Agentes
Computação Evolucionária	1/2	<ul style="list-style-type: none"> - Princípios de Computação Evolucionária - Vida Artificial e Inteligência de Enxame
Estudo e Desenvolvimento de Jogos	1/2	<ul style="list-style-type: none"> - Jogos e populações de jogadores - géneros e estilos de jogo - Jogos: contextos sócio-técnicos e de aprendizagem - Gestão de fluxo e emotividade - Integração de técnicas de Inteligência Artificial
Inteligência do Negócio	1/2	<ul style="list-style-type: none"> - Data Mining - Seleção de Dados, Limpeza e Pré-processamento - Redução e Transformação de Dados - Escolha dos Algoritmos - Avaliação e Aplicação dos Modelos
Sistemas Inteligentes para Gestão de Conhecimento	1/2	<ul style="list-style-type: none"> - Introdução à Gestão de Conhecimento - Representação e Indexação de Conhecimento - Ontologias - Bases de Conhecimento - Bases de Casos - Indexação de Conhecimento - Recolha e Pesquisa de Conhecimento - Métricas de Semelhança Semântica - Algoritmos de Recolha com Base em Ontologias - Reutilização de Conhecimento - Metodologias de Adaptação
Informática Médica	1/2	<ul style="list-style-type: none"> - Metodologias para o apoio à decisão em medicina - Principais Técnicas Utilizadas - Redes neuronais, sistemas difusos e especialistas - Sistemas de Classificação Automática
Sistemas Ubíquos	2/1	<ul style="list-style-type: none"> - Modelos de Interacção - Computação situacional - Interacção natural e multimodal - Interacção indivíduo/múltiplos dispositivos - Invisibilidade - Proactividade - Modelos cognitivos - Cenários de Computação Ubíqua
Web Semântica	2/1	<ul style="list-style-type: none"> - Introdução à Web Semântica - Linguagens para a Web Semântica - XML / RDF; RDF Schema; OWL - Ferramentas de Criação de Ontologias

Tabela 2.7: Relação de TRP com outras UCs do MEI

Capítulo 3

Ensino de Técnicas de Reconhecimento de Padrões

3.1 Importância do Ensino de Reconhecimento de Padrões

O Computing Curricula do ACM/IEEE no seu Relatório de 2008 [CC 2008], re-enforça a posição que havia vindo a estabelecer em relatórios anteriores (veja-se Report de 2005 [CC 2005], e [CC2001]) de que a área de conhecimento “*Intelligent Systems (IS)*” se apresenta de valor inegável para lidar com a complexidade dos sistemas, em particular, no que diz respeito aos sistemas automáticos que envolvem a percepção e a extração de informação, com implicações ao nível da segurança, da pesquisa, do reconhecimento automático, entre outras. Essa área é definida como a que lida com “aplicações computacionais baseadas na teoria e nas técnicas da inteligência artificial, incluindo as técnicas de inferência indutiva como as redes neuronais, as máquinas de vectores de suporte, a computação genética e evolucionária e os sistemas auto-organizáveis”. É uma das componentes de três das cinco grandes Disciplinas em que o currículo de Computação se estrutura: *Computing Engineering*, *Computer Science* e *Software Engineering*.

A capacidade incorporação dessas técnicas e metodologias na concepção de soluções constitui para o engenheiro informático um valor reconhecido que se pode revelar especialmente diferenciador na sua capacidade de adaptação às evoluções mais profundas no domínio computacional e na relação deste com o ser humano.

A unidade curricular de Técnicas de Reconhecimento de Padrões cobre, nos seus conteúdos, uma das componentes *elective* desta lista respondendo, assim, a um dos requisitos sugeridos pelo ACM/IEEE.

Finalmente, entendemos que as competências específicas que se pretendem ver adquiridas em TRP irão contribuir de forma particular para suportar a Realização de julgamento/tomada de decisões e a Aplicação de conhecimentos e compreensão, especialmente em situações complexas, em contextos alargados e multidisciplinares, e no desenvolvimento de soluções originais, nomeadamente em contexto de investigação.

3.2 Em Instituições Nacionais

Passamos à apresentação dos principais dados que recolhemos de 6 cursos das principais Universidades: Aveiro, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Minho, Nova de Lisboa e Porto. Informação mais detalhada pode ser consultada nas respectivas referências electrónicas que constam no Anexo J.

As principais Universidades portuguesas efectuaram a transição para o Modelo de Bolonha dos cursos semelhantes à LEI, pelo que considerámos nesta análise os currículos dos novos cursos.

3.2.1 Mestrado Integrado em Engenharia de Computadores e Telemática, Universidade de Aveiro

Este curso oferece no 5º ano, 1º semestre, a disciplina de Reconhecimento de Padrões, com os temas chave, de grande relevância nesta área, a conjugarem-se perfeitamente com os Resultados de Aprendizagem e Competências a adquirir propostos na Unidade Curricular de TRP que aqui se apresenta.

Apesar de termos notado alterações significativas entre o plano da Licenciatura em Engenharia de Computadores e Telemática, Pré-Bolonha, e o plano do novo curso, pudémos constatar que a disciplina de Reconhecimento de Padrões se mantém.

3.2.2 Mestrado Integrado de Engenharia Electrónica e Telecomunicações

Este curso oferece no 5º ano, 1º semestre, a disciplina de Reconhecimento de Padrões, mantendo-se a análise supra-indicada em relação aos conteúdos da unidade curricular e da sua sobreposição com TRP no MEI.

Verifica-se também a manutenção da existência da disciplina de Reconhecimento de Padrões que existia no plano da Licenciatura em Engenharia Electrónica e Telecomunicações, Pré-Bolonha, tendo-se mantido no novo plano do Mestrado Integrado.

3.2.3 Mestrado em Engenharia Informática e de Computadores, Instituto Superior Técnico

Este Mestrado apresenta-se duas vertentes, uma que funciona na Alameda, outra no TagusPark. Na variante da Alameda, é oferecida uma Área de Especialização em Sistemas Inteligentes que pode ser Principal ou Complementar, formada por disciplinas da área da Inteligência Artificial. Nesta vertente, aparece uma UC de Aprendizagem Automática com objectivos e programas similares quer aos de Computação Adaptativa - obrigatória na OT de Sistemas e Computação - quer a esta unidade curricular de TRP.

Idêntico plano é proposto no TagusPark para uma Área de Especialização Complementar em Sistemas Inteligentes. Trata-se de uma área de especialização bastante mais focada do que a OT em Sistemas e Computação. Este curso apresenta no seu Mestrado integrado uma unidade curricular Sistemas de Apoio à Decisão, cujos conteúdos têm pontos comuns com a unidade curricular de TRP, nomeadamente, nos classificadores estatísticos, análise de risco, redes neuronais e máquinas de vectores de suporte. Têm, no entanto, outros tópicos especializados em Apoio à Decisão que não são contemplados em TRP.

3.2.4 Mestrado em Engenharia Informática, Universidade de Lisboa

O Mestrado em Engenharia Informática inclui disciplinas em Informática e Ciências Sociais e Humanas, complementadas com o Projecto de Engenharia Informática. Apresenta quatro áreas de especialização: Arquitectura, Sistemas e Redes de Computadores, Sistemas de Informação, Interação e Conhecimento e Engenharia de Software. As especializações em Sistemas de Informação e de Interação e Conhecimento são as que mais se aproximam da OT de Sistemas e Computação.

Pela análise dos conteúdos das cadeiras, indicam-se as unidades curriculares que cobrem total (Aprendizagem Automática) ou parcialmente (Aplicações na Web, Computação Móvel, Integração e Processamento Analítico de Informação, Sistemas Hipermédia) tópicos leccionados nesta UC de TRP na especialização de Sistemas de Informação. De forma similar, indicam-se as UCs com afinidade (total ou parcial) com esta unidade curricular na especialização de Interação e Conhecimento: Aprendizagem Automática, Gestão do Conhecimento, Interação em Linguagem Natural, Processamento de Linguagem Natural, Robôs Móveis.

3.2.5 Mestrado em Informática, Universidade de Lisboa

O Mestrado em Informática tem uma estrutura curricular com duas fases: curricular em que o aluno realiza 60 ECTS em disciplinas opcionais de Informática e a dissertação também com 60 ECTS. Este Mestrado em Informática (120 ECTS) oferece 4 subáreas científicas da Informática:

- CTP – Ciência e Tecnologias de Programação
- MC – Metodologias de Computação
- OSC – Organização de Sistemas Computacionais
- SI – Sistemas de Informação

Este é um Mestrado muito especializado em Informática, com uma grande variedade de áreas e sub-áreas como se pode verificar. As UCs que correspondem a grande parte dos tópicos leccionados em TRP estão categorizadas nas áreas temáticas Metodologias de Computação(MC) com 3 UCs e Sistemas de Informação (SI) com 6 UCs. Para se ter uma ideia mais clarificadora, listam-se essas UCs para cada uma destas áreas temáticas: MC (Aprendizagem Automática, Redes Neurais e NeuroDinâmica) e SI (Reconhecimento de Padrões Multimedia, Reconhecimento e Síntese da Fala, Recuperação e Prospecção de Textos, Prospecção e Descoberta de Informação, Integração e Processamento Analítico de Informação). Em conclusão, todos os tópicos de TRP estão cobertos ao nível das metodologias (Técnicas) e das Aplicações (Reconhecimento de Padrões). No entanto, dada o vasto leque de cadeiras no Mestrado de Informática da UL, os conteúdos acabam por ser muito mais abrangentes, quer horizontal, quer verticalmente.

3.2.6 Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O ensino da Engenharia Informática e Computação foi concebido na FEUP como requerendo um ciclo de formação e aprendizagem completo de cinco anos integrados, correspondendo aos 1º e 2º ciclos da implementação do Processo de Bolonha e conferindo de imediato o grau de

Mestre. O Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação (MIEIC) constitui-se em várias especializações sendo a que mais se aproxima da OT de Sistemas de Computação a de especialização em Sistemas Inteligentes e Multimédia, com duas sub-áreas. O leque de unidades curriculares opcional é bastante vasto, precedido por uma UC Extração de Conhecimento e Aprendizagem Computacional, no 3º ano, 1º semestre. As UCs que têm conteúdos relevantes em relação a TRP são Processamento da Fala (5º Ano, 2ºS), Algoritmos de Processamento de Sinal (4º Ano, 1ºS), Robótica (5º Ano, 1ºS) e Descrição, Armazenamento e Pesquisa de Informação (5º Ano, 1ºS), Seminário de Sistemas Inteligentes, Interação e Multimédia (5º Ano, 1ºS). Destas as 3 primeiras UCs são claramente mais dentro da temática de pré-processamento de sinal e reconhecimento de padrões e, as 2 últimas, caracterizam-se mais especificamente pela extração de informação.

