

ACEF/1516/06962 — Guião para a auto-avaliação

Caracterização do ciclo de estudos.

A1. Instituição de ensino superior / Entidade instituidora:
Universidade De Lisboa

A1.a. Outras Instituições de ensino superior / Entidades instituidoras:

A2. Unidade(s) orgânica(s) (faculdade, escola, instituto, etc.):
Instituto Superior Técnico

A3. Ciclo de estudos:
Física

A3. Study programme:
Physics

A4. Grau:
Doutor

A5. Publicação do plano de estudos em Diário da República (n.º e data):
Despacho 4371/2014, DR n.º 59, II série, de 25 de março

A6. Área científica predominante do ciclo de estudos:
Física

A6. Main scientific area of the study programme:
Physics

A7.1. Classificação da área principal do ciclo de estudos (3 dígitos), de acordo com a Portaria n.º 256/2005, de 16 de Março (CNAEF):
441

A7.2. Classificação da área secundária do ciclo de estudos (3 dígitos), de acordo com a Portaria n.º 256/2005, de 16 de Março (CNAEF), se aplicável:
<sem resposta>

A7.3. Classificação de outra área secundária do ciclo de estudos (3 dígitos), de acordo com a Portaria n.º 256/2005, de 16 de Março (CNAEF), se aplicável:
<sem resposta>

A8. Número de créditos ECTS necessário à obtenção do grau:
240

A9. Duração do ciclo de estudos (art.º 3 DL-74/2006, de 26 de Março):
4 Anos

A9. Duration of the study programme (art.º 3 DL-74/2006, March 26th):
4 Years

A10. Número de vagas proposto:

A11. Condições específicas de ingresso:**1. Podem candidatar-se ao acesso ao ciclo de estudos conducente ao grau de doutor:**

- a) *Os titulares do grau de mestre, ou equivalente legal;*
 - b) *Os titulares do grau de licenciado ou equivalente legal, detentores de um currículo escolar ou científico especialmente relevante que seja reconhecido pelo Conselho Científico do IST como atestando capacidade para a realização do ciclo de estudos;*
 - c) *A título excepcional, os detentores de um currículo escolar, científico ou profissional que seja reconhecido pelo Conselho Científico do IST, como atestando capacidade para a realização do ciclo de estudos*
- 2. Cabe ao Conselho Científico do IST, tendo em conta o parecer do Coordenador do Curso, decidir sobre os candidatos a admitir.**

A11. Specific entry requirements:**1. May apply to a cycle of studies, leading to a PhD degree applicants that:**

- a) *Hold a Master's degree, or legal equivalent;*
 - b) *Hold a degree or legal equivalent, holder of an academic or scientific record recognized by the Scientific Board of IST as particularly relevant, attesting the candidate's ability to attend this cycle of studies;*
 - c) *Exceptionally have an academic, scientific or professional record recognized by the Scientific Board of IST as showing evidence of the applicant's ability to attend this cycle of studies.*
- 2. Based on the opinion delivered by Program Coordinators, the Scientific Board shall be responsible for making decisions about candidate eligibility.**

A12. Ramos, opções, perfis...**Pergunta A12**

A12. Percursos alternativos como ramos, opções, perfis, maior/menor, ou outras formas de organização de percursos alternativos em que o ciclo de estudos se estrutura (se aplicável):

Não

A12.1. Ramos, variantes, áreas de especialização do mestrado ou especialidades do doutoramento (se aplicável)

A12.1. Ramos, opções, perfis, maior/menor, ou outras formas de organização de percursos alternativos em que o ciclo de estudos se estrutura (se aplicável) / Branches, options, profiles, major/minor, or other forms of organisation of alternative paths compatible with the structure of the study programme (if applicable)

Opções/Ramos/... (se aplicável):

Tronco Comum

Options/Branches/... (if applicable):

Common Branch

A13. Estrutura curricular**Mapa I - Tronco Comum****A13.1. Ciclo de Estudos:**

Física

A13.1. Study programme:

Physics

A13.2. Grau:

Doutor

A13.3. Ramo, variante, área de especialização do mestrado ou especialidade do doutoramento (se aplicável):

Tronco Comum**A13.3. Branch, option, specialization area of the master or speciality of the PhD (if applicable):****Common Branch****A13.4. Áreas científicas e créditos que devem ser reunidos para a obtenção do grau / Scientific areas and credits that must be obtained before a degree is awarded**