3.2.7 Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores (MIEEC) implementa o conceito de ciclo de estudos integrado conducente ao grau de Mestre, tal como estabelecido na Lei de Bases do Ensino Superior, combinando as características mais relevantes dos dois maiores programas de graduação e de pós-graduação da FEUP: a anterior Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores (LEEC) e o Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores (MEEC). Apresenta duas UCs opcionais, Sistemas Baseados em Inteligência Computacional (4º Ano, 2ºS) e Reconhecimento de Padrões (4º Ano, 2ºS). Existe, entre outras, a especialização em Processamento de Sinal, Áudio e Imagem perfil para o qual é estabelecido que os alunos devem fazer o seguinte conjunto de unidade curriculares do 4º ano: Sistemas de Informação e Bases de Dados, Processamento de Áudio e Vídeo, Processamento de Imagem e Reconhecimento de Padrões.

3.2.8 Mestrado em Ciência da Informação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O Mestrado em Ciência da Informação (MCI) está estruturado em 2 anos, com cadeiras obrigatórias e tem como competências base a aplicação das técnicas, métodos e modelos para a selecção, aquisição, organização, representação, recuperação, preservação, acesso e uso da informação. Um das disciplinas opcionais do 1º ano é Análise de Dados (área científica de computadores) cujos conteúdos têm uma grande sobreposição com as técnicas ministradas em TRP com implicações na gestão de informação.

3.2.9 Mestrado em Engenharia Informática e Mestrado em Informática, Universidade do Minho

Com a adequação ao modelo de Bolonha, a Universidade do Minho dispõe de uma Licenciatura Engenharia Informática (LEI), um 1º ciclo de 3 anos que resulta da adequação ao modelo de Bolonha da Licenciatura em Engenharia de Sistemas e Informática (LESI). Não é contemplada na LEI, a área de Sistemas Inteligentes, pelo que não existe nenhuma cadeira, por exemplo, sobre Inteligência Artificial. Porém, é oferecida a unidade curricular de Sistemas e Representação

de Conhecimento e Raciocínio, no terceiro ano do curso, 2º semestre, obrigatória, sendo-lhe atribuída 5 unidades de crédito ECTS. As matérias que são objecto de tratamento na unidade curricular emanam da área de conhecimento que, em larga medida, se situa na intersecção das áreas científicas da Inteligência Artificial, dos Agentes e Sistemas Inteligentes e da Lógica Computacional. Esta licenciatura foi precedida pela Licenciatura de Engenharia Informática e Sistemas (LESI), que entretanto terminou¹, a qual oferecia no seu Plano de Estudos as disciplinas de Sistemas e Representação de Conhecimento e Raciocínio e Sistemas Inteligentes, ambas do 4º ano.

O Mestrado em Engenharia Informática (MEI) propõe-se completar a formação de 1º ciclo em Engenharia Informática apresentando um conjunto de perfis de especialidade que integram conteúdos e competências profissionalizantes dentro do espírito da Declaração de Bolonha. Ao nível de formação de 2º ciclo oferece um Mestrado de Informática, Mestrado de Engenharia Informática e Mestrado em Bioinformática. O curso disponibiliza 14 Unidades Curriculares de Especialização (UCEs) optativas (30 ECTS cada). As UCE com conteúdos relevantes do ponto de vista da unidade curricular de TRP constituem um grupo de quatro assim designadas: Bioinformática, Computação Móvel e Ubíqua, Sistemas Inteligentes e Sistemas de Suporte à Decisão. Tomando com exemplo a UCE de Sistemas Inteligentes, o curso oferece um conjunto de unidades curriculares de cariz aplicacional distribuído por diversas áreas (Área das Ciências da Saúde, do Direito, da Inteligência Ambiente, das Redes Colaborativas, do e-Business e da Robótica Inteligente). Na UCE Computação Móvel e Ubíqua, são explicitados os Resultados de Aprendizagem em termos do planeamento de sistemas ubíquos recorrendo a aspectos multidisciplinares que envolvem um conjunto vasto de abordagens do ponto de vista da sua aplicabilidade num cenário específico. A unidade curricular de TRP oferece técnicas e abordagens de reconhecimento de padrões em cenários ubíquos. Nas UCEs Bioinformática, Sistemas de Apoio à Decisão, é identificada a componente Sistemas de Extração de Conhecimento (SEC) cujas metodologias recorrem claramente às Técnicas de Reconhecimento de Padrões.

3.2.10 Mestrado em Engenharia Informática, Universidade Nova de Lisboa

O departamento de Informática da Universidade Nova de Lisboa apresenta um 2º ciclo com dois Mestrados: Mestrado em Engenharia Informática e Mestrado em Lógica Computacional.

O Mestrado em Engenharia Informática resultou da reformulação curricular levada a cabo no âmbito do processo de Bolonha, correspondendo ao 2º ciclo de formação de acordo com o modelo 3+2. É um curso de 120 créditos no sistema ECTS (obtidos em 2 anos a tempo inteiro) com uma componente de Dissertação de 42 créditos, dividida em preparação (12 créditos) e elaboração (30 créditos). Este Mestrado tem uma forte fundamentação teórica, com uma vasto leque de UCs cobrindo aspectos da Teoria da Computação, Estatística e Matemática. Além disso, possui ainda uma forte componente tecnológica. Pensamos que esta estratégia é consequência da formação oferecida, a montante, na Licenciatura em Engenharia Informática, que tem a duração de 3 anos, no modelo de Bolonha, e que prevê dois tipos de formação à saída, com a existência de um perfil de Ciências da Engenharia (mais teórico) e de um perfil de Informática Aplicada (mais prático).

A UC que se apresenta neste curso de Mestrado com os conteúdos mais relevantes e próximos

¹A última edição da LESI data de 2007–2008

de TRP é Aprendizagem Automática e Data Mining Informática (1º Ano, 2ºS). Existem outras, tais como Representação de Conhecimento e Raciocínio (1º ano, 1º S), e Web Semântica com aspectos (1º Ano, 1º S) de alguma proximidade.

O Mestrado em Lógica Computacional é ministrado em cooperação com duas Universidades Europeias (Universidade de Dresden, e Universidade Politécnica de Madrid). Na nossa óptica o seu Plano de Estudos sai fora do presente enquadramento.

3.3 Em Instituições Estrangeiras

São inúmeras as Instituições Estrangeiras, que nos seus Departamentos de *Computer Science* ensinam *Pattern Recognition* ou *Introduction to Pattern Recognition*. Não pretendemos ser exaustivos, o que seria (certamente) dificilmente possível, apenas pretendemos listar algumas instituições que ao longo destes 4 quatro anos de ensino de TRP temos vindo a consultar, lendo os seus materiais, e indicando-os aos alunos como ponteiros de referência. Colocaremos no Anexo J a listagem das principais referências electrónicas desses cursos. De salientar que os manuais (classificamente) mais usados de reconhecimento de padrões são citados nessas bibliografias, tendo sido também referenciados (e usados) em TRP.

Se bem que existam referências de Universidades Americanas, a maior parte das referências aponta para o ensino desta unidade curricular no Espaço Europeu do Ensino Superior. De entre as Universidades Europeias, destaca-se em particular as Universidades da Finlândia com disponibilização, de grande qualidade, em ambiente web do suporte electrónico global da disciplina. São ainda de realçar as Universidades da Áustria, Alemanha, Grécia e Holanda, quer pela qualidade dos *Pattern Recognition Syllabus* e organização dos materiais, quer pela utilização de tecnologias e software de Reconhecimento de Padrões².

Embora tivéssemos prestado atenção ao método de avaliação, normalmente diversificado, mas com uma base comum, um projecto de Reconhecimento de Padrões, não podemos efectuar a comparação em relação aos métodos de ensino usados. Porém, podemos contudo referir, que nas Universidades Europeias se identifica claramente, a preocupação de distribuir as HC (Horas de Contacto (T e P)) e O (Outras) de forma a cobrir, em cada caso, os ECTS programados para a disciplina. Em geral, as Universidades Europeias, consideram 6 ECTS para esta Unidade Curricular, com excepção das Universidades da Finlândia que programam a cadeira com 7 ECTS, dando-lhe uma importância de realce, tanto mais que é configurada num elenco restrito de disciplinas ministradas em Ingês.

²A Universidade de Delft, na Holanda, desenvolveu o software *PRTools: The Matlab Toolbox for Pattern Recognition* <http://www.prtools.org/> que é um dos mais usados a nível mundial. Outro software *Statistical Pattern Recognition Toolbox* largamente adoptado no ensino e investigação foi desenvolvido pelo *Center for Machine Perception* na Universidade Técnica de Praga, República Checa. Está disponível em <http://cmp.felk.cvut.cz/cmp/software/stprtool/>. Este software foi também usado na unidade curricular de TRP.

Capítulo 4

Métodos de Ensino e Avaliação

4.1 Contornos Gerais

A reforma de Bolonha mudou o paradigma de ensino, passando este a centrar-se no desenvolvimento de competências, sendo antes centrado na transmissão de conhecimentos. O sistema de ECTS acabou também por reformular a contabilização do tempo lectivo, permitindo novas concepções de desenho de cursos com reflexos directos nas soluções de ensino/aprendizagem em cada unidade curricular. Isto levou a adaptação (e redobrada preocupação) com os métodos de ensino, que passaram a ajustar-se a novas realidades.

Embora a concepção de TRP tivesse sido concretizada em 2004/2005, houve todo um trabalho adicional que resultou da adaptação do modelo então concebido, pré-Bolonha, para a elaboração da ficha da unidade curricular, no contexto das cadeiras opcionais do MEI, que resultaram da Reforma de Bolonha, como já foi explicado.

Para cumprimento no estipulado nesta UC as competências a adquirir em TRP englobando os pontos 1.3 e 1.4, 2. e 3., já explicitadas na Tabela 2.6, assumem particular relevância porquanto consubstanciam dois dos seus pontos essenciais, nomeadamente, “aplicação de conhecimentos e compreensão” e a “realização de julgamento/tomada de decisões”.

São ainda de mencionar os seguintes factores que porventura vão condicionar a estratégia pedagógica adoptada e descrita na secção seguinte:

- O número total de horas destinado a cada actividade lectiva que no modelo de Bolonha é de (2h/semana) relativamente às aulas teóricas (T), e de (2h/semana), relativamente às aulas práticas, designadas por práticas laboratoriais (PL). Adicionalmente, incluem-se cerca de 100 horas (O) essencialmente dedicadas a trabalho autónomo (5h/sem).
- A posição que a unidade curricular ocupa no percurso de formação, no fim da cadeia das disciplinas opcionais, o que permite, no entanto, maior maturidade e autonomia dos alunos.
- O número de alunos, dado ser uma disciplina opcional, do 2º Circulo, não é muito elevado, tanto mais que o MEI oferece um leque alargado de cadeiras de escolha livre. No entanto, no decurso dos 4 anos de funcionamento foi-nos permitido notar um aumento substancial dos alunos que frequentam a cadeira. De referir ainda que a maioria dos alunos provém da OT em Sistemas e Computação (que inclui, como já referido, as UCs de Computação

Adaptativa e Inteligência Artificial). Com esta formação a montante, TRP torna-se assim um percurso natural, para os que optam por esta área.

4.2 Estratégia de Ensino Adoptada

De acordo com o especificado na Ficha de Unidade Curricular (FUC) de TRP, pretende-se que com a realização da disciplina os alunos atinjam como objectivos a aquisição de conhecimentos e competências na área de reconhecimento de padrões. No final da disciplina os alunos irão ter conhecimentos adequados (Técnicas e Tecnologias) para a concepção, desenvolvimento e implementação de um Projecto de Reconhecimento de Padrões em múltiplos cenários do mundo real (Bioinformática, Medicina, Gestão de Informação, etc.).

Tendo como pano de fundo os objectivos da disciplina e as restrições apontadas na secção anterior parece-nos essencial direccionar os esforços ao longo do curso das actividades lectivas para a elaboração do Projecto de Reconhecimento de Padrões, bem como para a realização de Seminários. No entanto, as aulas práticas laboratoriais, com a realização de trabalhos sobre os vários tópicos da Teórica assumem também um papel fulcral, de preparação do Projecto. Para além disso, a existência de um Exame final permite a avaliação de conhecimentos dos tópicos principais da cadeira. Se assim não fosse, existiria por parte dos alunos um enfoque no seu tema de Seminário e na cobertura dos tópicos específicos (em cada edição lectiva de TRP) do Projecto¹ a desenvolver prejudicando alguns dos Objectivos de Aprendizagem enunciados na FUC.

Para se ter uma ideia mais concreta das estratégias adoptadas em cada uma das componentes descrevemo-las seguidamente, colocando também os seus objectivos de aprendizagem (cf. Tabela 2.6).

1. Teóricas

As aulas teóricas são aulas onde são transmitidos os conhecimentos (e ferramentas) para a resolução de problemas na área da Inteligência Computacional, mais especificamente em Reconhecimento de Padrões. A base teórica tem um fundamento matemático forte, sendo necessário o recurso a conhecimentos de Estatística, Álgebra, Análise e Estruturas Discretas. Alguns conceitos deste teor são revistos, antes de se apresentar as metodologias mais importantes. Apesar desta fase ser difícil, o recurso a contextos que lhes desperte o interesse (reconhecimento de fisionomias, reconhecimento de caracteres (manuscritos ou não), da voz, imagem, etc.) muitas vezes envolvendo vídeos, dá-lhes a motivação necessária para enfrentar uma disciplina que se apresenta desde logo com muitos desafios. As matérias com fundamentação matemática necessitarão de aprofundamento, desenvolvimento e prática quer nas aulas práticas quer extra aula de forma autónoma. Sendo uma matéria exigente, do ponto de vista matemático, recomendamos aos alunos, para além da consulta (leitura e estudo) da Bibliografia adoptada a utilização de papel e lápis para a compreensão dos algoritmos por detrás das metodologias/técnicas ensinadas. Para além disso, existe uma preocupação de guiar direccionadamente os alunos na Bibliografia, às

¹Veja-se no Anexo E os enunciados dos Projectos de TRP. Como se pode verificar, as temáticas englobando cenários reais de elaboração de um Projecto de Reconhecimento de Padrões são variadas. No entanto, existe sempre um fio condutor na realização das diversas fases do projecto reflectindo claramente a aplicação de conhecimentos e tomada de decisões dos Objectivos de Aprendizagem explicitados em 2. e 3.

vezes, com leitura mais incisiva de uma secção de um capítulo/artigo que possa promover a aquisição de conhecimentos. Este aspecto reforça grandemente os Objectivos de Aprendizagem dos grupos 1. e 2..

2. Práticas Laboratoriais

Aulas práticas são aulas laboratoriais (PL) onde através da experiência ou experimentação se comprovam e testam conceitos apresentados nas aulas teóricas. Com um cariz eminente prático e operacionalizante, serão apresentados muitos exemplos concretos para ilustrar os vários conceitos apresentados e clarificar ideias. Em horas de trabalho extra o aluno deverá preparar (e completar) os problemas/trabalhos que ficaram por executar. Nestas aulas, procura-se que haja um desfasamento mínimo em relação às aulas teóricas, embora este aspecto não seja tão importante como, por exemplo, numa UC do 1º ciclo. Para além disso, a calendarização dos Seminários (que se descrevem em baixo), e o seu escalonamento (temas e respectiva apresentação) é variável de ano para ano, o que às vezes de interpõe com um planeamento demasiado formatado das aulas práticas. As PL permitem consubstanciar em paralelo com o Projecto os Objectivos de Aprendizagem dos grupos 2. e 3..

3. Seminários

Desde logo, a disciplina foi desenhada com a realização de Seminários. Pareceu-nos que estes seriam determinantes para a especialização numa metodologia/técnica, o que tem vindo a ser demonstrado pela qualidade de alguns seminários apresentados, muitas vezes com recurso a resultados experimentais (mas nem sempre). Os alunos, têm-se preparado para os mesmos com mestria, o que por um lado não deixa de ser surpreendente, e por outro expectável, dado como se disse atrás, serem alunos de grande maturidade. Para além disso, contam já com uma grande experiência, dado a montante já terem feito (e apresentado) muitos trabalhos no decurso do MEI, no Departamento. Os seminários são assim muito importantes para reforço das competências dos grupos 2. e 4. (em particular o reforço da componente de comunicação oral) e ainda do grupo 5.. No primeiro ano de funcionamento da cadeira, 2006–2007, foi-lhes pedido além das Projecções da apresentação, um relatório escrito contendo os aspectos mais fortes/mais fracos das técnicas de reconhecimento de padrões usadas (e da sua aplicação num caso de estudo). Nos anos seguintes, não exigimos o relatório escrito, não só pela redundância mas também porque as Competências do grupo 4., na sua especialidade de comunicação escrita, estavam completamente asseguradas pela componente do projecto que a seguir se descreve. Só o número não muito elevado de alunos permitiu um acompanhamento talhado à medida de cada aluno e um apoio que de outra forma não teria sido, nem será possível.

4. Projecto

Assumimos na estratégia pedagógica uma forte componente Baseada em Projecto. Apesar de não subordinarmos todas as actividades lectivas às necessidades de aprendizagem que o projecto motiva, cremos ser a concepção, desenvolvimento e implementação do Projecto Final de TRP a força motriz de toda a disciplina. É com grande entusiasmo que os alunos se empenham nesta tarefa. Não existem metas definidas (nem a sua avaliação) como se sabe existem noutras cadeiras. Existe sim, um acompanhamento permanente junto dos alunos, em que as metas são delineadas naturalmente, pelas fases distintas (e em

sequência) em que se desenrola um projecto de TRP. Esta estratégia pretende direccionar os esforços de formação para a generalidade dos grupos de objectivos de aprendizagem, mas especialmente para os grupos 2., 3., e 5.. As competências de comunicação explicitadas no grupo 4., são também avaliadas perante a existência de um relatório (componente escrita) e de uma defesa do Projecto (componente oral).

São ainda de salientar alguns aspectos adicionais que podem ajudar a clarificar como decorre a disciplina do ponto de vista logístico. Para além disso, descrevem-se sumariamente, alguns aspectos da forma como decorrem as aulas, particularmente as de carácter expositivo.

São utilizadas complementarmente as duas Plataformas do Departamento, *Web on Campus* (WOC) e Moodle. A primeira, visa munir os alunos com todos os materiais electrónicos, como é habitual (e obrigatório) em todas as disciplinas na FCTUC. A segunda, além de permitir também as facilidades de edição (mas que não usamos nesta cadeira) tem duas características adicionais, do nosso ponto de vista, de aproveitar para uma cadeira com propósitos avançados como a de TRP. Essas características permitem: – realizar Foruns, onde os alunos discutem sobre temas relevantes, com possibilidade de *Threads* muitos úteis na clarificação de certos aspectos da matéria, entre outros; e – fazer *upload* dos Seminários/Projecto, o que do ponto de vista prático, é bastante vantajoso.

No que respeita às aulas expositivas, recorre-se ao uso das projecções que contêm os temas da unidade curricular; incentiva-se os alunos a tirar notas, quando se intercalam os momentos de projecção por computador com momentos em que se recorre à utilização do quadro. Também se procura intercalar momentos de exposição com a realização de exercícios de papel e lápis que facilitam a compreensão dos conteúdos e fomentam a sua participação.

Um nota final, quanto aos materiais de apoio aos alunos que se encontram em inglês: Projeções das Aulas Teóricas (Anexo G), Enunciados das Fichas Práticas (Anexo C), Enunciados das Provas (Anexo D), Enunciados dos Projectos (Anexo E) e Sumários (Anexo H) etc.. Quando existem alunos Erasmus nas aulas Teóricas, estas decorrem em Inglês. As aulas Práticas Laboratoriais, decorrem em Português, existindo acompanhamento individual, quando existem alunos estrangeiros. Em conformidade com o espírito de Bolonha, a unidade curricular de TRP está completamente adaptada a alunos de outras nacionalidades, vindo assim a cumprir um dos objectivos consignados na Declaração de Bolonha, a existência de um Ensino Superior aberto no Espaço Europeu.

4.3 Avaliação

Os métodos de avaliação devem estar de acordo com os objectivos de aprendizagem. Para tomar em consideração a avaliação de todos esses objectivos, muito contribuem os métodos de ensino.

Os objectivos da avaliação estão centrados nos conhecimentos e nas competências adquiridas. Assim, organizámos as actividades de avaliação no sentido de lhes dar resposta. Na disciplina de TRP, os momentos de avaliação são de três tipos: Prova Escrita; Seminários; e Projecto.

A avaliação de conhecimentos vai ser realizada através de provas escritas globais (exames) incidindo essencialmente sobre resultados 1.2, 1.3, 2.1, 2.2. e 3.1. Estas provas são com consulta e terão uma duração aproximada de 2h. As questões colocadas podem envolver qualquer matéria leccionada nas aulas teóricas. O Exame tem um peso de 30% (6 valores em 20).