Área Científica / Scientific Area	Sigla / Acronym	ECTS Obrigatórios / Mandatory ECTS	ECTS Mínimos Optativos / Minimum Optional ECTS*
Física dos Plasmas, Lasers e Fusão Nuclear (Opções-105ECTS)/Plasma Physics, Lasers and Nuclear Fusion (options-105 ECTS)	FPLFN	0	0
Física Interdisciplinar (Opções-21ECTS)/Interdisciplinary Physics (Options-21ECTS)	FI	3	0
Física de Partículas e Física Nuclear (Opções-114ECTS)/Particle and Nuclear Physics (Options-114ECTS)	FPFN	0	0
Física da Matéria Condensada e Nanotecnologia (Opções-90ECTS)/Condensed Matter and Nanotechnology (Options-90ECTS)	FMCN	0	0
Astrofísica e Gravitação (Opções-39ECTS)/Astrophysics and Gravitation (Options-39ECTS)	AG	0	0
Físicas e Tecnologias Básicas (Opções-13.5ECTS)/Basic Physics and Technologies (Options-13.5ECTS)	FTB	0	0
Competências Transversais (Opções-6ECTS)/Crosscutting Skills (Options-6ECTS)	CT	0	0
Todas as áreas científicas do IST (Opções-27ECTS)/All scientific areas of IST (Options-27ECTS)	OL	0	0
Opções - Qualquer área científica desta tabela/Options - any scientific area of this table	OP	0	27
(9 Items)		3	27

A14. Plano de estudos**Mapa II - Tronco Comum - 1º ano Parte 2****A14.1. Ciclo de Estudos:****Física****A14.1. Study programme:****Physics****A14.2. Grau:****Doutor****A14.3. Ramo, variante, área de especialização do mestrado ou especialidade do doutoramento (se aplicável):****Tronco Comum****A14.3. Branch, option, specialization area of the master or speciality of the PhD (if applicable):****Common Branch****A14.4. Ano/semestre/trimestre curricular:****1º ano Parte 2****A14.4. Curricular year/semester/trimester:****1 year Part 2**

A14.5. Plano de estudos / Study plan

Unidades Curriculares / Curricular Units	Área Científica / Scientific Area (1)	Duração / Duration (2)	Horas Trabalho / Working Hours (3)	Horas Contacto / Contact Hours (4)	ECTS	Observações / Observations (5)
Tópicos em Física de Partículas/Topics in Particle Physics	FPFN	Semestral	168	T-56;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Tópicos de Matéria Condensada/Topics of Condensed Matter	FMCN	Semestral	168	T-56;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Tópicos em Relatividade Geral e Cosmologia/Topics in General Relativity and Cosmology	AG	Semestral	168	T-56;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Astropartículas/Astroparticles	FPFN	Semestral	168	T-56;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Física de Interação Forte/Qcd/Physics of the Strong/Qcd Interaction	FPFN	Semestral	210	S-21;OT-42;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Fundamentos de Física dos Plasmas, Fusão Nuclear e Lasers/Fundamentals of Plasma Physics, Nuclear Fusion and Lasers	FPLFN	Semestral	210	T-42;TP-28;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Tópicos Avançados em Física dos Plasmas, Fusão Nuclear e Lasers/Advanced Topics in Plasma Physics, Nuclear Fusion and Lasers	FPLFN	Semestral	210	T-42;TP-28;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Física da Informação Clássica e Quântica/Physics of Classical and Quantum Information	FI	Semestral	210	TP-56;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Tecnologias Quânticas da Informação/Quantum Information Technologies	FI	Semestral	210	TP-56;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Ensino e Divulgação Científica/Outreach and Teaching Skills-Df	CT	Semestral	168	OT-42;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS

(10 Items)**Mapa II - Tronco Comum - 1º ano Parte 1****A14.1. Ciclo de Estudos:***Física***A14.1. Study programme:***Physics***A14.2. Grau:***Doutor***A14.3. Ramo, variante, área de especialização do mestrado ou especialidade do doutoramento (se aplicável):***Tronco Comum***A14.3. Branch, option, specialization area of the master or speciality of the PhD (if applicable):***Common Branch***A14.4. Ano/semestre/trimestre curricular:***1º ano Parte 1***A14.4. Curricular year/semester/trimester:***1 year Part 1*