Quer os Seminários, quer o Projecto (Relatório e Software) são submetidos pelos alunos na Plataforma Moodle. A componente dos Seminários compreende a elaboração de uma apresentação individual sobre um tema de TRP, previamente escalonado no início da cadeira; nesta rubrica, há ainda espaço para avaliação da participação no Forum do Moodle, lançado com a temática “Apoio a Seminários”. Os seminários têm também um peso de 30%.

A componente do Projecto compreende a elaboração de um relatório, a sua submissão no Moodle bem como do código desenvolvido e defesa oral. Estas actividades incidem essencialmente sobre resultados de aprendizagem 1.3, 1.4,2.3, 3.1, 3.2, 4.1, 4.2 e 5.1. Reserva-se um peso de 40% (8 valores em 20) para o Projecto. Existe ainda a criação de um Forum no Moodle, designado por “Apoio ao Projecto”, em que os alunos colocam dúvidas, questões (e.g. complexidade computacional dos algoritmos, dependendo da dimensionalidade do problema, do número de amostras do dataset, de inconsistências como, por exemplo, existência de NaNs nos datasets que ocorrem sobretudo em problemas reais de processamento de sinal como imagem ou voz, etc.). Apesar deste Forum funcionar em pleno, não é avaliado no sentido estrito.

Para todas as componentes da avaliação são estabelecidos mínimos para aprovação (35% para uniformizar com outras disciplinas).

Apresentamos na Tabela 4.1 as várias componentes de avaliação e a contribuição destas para a avaliação das várias competências.

Competências Avaliadas em TRP						
Competências	Exame		Seminários	Projecto		
	Exame Normal	Exame Recurso	Apresentação Oral	Relatório	Qualidade do Software	Defesa Oral
conhecimento e capacidade de compreensão	✓		✓			
Aplicação de conhecimentos e compreensão	✓			✓	✓	
Realização de julgamento/tomada de decisão				✓		✓
Comunicação	✓		✓	✓		✓
Competências de Auto aprendizagem				✓	✓	

Tabela 4.1: Competências *versus* Componentes de Avaliação

Nos Anexos C, D, E, G são apresentados os enunciados das fichas práticas, os enunciados das provas, os enunciados dos Projectos e as projecções das aulas teóricas. Incluímos também o Relatório do Projecto de um aluno, Anexo I, apresentado durante a edição lectiva de 2009–2010.

Capítulo 5

Programa e Conteúdos de TRP

5.1 Introdução

É bem conhecido que desde os primórdios da computação, a tarefa de implementar algoritmos emulando a capacidade humana de reconhecer e classificar objectos, tem-se apresentado como a mais intrigante e desafiadora [Marques de Sá, 2001]. As Técnicas de Reconhecimento de Padrões têm como objectivo a classificação de dados, reconhecimento e descrição de objectos, análise de cenas, análise de contextos, entre outros, que são tarefas importantes em muitas aplicações de software (e também de hardware).

Neste Capítulo apresentamos a motivação para a unidade curricular de TRP bem como os seus objectivos, o programa e conteúdos, a calendarização e bibliografia adoptada.

Detalhamos o programa das aulas teóricas e o das práticas laboratoriais. Elaboramos em seguida um esboço de planeamento para as aulas teóricas e práticas, procurando articular as respectivas matérias segundo a estratégia pedagógica decidida.

5.2 Motivação

Desde os primórdios da sua existência o Homem teve necessidade de tomar decisões sendo a capacidade de decidir um dos actos mais nobres que realizamos. Decidimos quando vemos, quando falamos, quando reconhecemos pessoas e objectos, quando interpretamos o ambiente que nos rodeia e actuamos sobre ele. No entanto, à medida que a tecnologia avança, com computadores cada vez mais potentes, continuam a levantar-se os desafios para usar máquinas que realizem tarefas relativamente simples para o Homem como, por exemplo, o reconhecimento de fisionomias, de caracteres ou de formas. A necessidade de dar resposta a questões como: *Serão as máquinas capazes de decidir? E de Aprender a decidir? E de emular a inteligência humana?* tem vindo a aumentar a par com a evolução da tecnologia de base informática e a consequente vulgarização da utilização dos próprios computadores, que passaram a ser considerados objectos de utilização comum e não apenas instrumentos prioritariamente ligados à Ciência.

Têm um vasto leque de aplicações num grande número de áreas científicas e tecnológicas, nomeadamente no projecto e desenvolvimento de sistemas inteligentes, que constituem, a par de outros, um dos núcleos do investimento tecnológico actual. Na Tabela 5.1 sumarizam-se algumas dessas aplicações.

O reconhecimento de padrões compreende um vasto conjunto de métodos capazes de suportar

Aplicações Científicas	
Astronomia	Geologia
Arqueologia	Análise de dados de satélite
Entomologia	Biologia e botânica
Ciências da vida	Psicologia
Antropologia	Educação
Comunicação	Gestão de Informação
Aplicações Industriais	
Reconhecimento de caracteres	Máquinas controladas por imagens
Identificação de retina	Análise e reconhecimento da fala
Análise de assinaturas	Detecção de defeitos (p.ex: plásticos)
Reconhecimento de caras	Visão por computador
Análise e descrição de cenas	Sistemas automáticos de navegação
Reconhecimento de fotografias	Exploração de minérios
Multimedia e animação	Detecção de fluxos (Raios-X, Sónicos)
Citologia automatizada	Projecto de brinquedos electrónicos
Aplicações Médicas	
Análise de electrocardiogramas	Análise de electroencefalogramas
Análise de radiografias e tomografias	Sistemas de diagnóstico clínico
Exames de radioisótopos	Exames microscópicos
Propriedades de cromossomas	Estudos genéticos
Aplicações Governamentais	
Previsão meteorológica	Análise e controlo de tráfico
Determinação de crescimento urbano	Análise de poluição
Análise sísmica	Previsões económicas
Identificação de impressões digitais	Sistemas de vigilância e alarme
Aplicações Militares	
Análise de fotografia aérea	Detecção remota
Detecção e classificação de sonar	Classificação e análise de radar
Análise sísmica	Previsões económicas
Reconhecimento automático de alvos	
Aplicações na Agricultura	
Análise de colheitas	Avaliação de solos
Controlo de processos	Análise de fotografias de recursos terrestres
Aplicações em Sistemas de Informação	
Análise Inteligente de Dados:	Texto, Som, Vídeo, Imagem,...
Análise de Contextos	Pesquisa de Documentos

Tabela 5.1: Aplicações de Reconhecimento de Padrões

um elevado número de aplicações em diversas áreas do conhecimento permitindo dar, em parte, resposta àquelas questões, sem dúvida, fascinantes. A reconhecida relevância dos métodos de reconhecimento de padrões está intrinsecamente ligada à tarefa de emulação da “inteligência”. A Robótica, o diagnóstico médico, a previsão de variáveis económicas, a exploração de recursos do planeta, a análise de dados por satélite, a pesquisa de contextos são apenas alguns exemplos que revelam esta tendência. Cada aplicação tem especificidades próprias, mas os métodos de decisão são comuns e podem ser estudados de forma independente.

A necessidade de “encapsular” conhecimentos sob a forma de regras lógicas explícitas, que são interpretadas e executadas em sequência, torna-se um obstáculo em muitas áreas de informática. Soluções que passem pela introdução de outros paradigmas, nomeadamente, redes neuronais que, quando treinadas por meio de exemplos, são capazes de feitos impressionantes de aprendizagem, oferecem, desde logo, um nicho de aquisição de conhecimentos e tratamento da complexidade. Além disso, podem explorar o paralelismo num grau maciço sem incorrer em gastos exagerados de desenvolvimento de software. É inegável a importância deste paradigma de inspiração biológica e o seu significado em relação à ciência cognitiva.

O reconhecimento de padrões engloba os modelos capazes de descrever objectos pelas suas características e atributos. Envolve ainda operações abstractas que têm em vista o cálculo de relações de proximidade e medidas de distância entre objectos.

Existem várias técnicas para o problema de reconhecimento de padrões. A abordagem estatística é a abordagem clássica, historicamente mais antiga, denominada por “Teoria da Decisão”. Assume que as características das classes se regem por determinados modelos probabilísticos.

A abordagem neuronal, é uma abordagem tipo “caixa negra” que procura determinar um mapeamento óptimo entre entradas e saídas inspirando-se em modelos de neurónios do cérebro.

A abordagem difusa tem em conta o grau de incerteza por vezes inerente a características e a classificações, usando a Teoria dos conjuntos difusos para modelizar esse grau de incerteza.

A abordagem por máquinas de vectores de suporte assenta na minimização do risco estrutural que tem em linha de conta não só os dados experimentais usados no modelo, mas também a capacidade de generalização no reconhecimento de padrões novos.

Finalmente, a abordagem sintáctica procura descrever a estrutura dos padrões usando inter-relações de características descritoras básicas denominadas primitivas.

Em paralelo com o já referido aumento das capacidades computacionais, a invenção e evolução da matemática dos sistemas complexos abriu perspectivas nunca imaginadas. Foi possível desenvolver modelos que permitem responder a algumas das questões previamente enunciadas, incorporando técnicas híbridas e heurísticas apropriadas.

A disciplina de Técnicas de Reconhecimento de Padrões aborda de forma integrada um grande número das abordagens enunciadas permitindo cobrir uma área de conhecimento com implicações dominantes em Engenharia Informática, particularmente ao nível do 2º ciclo.

5.3 Objectivos

A disciplina tem como objectivos gerais, primeiro, a compreensão da área de reconhecimento de padrões de forma genérica, segundo, a familiarização com as técnicas de reconhecimento de

padrões e, terceiro, a aplicação dessas técnicas a casos reais.

A disciplina aborda a questão de classificação dos dados de forma automática. São estudados métodos da teoria da decisão estatística, classificadores com base na aprendizagem supervisionada e não supervisionada, com ênfase nas redes neuronais e nas técnicas de agrupamento de dados, bem como máquinas de vectores de suporte.

Como objectivos específicos pretende-se com esta disciplina proporcionar um leque de ferramentas teóricas, metodológicas e algorítmicas abordando problemas diversos relacionados com o tratamento automático de informação, nomeadamente a estruturação e classificação de dados. Estes objectivos assentam numa formação básica na área de reconhecimento de padrões, abrangendo os tópicos: (i) reconhecimento estatístico de padrões (funções discriminantes, classificadores Bayesianos) (ii) redes neuronais - aprendizagem supervisionada e estimação de parâmetros, (iii) aprendizagem não supervisionada e técnicas de agrupamento, (iv) máquinas de vectores de suporte. As técnicas e algoritmos são ilustrados em aplicações reais.

5.4 Programa e Conteúdo

A disciplina parte do pressuposto de que existem 15 semanas efectivas de aulas com uma carga horária de 4 horas/semana das quais 2 são teóricas e 2 práticas.

Encontra-se decomposta nos seguintes capítulos:

- Cap. 1. – Introdução ao Reconhecimento de Padrões
- Cap. 2. – Discriminação de Padrões
- Cap. 3. – Classificação Estatística
- Cap. 4. – Redes Neuronais
- Cap. 5. – Técnicas de Agrupamento de Dados (*Clustering*)
- Cap. 6. – Máquinas de Vectores de Suporte
- Cap. 7. – Combinação de Classificadores

Seguem-se os planos detalhados das aulas teóricas e práticas. Como é natural, procura-se que haja um paralelismo entre a teórica e a prática, evitando, consoante a matéria leccionada, fazer uma diferenciação estanque, de forma a permitir uma forte versatilidade dentro da temática que for sendo abordada. Dada a natureza da disciplina, e o seu posicionamento na OT de Sistemas e Computação como cadeira opcional do último ano, as aulas práticas, PLs, recorrerão a programas que ilustrem os conceitos teóricos e práticos. A avaliação, como referido no Capítulo 4 será efectuada com base numa componente teórica e prática.

5.5 Aulas Teóricas

Apresenta-se nas Tabelas 5.2 e 5.3 os conteúdos programáticos detalhados da disciplina. Seguidamente, elaboramos uma análise detalhada do programa.

5.5.1 Análise do Programa

Nesta secção, far-se-á uma análise do programa, re-discriminando os conteúdos por capítulo e indicando-se os objectivos a atingir em cada um. Pretende-se, assim, dar uma ideia das principais

Programa Detalhado de TRP: Cap. 1 → Cap. 3	
Cap 1.– Introdução às Técnicas de Reconhecimento de Padrões (TRP)	
1.1	– Conceito de Padrão
1.2	– Semelhança de Padrões
1.2.1	– Classificação
1.2.2	– Regressão
1.3	– Classes, Padrões e Características
1.4	– Abordagens de TRP
1.4.1	– Classificação Estatística
1.4.2	– Redes Neurais
1.4.3	– Agrupamento de Dados (<i>Clustering</i>)
1.4.4	– Máquinas de Vectores de Suporte
1.4.5	– Reconhecimento de Padrões Sintático
1.5	– Projecto RP
1.5.1	– Fases de Projecto
1.5.2	– Treino e Teste
1.5.3	– Software RP
Cap 2.– Discriminação de Padrões	
2.1	– Regiões de Decisão e Funções
2.1.1	– Funções de Decisão Generalizadas
2.1.2	– Separabilidade de Hiperplanos
2.2	– Métricas de Espaços de Características
2.3	– Matriz de Covariância
2.4	– Componentes Principais
2.5	– Avaliação de Características
2.5.1	– Inspeção Gráfica
2.5.2	– Desempenho de Modelos
2.5.3	– Testes de Inferência Estatística
2.6	– Problema da Dimensionalidade
Cap 3.– Classificação Estatística	
3.1	– Discriminantes Lineares
3.1.1	– Classificador de Distância Mínima
3.1.2	– Discriminante Euclidiano
3.1.3	– Discriminante de Mahalanobis
3.1.4	– Discriminante de Fisher
3.2	– Classificação Bayesiana
3.2.1	– Regra de Bayes para o Risco Mínimo
3.2.2	– Classificação Bayesiana Normal
3.2.3	– Razão de Dimensionalidade e Estimação do Erro
3.3	– Técnicas Não Paramétricas
3.3.1	– Janelas de Parzen
3.3.3	– Método dos k-vizinhos Mais Próximos
3.4	– A curva ROC (<i>Receiver Operating Characteristic</i>)
3.5	– Selecção de Características
3.6	– Desempenho de Classificadores

Tabela 5.2: Programa de TRP

Programa Detalhado de TRP: Cap. 4 → Cap. 6	
Cap 4.– Redes Neurais	
4.1	– Funções de Activação
4.2	– Conceito do Perceptrão
4.3	– Tipos de Redes Neurais (RN)
4.4	– Rede de Múltipla Camada
4.4.1	– O Algoritmo de Retropropagação
4.4.2	– Aspectos Práticos
4.4.3	– Séries Temporais
4.5	– Desempenho das RN
4.5.1	– Medidas de Erro
4.5.2	– A Matriz Hessiana
4.5.3	– O Dilemma Bias – Variância
4.5.4	– Complexidade
4.6	Métodos de Aproximação
4.6.1	– Método do Gradiente Conjugado
4.6.2	– Método Levenberg – Marquardt
4.7	– Redes <i>Radial Basis Function</i>
4.8	– Redes de Kohonen
4.9	– Redes Modulares
Cap 5.– Agrupamento de Dados (<i>Clustering</i>)	
5.1	– Classificação Não Supervisionada
5.2	– Clustering Hierárquico Aglomerativo
5.3	– Medida de Semelhança entre <i>Clusters</i>
5.4	– Extração de Características
5.5	– Algoritmo de <i>Clustering</i> das K– Médias
Cap 6.– Máquinas de Vectores de Suporte	
6.1	– Introdução
6.2	– Dimensão VC
6.3	– Risco Estrutural
6.4	– Espaços de Características e Kernels
6.5	– Tipos de Kernels
6.5.1	– Linear
6.5.2	– Polinomial
6.5.3	– Sigmoide
6.5.4	– Gaussiano
6.5.5	– Exponencial
6.5.6	– Outras Funções de Kernel
6.6	– Kernel <i>Trick</i> (Teorema de Mercer)
6.6	– Máquinas de Vectores de Suporte
6.6.1	– Classificação
6.6.2	– Regressão
6.6.3	– Exemplos
6.7	– Técnicas de Implementação

Tabela 5.3: Programa de TRP (cont.)

Programa Detalhado de TRP: Cap. 7	
Cap. 7 – Combinação de classificadores	
7.1	– Combinação de classificadores
7.2	– Técnicas de combinação
7.3	– Arquitecturas de combinação
7.3.1	– Série/Cascata
7.3.2	– Paralela
7.3.3	– Hierárquica
7.4	– Construção de Conjuntos de Classificadores
7.4.1	– <i>Boosting</i>
7.4.2	– <i>Bagging</i>
7.4.3	– <i>Clustering</i>
7.5	Conclusão

Tabela 5.4: Programa de TRP (cont.)

questões que nos propomos examinar. A granularidade de cada capítulo, que aqui se expõe, será então ditada pelo preceito da prossecução desses objectivos. No entanto, poderá esperar-se uma certa adaptatividade do programa, consoante aspectos menos claros em matérias a montante da disciplina.

O objectivo do Capítulo 1 (cf. Tabela 5.5) é dar ao aluno uma perspectiva global das Técnicas de Reconhecimento de Padrões (TRP), assim como das suas especificidades. Em particular procurar-se-á dar relevância ao tipo de informação que os sistemas de Reconhecimento de Padrões podem extrair e que normalmente a capacidade humana não extrai. Embora possamos dar uma resposta afirmativa quando se trata de saber se uma máquina é capaz de decidir ou de aprender a decidir, não podemos, perante estas questões fascinantes, deixar de nos posicionar relativamente à aprendizagem e capacidade de decisão humana em reconhecer e classificar objectos. Procurar-se-á, pois, posicionar as TRP relativamente às áreas que lhe são afins, realçando os aspectos quer de índole conceptual, quer prática.

O capítulo é introdutório, definindo os conceitos fundamentais, bem como a arquitectura de um sistema de reconhecimento de padrões e os problemas que se colocam na fase de projecto do sistema [Marques de Sá, 2001]. Embora se enunciem as Técnicas de Reconhecimento Sintático de Padrões como uma das possíveis abordagens, não iremos incluí-las no programa, porque dificilmente caberiam num curso semestral, sem prejuízo de outras matérias.

No Capítulo 2. (cf. Tabela 5.6) pretende-se munir o aluno com os conceitos de discriminação de padrões, estudando as funções de decisão generalizadas e regiões de decisão [Fukumaga, 1990]. A separabilidade de hiperplanos é essencial em termos de rigor, quer quando se utilizam técnicas estatísticas, quer quando se utilizam técnicas neuronais, máquinas de vectores de suporte, híbridas, etc., pelo que se recorrerá à interpretação geométrica, nos casos de espaços de baixa dimensionalidade, para uma melhor compreensão do problema. Serão estudadas as métricas de espaços de características e será dado realce ao papel da matriz de covariância. Para precaver dos problemas que podem ocorrer quando são aplicadas técnicas de reconhecimento de padrões em espaços de dimensionalidade elevada, é conveniente recorrer-se a métodos de redução da dimensionalidade. Embora, em geral, a redução da dimensionalidade do espaço de entrada conduza a uma perda de informação, persegue-se o objectivo de preservar a maior informação possível. A

Cap. 1 – Introdução às Técnicas de Reconhecimento de Padrões (TRP)	
1.1	– Conceito de Padrão
1.2	– Semelhança de Padrões
1.2.1	– Classificação
1.2.2	– Regressão
1.3	– Classes, Padrões e Características
1.4	– Abordagens de TRP
1.4.1	– Classificação Estatística
1.4.2	– Redes Neurais
1.4.3	– Agrupamento de Dados (<i>Clustering</i>)
1.4.4	– Máquinas de Vectors de Suporte
1.4.5	– Reconhecimento de Padrões Sintático
1.5	– Projecto RP
1.5.1	– Fases de Projecto
1.5.2	– Treino e Teste
1.5.3	– Software RP

Tabela 5.5: Matéria do Capítulo 1.

análise de componentes principais é uma técnica de redução linear muito efectiva em problemas complexos, pelo que é importante a sua inclusão neste capítulo. A avaliação de características, seja por inspecção gráfica, análise do desempenho de modelos ou testes de inferência estatística, é um tópico que deve ser igualmente tratado neste capítulo [Marques, 1999].

Cap. 2 – Discriminação de Padrões	
2.1	– Regiões de Decisão e Funções
2.1.1	– Funções de Decisão Generalizadas
2.1.2	– Separabilidade de Hiperplanos
2.2	– Métricas de Espaços de Características
2.3	– Matriz de Covariância
2.4	– Componentes Principais
2.5	– Avaliação de Características
2.5.1	– Inspeção Gráfica
2.5.2	– Desempenho de Modelos
2.5.3	– Testes de Inferência Estatística
2.6	– Problema da Dimensionalidade

Tabela 5.6: Matéria do Capítulo 2.

O Capítulo 3 contém a abordagem estatística de reconhecimento de padrões (cf. Tabela 5.7). Para além das funções discriminantes lineares, abordar-se-ão princípios da teoria da decisão de Bayes que permite definir métodos de decisão óptimos que minimizam o risco de decisão e a probabilidade de erro. Admitem-se conhecidas as distribuições de probabilidade das observações, conquanto, em casos reais, essa informação não se encontra, em geral, disponível. Para uma cobertura mais ampla da classificação estatística afluem-se-ão as técnicas não paramétricas, em particular, janelas de Parzen, método dos k-vizinhos mais próximos e a curva de ROC (*Receiver Operating Characteristic*). Procura-se, tanto quanto possível, dar uma visão alargada

Cap. 3 – Classificação Estatística	
3.1	– Discriminantes Lineares
3.1.1	– Classificador de Distância Mínima
3.1.2	– Discriminante Euclidiano
3.1.3	– Discriminante de Mahalanobis
3.1.4	– Discriminante de Fisher
3.2	– Classificação Bayesiana
3.2.1	– Regra de Bayes para o Risco Mínimo
3.2.2	– Classificação Bayesiana Normal
3.2.3	– Razão de Dimensionalidade e Estimação do Erro
3.3	Técnicas Não Paramétricas
3.3.1	– Janelas de Parzen
3.3.3	– Método dos k-vizinhos Mais Próximos
3.3.4	– A curva ROC (<i>Receiver Operating Characteristic</i>)
3.4	– Selecção de Características
3.5	– Desempenho de Classificadores

Tabela 5.7: Matéria do Capítulo 3.

da importância da selecção de características, as quais serão também utilizadas nas técnicas subsequentes de RP. A problemática de encontrar o melhor subconjunto de características representativas ou, por assim dizer, de descrição de um dado problema, passa pela apresentação do método teórico - computacionalmente impraticável -, pelos métodos heurísticos, ou mesmo pela procura de soluções recorrendo a algoritmos genéticos, grafos, etc.. Este capítulo termina com a avaliação dos classificadores através da análise do seu desempenho [Duda & Hart, 1973].

No capítulo seguinte (cf. Tabela 5.8), pela sua importância, serão re-visitados os conceitos básicos das redes multicamada e o algoritmo de retropropagação do erro¹. Serão analisados os classificadores neuronais em que se conhecem exemplos de decisão correcta (Aprendizagem Supervisionada) e para situações em que essa informação não existe (Aprendizagem Não Supervisionada). Será abordado o desempenho das redes neuronais sendo analisado, pela sua relevância, o dilema bias-variância ou aspectos de complexidade.

A importância de métodos de aproximação, como o método do Gradiente Conjugado e o método de Levenberg-Marquardt, justificam a sua inclusão no capítulo, bem como os aspectos principais dos respectivos algoritmos que mostram as suas vantagens/desvantagens em relação ao método do gradiente. As redes de Kohonen permitem ‘racionalizar’ mecanismos de organização topológica do cérebro, exemplificando-se a sua aplicação em vários problemas de Engenharia [Bishop, 1995]. As redes modulares serão referidas pelo benefício que apresentam na resolução de problemas mais complexos. Em relação às técnicas fornecidas no Capítulo 3, a principal

¹Embora as Redes Neuronais tivessem sido dadas em Computação Adaptativa, neste capítulo revisitamos alguns algoritmos mas tratamos também tópicos mais avançados como, por exemplo, complexidade computacional, e outras arquitecturas não cobertas em Computação Adaptativa. Chamamos a atenção para detalhes da abordagem e procuramos discuti-los com os estudantes, em contextos de aplicação diversificados, onde se tratam problemas de reconhecimento de padrões. O enfoque é na discussão de tópicos, que vão sendo explorados à medida que os conhecimentos dos alunos o permita. No que respeita à formação anterior dos alunos sobre este assunto, existem dois tipos de situações que convém aqui referir: (i) alunos que entram no MEI por via externa (caso dos alunos que preenchem as vagas de acesso ao MEI e que não provêm da LEI); (ii) alunos Erasmus que, embora frequentemente uma especialização equivalente a Sistemas e Computação (nos seus Países de origem), poderão ter uma formação deficitária neste tópicos.

Cap. 4 – Redes Neurais	
4.1	– Funções de Activação
4.2	– Conceito do Perceptrão
4.3	– Tipos de Redes Neurais (RN)
4.4	– Rede de Múltipla Camada
4.4.1	– O Algoritmo de Retropropagação
4.4.2	– Aspectos Práticos
4.4.3	– Séries Temporais
4.5	– Desempenho das RN
4.5.1	– Medidas de Erro
4.5.2	– A Matriz Hessiana
4.5.3	– O Dilemma Bias – Variância
4.5.4	– Complexidade
4.6	– Métodos de Aproximação
4.6.1	– Método do Gradiente Conjugado
4.6.2	– Método Levenberg – Marquardt
4.7	– Redes <i>Radial Basis Functions</i>
4.8	– Redes de Kohonen
4.9	– Redes Modulares

Tabela 5.8: Matéria do Capítulo 4.

mudança metodológica consiste em deixar de estimar as estatísticas das observações para passar a estimar a lei de decisão directamente [Haykin, 1994].

No Capítulo 5 (cf. Tabela 5.9) abordar-se-ão algoritmos de classificação não supervisionada, designadamente os métodos de agrupamento de dados (*clustering*). Será estudado o método de *clustering* hierárquico aglomerativo, por ser habitualmente usado em reconhecimento de padrões e pela sua simplicidade de implementação. Devido à sua importância serão incluídos métodos de similaridade entre *clusters* como, por exemplo, o de ligação simples, centroide, mediana, média do grupo e método de Ward. A inclusão da matéria relativa à selecção e extracção de características não deixa dúvidas quanto à sua importância em casos reais de milhares de características. Finalmente, concluir-se-á o capítulo com o algoritmo das k-médias. Ficam por incluir os métodos particionais de *clustering* desde o algoritmo de Lloyd-Max generalizado ao algoritmo de Forgy, dado que seria incorporável a cobertura da matéria indicada. Deixar-se-á ao aluno mais interessado no tópico a possibilidade de o fazer [A.K. Jain, 1988].

No Capítulo 6 (cf. Tabela 5.10) abordar-se-ão as máquinas de vectores de suporte que são consideradas o estado-da-arte em técnicas de classificação (e regressão). Possuem um potencial muito elevado pela sua eficácia em aplicações de Engenharia. A redução de custos computacio-

Cap. 5 – Agrupamento de Dados (<i>Clustering</i>)	
5.1	– Classificação Não Supervisionada
5.2	– Clustering Hierárquico Aglomerativo
5.3	– Medida de Semelhança entre <i>Clusters</i>
5.4	– Extracção de Características
5.5	– Algoritmo de <i>Clustering</i> das K- Médias

Tabela 5.9: Matéria do Capítulo 5.

Cap. 6 – Máquinas de Vectores de Suporte	
6.1	Introdução
6.2	Dimensão Vapnik–Chervonenkis (VC)
6.3	Risco Estrutural
6.4	Espaços de Características e Kernels
6.5	Tipos de Kernels
6.5.1	– Linear
6.5.2	– Polinomial
6.5.3	– Sigmoide
6.5.4	– Gaussiano
6.5.5	– Exponencial
6.5.5	– Outras Funções de Kernel
6.6	– Teorema de Mercer (Kernel <i>Trick</i>)
6.6	– Máquinas de Vectores de Suporte
6.6.1	– Classificação
6.6.2	– Regressão
6.6.3	– Exemplos
6.7	– Técnicas de Implementação

Tabela 5.10: Matéria do Capítulo 6.

nais (e o conseqüente aumento de velocidade de resposta) que se consegue tomando em atenção determinadas técnicas de solução do problema de otimização convexa resultante, constitui uma das vantagens comparativamente a outras metodologias, sobretudo em aplicações em tempo real. Desde a sua introdução em 1995, as máquinas de vectores de suporte (*Support Vector Machines*, SVM) marcaram o início de uma nova era no paradigma da aprendizagem computacional baseada em exemplos. Tendo as suas raízes na Teoria Estatística da Aprendizagem [Vapnik, 1995], desenvolvida por Vladimir Vapnik nos Laboratórios AT&T, as SVM desde logo sobressaíram em aplicações de reconhecimento de padrões, de modelização e predição de séries temporais devido a um conjunto de características, quer de carácter teórico, quer de carácter prático.

Este capítulo dedica-se ao seu estudo, preocupando-se com estas duas vertentes (teórica e prática) que passam pela introdução do conceito de risco estrutural por contraposição ao risco

Cap. 7 – Combinação de Classificadores	
7.1	– Combinação de classificadores
7.2	– Técnicas de combinação
7.3	– Arquitecturas de combinação
7.3.1	– Série/Cascata
7.3.2	– Paralela
7.3.3	– Hierárquica
7.4	– Construção de Conjuntos de Classificadores
7.4.1	– <i>Boosting</i>
7.4.2	– <i>Bagging</i>
7.4.3	– <i>Clustering</i>
7.5	Conclusão

Tabela 5.11: Matéria do Capítulo 7.

empírico (redes neuronais) e pela formulação das SVMs na classificação (e regressão). Em particular serão abordados os conceitos da dimensão Vapnik-Chervonenkis (VC), hiperplano óptimo de separação e interpretação geométrica da margem. A robustez estatística da função de custo e a modularidade da função de kernel são tópicos que proporcionam o rigor e o tratamento da complexidade necessários. Para além disso, serão efectuadas demonstrações das potencialidades que as SVMs possuem no desenvolvimento de métodos automáticos de decisão.

A combinação de classificadores é tratada no último capítulo (cf. Tabela 5.11). Em sistemas complexos pode vir a ser necessária, por exemplo, quando se utilizam técnicas de classificação distintas com os mesmos dados ou quando se dispõe de conjuntos de treino diferentes (*sampling*). Para além destas, por vezes, há que considerar os casos em que se tem acesso a classificadores diferentes, cada um deles desenvolvido num contexto distinto mas baseado em representações diferentes para o mesmo problema. Da combinação de classificadores resultará a decisão final do sistema. Serão dadas respostas a questões como: quando invocar cada classificador? Como interagem os classificadores entre si? O capítulo é, em certa medida, conclusivo dado que dá uma perspectiva das arquitecturas de combinação de classificadores, passando ainda pelas técnicas de construção de conjuntos de classificadores tais como *boosting*, *bagging*, *clustering*, *etc.*. Por fim, chamar-se-á a atenção do aluno para o facto de existir escassez de estudos teóricos de combinação de classificadores, reduzindo-se, na sua maioria, ao binómio “*bias-variance*” do erro de classificação, embora existam numerosos estudos experimentais.

5.5.2 Calendarização e Método de Ensino

Em relação ao programa apresentado na secção anterior os tempos de escolaridade atribuídos a cada um dos capítulos são os seguintes:

Cap. 1. – 1 semana
Cap. 2. – 1 semana
Cap. 3. – 2 semanas
Cap. 4. – 3.5 semanas
Cap. 5. – 2 semanas
Cap. 6. – 3.5 semanas
Cap. 7. – 2 semanas

As aulas teóricas (duas horas por semana) seguem, predominantemente, a via tradicional com a tarefa de exposição centrada no docente. O estabelecimento de diálogo com os alunos contribui, sempre que a ocasião se proporciona (considerando as limitações de tempo), para estimular a atenção dos alunos e vivificar o seu espírito especulativo. Encaminhar os estudantes no descobrimento dos factos científicos, procurando despertar o espírito crítico, é fundamental para o desenvolvimento de capacidades que lhes permitirão, no futuro, encarar a resolução de novos problemas e de vencer os desafios de uma sociedade em permanente mudança. A exposição deverá, assim, ser feita de modo a suscitar um elevado grau de interacção com os alunos. O princípio a adoptar será de ir colocando perguntas de modo que através das respostas possa

ocorrer essa interacção. A dinâmica resultante da colocação de perguntas e a partir das respostas dadas, levará a que percebam as relações entre os conceitos que vão sendo apresentados.

Cada aula teórica inicia-se com uma introdução, em que se faz a ligação com a matéria exposta na aula precedente. Caso se trate de um capítulo novo procede-se à sua contextualização no programa global. No final de cada aula é sempre apresentado um resumo, focando os aspectos essenciais dos temas apresentados, e são anunciados os temas a leccionar na aula seguinte.

Para apoiar a exposição das matérias utilizam-se diversos meios: quadro, acetatos e diapositivos. Serão utilizadas projecções por computador, mas sempre de forma equilibrada. Assim, o seu emprego deve ser cuidadosamente doseado de forma a que não se apresentem mais de 10 ‘slides’ por cada hora lectiva. Por outro lado, os ‘slides’ não podem ser uma cópia do texto de estudo ou um seu resumo, destinando-se antes à apresentação de gráficos, imagens ou demonstrações matemáticas mais extensas. Equaciona-se ainda o recurso ao quadro para esclarecimento de dúvidas ou questões mais pertinentes, em particular, especificidades de demonstrações e interpretações geométricas de certos aspectos dos algoritmos de optimização, por exemplo. As aulas teóricas devem, em certa medida, conter as directivas de preparação da aula prática, indicando aspectos de pormenor a ter em atenção quando se tratam casos práticos. Por outro lado, as aulas teóricas devem lançar questões e desafios, remetendo ‘ponteiros’ ou referências de assuntos para explorar extra aula. Apela-se ainda à utilização dos Foruns no Moodle para discussão de temas de interesse relacionados com as várias componentes da disciplina, em particular com os Seminários e Projecto. Embora se incentive fortemente a consulta de bibliografia conceituada nesta área de conhecimento, são postas à disposição dos alunos as lições escritas pela candidata no âmbito da disciplina.

5.6 Aulas Práticas

Nas aulas práticas (duas horas, uma vez por semana) faz-se um maior apelo ao trabalho individual ou em grupo, orientado pelo docente. As aulas práticas serão aulas de laboratório designadas, no modelo de Bolonha, por *open labs*. O seu conteúdo técnico, incluindo objectivos, metodologia e resultados esperados, está completamente especificado. As competências se espera que o aluno adquira no *open lab* estão também claramente identificadas pelo detalhe da especificação do próprio trabalho em si. Falta apenas estabelecer e medir o esforço em número de horas gasto em adquirir as bases necessárias e familiarizar-se com as ferramentas adequadas para a sua realização.

A ferramenta computacional de suporte à realização das Fichas Práticas é o MATLAB, que, os alunos já usaram em Computação Adaptativa e, os outros, não têm qualquer problema dado que se trata de alunos do 2^o que possuem grande maturidade. Para além disso, os alunos utilizam ainda a Toolbox de Reconhecimento de Padrões, já referida no Capítulo 3, disponível em <http://cmp.felk.cvut.cz/cmp/software/stprtool/>. Mesmo para os alunos que não utilizaram no percurso de formação anterior esta ferramenta, verifica-se que é com facilidade que rapidamente se sentem confortáveis com a mesma, passando a utilizá-la regularmente, nas actividades das aulas (e extra aulas).

Fichas Práticas		
Trabalho	Tópicos	Planeamento
Discriminação de Padrões	<ul style="list-style-type: none"> – Regiões de Decisão – Separabilidade de Hiperplanos – Métricas de Espaços 	Semana 1
Seleção de Características	<ul style="list-style-type: none"> – Análise de Componentes Principais – Teste de Kruskal-Wallis – Avaliação de Características 	Semanas 2 & 3
Classificadores Estatísticos 1	<ul style="list-style-type: none"> – Discriminantes Lineares – Métrica Euclidiana – Métrica de Mahalanobis 	Semana 4
Classificadores Estatísticos 2	<ul style="list-style-type: none"> – Discriminantes Lineares – Discriminante de Fisher – Perceptrão (Simple & Multi) 	Semana 5
Classificadores Estatísticos 3	<ul style="list-style-type: none"> – Distribuições Gaussianas – Estimação da Máxima Verosimilhança – Classificador de Bayes 	Semanas 6 & 7
Estimação Não-Paramétrica	<ul style="list-style-type: none"> – K-Vizinhos mais próximos – Curvas ROC 	Semana 7
Métodos de Agrupamento	<ul style="list-style-type: none"> – Agrupamento Hierárquico – Agrupamento das K-Médias 	Semana 9
Máquinas de Vectores de Suporte	<ul style="list-style-type: none"> – Margem Rígida – Margem ‘Soft’ 	Semanas 10 & 11
Apoio ao Projecto	<ul style="list-style-type: none"> – Fases do Projecto 	Semanas 12 & 15

Tabela 5.12: Programa Prático de TRP

O planeamento dos trabalhos práticos é ilustrado na Tabela 5.12. São organizados pela temática das aulas teóricas de modo a haver sintonização, tanto quanto possível, entre ambas.

São resolvidas fichas de trabalhos práticos com recurso a programas computacionais referidos acima, acompanhando a matéria exposta nas aulas teóricas (nos textos de apoio da disciplina). Utilizam-se nos trabalhos datasets disponíveis em suporte electrónico no livro seguido (e que colocamos na Intranet, na página da cadeira, na rubrica dos materiais de apoio). Para além disso, os alunos têm acesso em <http://eden.dei.uc.pt/~bribeiro/UCI/> a repositórios de dados (também) disponíveis em sítios da internet de aprendizagem computacional (<http://archive.ics.uci.edu/ml/>) reduzindo-se assim os tempos de acesso via rede. Promove-se nas aulas o desenvolvimento da capacidade argumentativa pelo debate e a discussão. Utiliza-se o quadro para rever conceitos (explicados nas teóricas) ou clarificar especificidades numéricas.

Seguidamente, apresenta-se o planeamento das aulas práticas com o conjunto de trabalhos cujos temas abarcam, na sua quase globalidade, a matéria abordada nas aulas teóricas.

5.7 Bibliografia Adoptada

A bibliografia sobre os tópicos que constituem a disciplina de TRP é muito vasta. É também muito alargada a pesquisa que temos vindo a fazer ao longo destes anos em que a unidade curricular tem funcionado, quer em Instituições nacionais quer em Instituições estrangeiras.

Decidimos perseguir um fio condutor principal tendo por base um livro que tem sido adoptado na FEUP sendo também um manual de referência internacional. A razão principal prende-se com a existência de um CD com datasets que cobrem muitas áreas de intervenção de reconhecimento de padrões no panorama nacional. Abrangendo áreas que vão desde a Bioinformática, o Diagnóstico Médico, até à Aplicações Financeiras e Economia, o livro contém um conjunto de dados que facilitam a aplicação dos algoritmos, e permitem desenhar um projecto de reconhecimento de padrões de valor académico inegável. Adicionalmente, usámos outras referências, de grande qualidade, que são usadas em cursos deste tipo, em Departamentos de Ciências da Computação ou Engenharia Informática internacionais.

Apresenta-se seguidamente a bibliografia adoptada na unidade curricular de TRP.

Bibliografia

- [A.K. Jain, 1988] A.K. Jain, R. D. (1988). *Algorithms for Clustering Data*. Prentice Hall. 38
- [Bishop, 1995] Bishop, C. M. (1995). *Pattern Recognition for Neural Networks*. New York: Oxford University Press, Inc. 37
- [Duda & Hart, 1973] Duda, R. & Hart, P. (1973). *Pattern Classification and Scene Analysis*. Wiley. 37
- [Fukunaga, 1990] Fukunaga, K. (1990). *Statistical Pattern Recognition*. Academic Press, second edition. 35
- [Haykin, 1994] Haykin, S. (1994). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Prentice-Hall. 38

-
- [Marques, 1999] Marques, J. S. (1999). *Reconhecimento de Padrões: Métodos Estatísticos e Neurais*. IST Press. [36](#)
- [Marques de Sá, 2001] Marques de Sá, J. P. (2001). *Pattern Recognition Concepts, Methods and Applications*. Springer-Verlag. [29](#), [35](#)
- [Vapnik, 1995] Vapnik, V. (1995). *The Nature of Statistical Learning Theory*. New York: Springer Verlag. [39](#)

Capítulo 6

Considerações Finais

Neste documento apresentou-se o enquadramento, o programa, os conteúdos, os métodos de ensino teóricos e práticos da disciplina de Técnicas de Reconhecimento de Padrões, integrada no plano de estudo do Mestrado em Engenharia Informática da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Procurou-se neste relatório apresentar os princípios subjacentes à sua organização e funcionamento no contexto do plano curricular do MEI, resultante do processo de adaptação ao Modelo de Bolonha, dando particular atenção aos objectivos de aprendizagem, e às metodologias.

Trata-se de uma unidade curricular que tem a montante, no MEI, as disciplinas de Computação Adaptativa e Inteligência Artificial, ambas obrigatórias da opção temática de Computação e Sistemas. Beneficia assim dos conteúdos ministrados nessas disciplinas, aparecendo como um caminho natural para os estudantes que escolheram aquela opção temática.

A unidade curricular de TRP apresenta muitos desafios aos alunos, desde já pela fundamentação teórica, de conteúdos matemáticos vastos, mas torna-se extremamente compensadora e aliciante no que toca aos problemas que resolve. Esta disciplina, criada no enquadramento de Bolonha como opcional, apresenta-se com um teor inovador no que respeita ao anterior plano de estudos da LEI-5. No entanto, TRP posicionando-se decididamente no trilho da Inteligência Computacional pelas matérias de base dadas a montante, lança sem dúvida novos desafios que pretendem resolver questões tão intrigantes com o reconhecimento de formas, fisionomias, sons ou imagens procurando técnicas que se inspiram na percepção sensorial.

Apesar de nos termos debatido com os problemas inerentes a uma transição ao nível das metodologias de ensino e estratégias pedagógicas, consideramos que os passos no caminho já percorrido têm sido muito positivos, e esperamos que continue a ser desafiante como até aqui.

Bibliografia

- [Bergen, 2005] *The European Higher Education Area - Achieving the Goals*. Communiqué of the Conference of European Ministers Responsible for Higher Education. Bergen, 19-20 May 2005 (<http://www.bologna-bergen2005.no/>) 6
- [Bologna, 1999] *The European Higher Education Area*, June 1999. <http://ec.europa.eu/education/policies/educ/bologna/bologna.pdf>. 7
- [BolonhaLEI, 2006] DEI-FCTUC. Relatório - Registo da adequação do ciclo de estudos conducente ao grau de Licenciado em Engenharia Informática pela FCTUC. Março 2006. (disponível em <http://eden.dei.uc.pt/~bribeiro/LEIBolonha.pdf>). 8
- [BolonhaMEI, 2006] DEI-FCTUC. Relatório - Registo da adequação do ciclo de estudos conducente ao grau de Mestre em Engenharia Informática pela FCTUC. Março 2006. (disponível em <http://eden.dei.uc.pt/~bribeiro/MEIBolonha.pdf>). 9, 10
- [CC, 2001] ACM/IEEE-Curriculum 2001 Task Force. Computing Curricula 2001, Computer Science Volume. *IEEE Computer Society Press and ACM Press*. December 2008. (<http://www.computer.org/curriculum>).
- [CC, 2005] ACM/AIS/IEEE Joint Task Force for Computing Curricula 2005. Computing Curricula 2005, Computer Science Volume. *IEEE Computer Society Press and ACM Press*. September 2005. (<http://www.computer.org/curriculum>).
- [CC, 2008] ACM/IEEE-Curriculum 2008 Task Force. Computing Curricula 2008, Computer Science Volume. *IEEE Computer Society Press and ACM Press*. December 2008. (<http://www.computer.org/curriculum>). 8
- [DublinDescriptors, 2004] Joint Quality Initiative, Shared ‘Dublin’ descriptors for Short Cycle, First Cycle, Second Cycle and Third Cycle Awards. A report from a Joint Quality Initiative informal group. 18 October 2004. (Disponível em <http://www.jointquality.org/>) 7
- [Roldão, 2003] Roldão, M. C. *Gestão do Currículo e Avaliação de Competências – a questão dos professores*. Editorial Presença, Setembro 2003. ISBN 972-23-3086-1. 11
- [Tuning, 2005] Júlia González and Robert Wagenaar (Ed.). *Tuning Educational Structures in Europe II, Universities’ contribution to the Bologna Process*. University of Deusto & University of Groningen, 2005. (<http://www.tuning.unideusto.org>) 6

Parte II

Anexos

Apêndice A

Plano de Estudos da LEI

Licenciatura em Engenharia Informática - 2009/2010			
ANO	UNIDADE CURRICULAR	SEM	ECTS
1	Álgebra Linear e Geometria Analítica	1º Semestre	6
1	Análise Matemática I	1º Semestre	6
3	Bases de Dados	1º Semestre	6
3	Comunicação Técnica	1º Semestre	6
3	Engenharia de Software	1º Semestre	6
1	Estruturas Discretas	1º Semestre	6
1	Introdução à Programação e Resolução de Problemas	1º Semestre	6
2	Introdução às Redes de Comunicação	1º Semestre	6
3	Processos de Gestão e de Inovação	1º Semestre	6
2	Programação Orientada aos Objectos	1º Semestre	6
3	Sistemas Distribuídos	1º Semestre	6
2	Sistemas Operativos	1º Semestre	6
1	Tecnologia dos Computadores	1º Semestre	6
2	Teoria da Computação	1º Semestre	6
2	Teoria da Informação	1º Semestre	6
2	Algoritmos e Estruturas de Dados	2º Semestre	6
2	Análise e Transformação de Dados	2º Semestre	6
1	Análise Matemática II	2º Semestre	6
1	Arquitectura de Computadores	2º Semestre	6
3	Compiladores	2º Semestre	6
3	Computação Gráfica	2º Semestre	6
1	Estatística	2º Semestre	6
3	Introdução à Inteligência Artificial	2º Semestre	6
3	Laboratórios de Programação Avançada	2º Semestre	6
2	Multimédia	2º Semestre	6
1	Princípios de Programação Procedimental	2º Semestre	6
2	Protocolos de Comunicação	2º Semestre	6
2	Simulação e Computação Científica	2º Semestre	6
3	Sistemas de Informação	2º Semestre	6
1	Tópicos de Física Moderna	2º Semestre	6

Apêndice B

Plano de Estudos do PDTCI

Programa Doutoral em Ciências e Tecnologia da Informação - 2009/2010		
UNIDADE CURRICULAR	SEM	ECTS
Análise e Processamento de Biosinais	1º Semestre	6
Confiabilidade de Sistemas	1º Semestre	6
Estatística	1º Semestre	6
Métodos de Investigação	1º Semestre	6
Reutilização de Software e Padrões de Projecto	1º Semestre	6
Tecnologias e Aprendizagem	1º Semestre	6
Tópicos Avançados em Comunicações	1º Semestre	6
Tópicos Avançados em Inteligência Artificial	1º Semestre	6
Aprendizagem em Tempo Real em Sistemas Inteligentes	2º Semestre	6
Conectividade e Reconhecimento de Padrões	2º Semestre	6
Sistemas Concorrentes de Larga Escala	2º Semestre	6
Tópicos Avançados de Modelação Cognitiva	2º Semestre	6
Tópicos Avançados em Processamento e Análise de Dados	2º Semestre	6
Tópicos Avançados em Sistemas de Informação	2º Semestre	6
Tópicos de Investigação em Computação Ubíqua	2º Semestre	6
Proposta de Tese	Anual	36
Tese	Plurianual 120	

Apêndice C

Fichas Práticas

Apêndice D

Enunciados das Provas

Apêndice E

Enunciados dos Projectos

Apêndice F

Apresentação de TRP

Apêndice G

Projeções das Aulas Teóricas

Apêndice H

Sumários das Aulas Teóricas e Práticas (*WebOnCampus*)

Apêndice I

Relatório de Projecto de um Aluno

Apêndice J

Referências Eletrônicas

Austria, Viena

Introduction to Pattern Recognition
Faculty of Informatics, Vienna University of Technology

http://tuwis.tuwien.ac.at/zope/_ZopeId/07062127A2pNy7AZqe4/tpp/lv/lvae_html?num=183067&se

Alemanha

Pattern Recognition Course
Universidade de Freiburg

http://lmb.informatik.uni-freiburg.de/lectures/mustererkennung/Englische_Folien/index.htm

Canadá, Montreal

Pattern Recognition
School of Computer Science at McGill University

<http://cgm.cs.mcgill.ca/~godfried/teaching/pr-info.html>

Finlândia

Pattern Recognition
Department of Information Technology, Lappeenranta Technical University

<http://www2.it.lut.fi/kurssit/04-05/010586001/lectures.html>

<https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/ct50a6000/etusivu>

Pattern recognition using Neural Networks
University of Kuopio

<http://kettinki.uku.fi/ojkkatselu/english/jaksonKuvaus.20680.html>

Grã-Bretanha, Londres

Pattern Recognition and Machine Vision
Computer Science Department, University College London

http://www.cs.ucl.ac.uk/staff/B.Buxton/teaching/mscis/mscis_teaching.html

Intelligent Systems Group
Computer Science Department, University College London

http://www.cs.ucl.ac.uk/research/intelligent_systems/

Grã-Bretanha, Edinburgh

Pattern Recognition
University of Edinburgh
http://www.cstr.ed.ac.uk/emasters/course/pattern_recog.html

Grécia, Patras

Pattern Recognition I e Pattern Recognition II
Dept. of Electrical Engineering and Computer Technology, University of Patras
http://www.wcl.ece.upatras.gr/pattern_recognition/courses

Holand, Utrech

Pattern Recognition Seminar
Information and Computing Sciences, Universidade de Utrech
http://people.cs.uu.nl/robby/teaching/pattern_recognition.html

Hong-Kong

Pattern Recognition: Theory and Applications
Department of Electronic and Information Engineering
The Hong Kong Polytechnic University
http://www.eie.polyu.edu.hk/~enkmlam/EIE522/EIE522_PR.htm

Israel

Pattern Recognition
Technion Israel Institute of Technology
<http://webee.technion.ac.il/courses/048995/>

Polónia, Cracóvia

Image Processing and Pattern Recognition
Department of Institute of Computer Science, Jagiellonian University
<http://www.ii.uj.edu.pl/zpro/index.en.html>

Portugal, Porto

Reconhecimento de Padrões
Faculdade de Engenharia do Porto
http://www.fe.up.pt/si/disciplinas_geral.FormView?P_CAD_CODIGO=MIASI206&P_ANO_LECTIVO=200

<http://paginas.fe.up.pt/~jmsa/recpad/>

Portugal, Lisboa

Estudos Avançados em Descoberta de Padrões (EADP)
Departamento de Engenharia Informática, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa
<https://fenix.ist.utl.pt/publico/department/showCompetenceCourse.faces?competenceCourseID>

Turquia, Istambul, Ankara

Pattern Recognition
Computer Engineering Department, Bilkent University
<http://www.cs.bilkent.edu.tr/~saksoy/courses/cs551/index.html>

USA

Pattern Recognition and Analysis
Michigan State University, USA
<http://www.cse.msu.edu/~cse802/>

Introduction to Pattern Recognition
University of Buffalo
<http://www.cedar.buffalo.edu/~srihari/CSE555/>

Pattern Recognition and Machine Learning
University of UCLA
<http://www.stat.ucla.edu/~yuille/courses/Stat%20231%20Pattern%20Recognition%20and%20Machi>

Pattern Recognition
College of Computing, Georgia Tech
http://www.cc.gatech.edu/~rehg/Classes/CS4803_PAR.htm