A14.5. Plano de estudos / Study plan

Unidades Curriculares / Curricular Units	Área Científica / Scientific Area (1)	Duração / Duration (2)	Horas Trabalho / Working Hours (3)	Horas Contacto / Contact Hours (4)	ECTS	Observações / Observations (5)
Física Atómica e Molecular dos Plasmas/Atomic Physics and and Molecular Plasma Physics	FPLFN	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Sistemas de Muitas Partículas e Fenómenos Críticos/Multiparticle Systems and Critical Phenomena	FMCN	Semestral	210	OT-42;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Teoria do Campo Avançada/Advanced Field Theory	FPFN	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Física da Matéria Condensada Avançada/Physics of Advanced Condensed Matter	FMCN	Semestral	210	OT-42;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Tópicos Avançados em Física das Partículas e Astropartículas I/Advanced Topics in Particle and Astroparticle Physics I	FPFN	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Métodos Experimentais Avançados em Física de Partículas II/Advanced Experimental Methods in Particle Physics II	FPFN	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Métodos de Diagnóstico de Plasmas/Plasma Diagnostic Methods	FPLFN	Semestral	210	T-28;PL-42;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Lasers Ultra Intensos/Ultra-intense Lasers	FPLFN	Semestral	210	OT-28;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Física da Interação Laser-Plasma/Physics of Laser-Plasma Interaction	FPLFN	Semestral	210	S-28;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Descargas em Gases/Gas Discharges	FPLFN	Semestral	168	T-56;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Seminário de Física/Physics Seminar	FI	Semestral	84	S-14;	3	Obrigatória
Tópicos Avançados em Física das Partículas e Astropartículas II/Advanced Topics in Particle and Astroparticle Physics II	FPFN	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Técnicas Espectroscópicas/Spectroscopic Techniques	FMCN	Semestral	210	T-42;PL-42;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Métodos de Física Nuclear em Ciência e Tecnologia/Nuclear Physics Methods in Science and Technology	FTB	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Tópicos Avançados em Relatividade Geral, Astrofísica e Cosmologia I/Advanced Topics in General Relativity, Astrophysics and Cosmology I	AG	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Tópicos Avançados em Física da Matéria Condensada/Advanced Topics in Condensed Matter Physics	FMCN	Semestral	210	OT-42;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Spintronics/Spintronics	FMCN	Semestral	210	TP-42;PL-28;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Espectroscopia da Matéria Condensada/Spectroscopy of Condensed Matter	FMCN	Semestral	210	T-42;PL-42;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Complementos de Microtecnologias/Complements of Microtechnologies	FMCN	Semestral	210	T-28;PL-42;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Complementos de Física dos Cristais Líquidos/Complements of Liquid Crystal Physics	FMCN	Semestral	210	T-28;PL-42;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS

Física dos Estados Extremos da Matéria/Physics of Extreme States of Matter	FPLFN	Semestral	210	S-28;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Física da Reentrada do Espaço/Physics of Space Reentry	FPLFN	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Computação Avançada em Física e Engenharia/Advanced Computation in Physics and Engineering	FPLFN	Semestral	210	S-28;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Tópicos Avançados em Física Nuclear II/Advanced Topics in Nuclear Physics II	FPFN	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Tópicos Avançados em Relatividade Geral, Astrofísica e Cosmologia II/Advanced Topics in General Relativity, Astrophysics and Cosmology II	AG	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Teoria Cinética dos Plasmas/Plasma Kinetic Theory	FPLFN	Semestral	168	T-56;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Astrofísica/Astrophysics	AG	Semestral	168	T-56;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Física Nuclear/Nuclear Physics	FPFN	Semestral	168	T-56;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Mecânica Estatística e Transições de Fase/Statistic Mechanics and Phase Transitions	FMCN	Semestral	168	T-56;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Laboratório de Raios Cósmicos/Cosmic Ray Laboratory	FPFN	Semestral	168	T-28;PL-42;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Reações Nucleares/Nuclear Reactions	FPFN	Semestral	168	T-56;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Teoria de Campo/Quantum Field Theory	FPFN	Semestral	168	T-56;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Teorias de Unificação/Unification Theories	FPFN	Semestral	168	T-56;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Complementos de Descargas em Gases/Complements of Gas Discharges	FPLFN	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Óptica Quântica e Lasers/Quantum Optics and Lasers	FPLFN	Semestral	168	T-56;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Unidades curriculares de opção/Free option units	OL	Semestral	756	n.a.	27	Opcão Livre - a escolher de qualquer DEA do IST de acordo com o respectivo Coordenador
Fusão Nuclear/Nuclear Fusion	FPLFN	Semestral	168	T-56;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Tópicos Avançados em Física Nuclear I/Advanced Topics Nuclear Physics I	FPFN	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Física da Matéria Condensada/Condensed Matter Physics	FMCN	Semestral	168	T-56;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Métodos Experimentais Avançados em Física de Partículas I/Advanced Experimental Methods in Particle Physics I	FPFN	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Laboratório de Física da Matéria Condensada/Condensed Matter Physics Laboratory	FMCN	Semestral	168	T-28;PL-42;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Física de Partículas/Particle Physics	FPFN	Semestral	168	T-56;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS

Laboratório de Astrofísica/Astrophysics Laboratory	AG	Semestral	168	T-28;PL-42;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Métodos Experimentais em Física de Partículas/Experimental Methods in Particle Physics	FPFN	Semestral	168	T-28;PL-42;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Relatividade e Cosmologia/Relativity and Cosmology	AG	Semestral	168	T-56;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Teoria de Grupos em Física/Group Theory in Physics	FTB	Semestral	168	T-56;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Ondas e Instabilidades em Plasmas/Waves and Instabilities in Plasmas	FPLFN	Semestral	168	T-56;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Física dos Cristais Líquidos/Physics of Liquid Crystals	FMCN	Semestral	168	T-56;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Sistemas Dinâmicos/Dynamical Systems	FI	Semestral	168	T-56;	6	Opcional –Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS

(49 Items)

Perguntas A15 a A16

A15. Regime de funcionamento:

Diurno

A15.1. Se outro, especifique:

<sem resposta>

A15.1. If other, specify:

<no answer>

A16. Docente(s) responsável(eis) pela coordenação do ciclo de estudos (a(s) respetiva(s) Ficha(s) Curricular(es) deve(m) ser apresentada(s) no Mapa VIII)

Vítor João Rocha Vieira

A17. Estágios e Períodos de Formação em Serviço

A17.1. Indicação dos locais de estágio e/ou formação em serviço

Mapa III - Protocolos de Cooperação

Mapa III

A17.1.1. Entidade onde os estudantes completam a sua formação:

<sem resposta>

A17.1.2. Protocolo (PDF, máx. 150kB):

<sem resposta>

Mapa IV. Mapas de distribuição de estudantes

A17.2. Mapa IV. Plano de distribuição dos estudantes pelos locais de estágio.(PDF, máx. 100kB)

Documento com o planeamento da distribuição dos estudantes pelos locais de formação em serviço demonstrando a

adequação dos recursos disponíveis.

<sem resposta>

A17.3. Recursos próprios da Instituição para acompanhamento efetivo dos seus estudantes no período de estágio e/ou formação em serviço.

A17.3. Indicação dos recursos próprios da Instituição para o acompanhamento efetivo dos seus estudantes nos estágios e períodos de formação em serviço.

<sem resposta>

A17.3. Indication of the institution's own resources to effectively follow its students during the in-service training periods.

<no answer>

A17.4. Orientadores cooperantes

A17.4.1. Normas para a avaliação e seleção dos elementos das Instituições de estágio responsáveis por acompanhar os estudantes (PDF, máx. 100kB).

A17.4.1. Normas para a avaliação e seleção dos elementos das Instituições de estágio responsáveis por acompanhar os estudantes (PDF, máx. 100kB)

Documento com os mecanismos de avaliação e seleção dos monitores de estágio e formação em serviço, negociados entre a Instituição de ensino e as Instituições de formação em serviço.

<sem resposta>

Mapa V. Orientadores cooperantes de estágio e/ou formação em serviço (para ciclos de estudos de formação de professores).

Mapa V. Orientadores cooperantes de estágio e/ou formação em serviço (para ciclo de estudos de formação de professores) / Map V. External supervisors responsible for following the students' activities (only for teacher training study programmes)

Nome / Name	Instituição ou estabelecimento a que pertence / Institution	Categoria Profissional / Professional Title	Habilitação Profissional (1)/ Professional Qualifications (1)	Nº de anos de serviço / No of working years
----------------	--	--	--	--

<sem resposta>

Pergunta A18 e A20

A18. Local onde o ciclo de estudos será ministrado:

Instituto Superior Técnico nos seus Campi:

Campus Alameda: Av. Rovisco Pais, No 1, 1049-001 Lisboa

Campus Taguspark: Av. Prof. Doutor Cavaco Silva, 2744-016 Porto Salvo

Campus Tecnológico e Nuclear: Estrada Nacional 10 (ao Km 139,7), 2695-066 Bobadela LRS

nas instalações de ensino e nos Centros de Investigação e Laboratórios Associados, incluindo ainda o LIP e o INESC-MN e empresas.

A19. Regulamento de creditação de formação e experiência profissional (PDF, máx. 500kB):

[A19. Regulamento de creditação da UL.pdf](#)

A20. Observações:

Para lá dos docentes que têm indicação de Dissertação na sua ficha de docente, existem mais orientações e co-orientações de Dissertação por parte de investigadores de centros de investigação do IST, e de outros centros nacionais e internacionais de investigação.

No ponto 5.1.3 - Procura do ciclo de estudos , a plataforma aceita apenas números, razão pela qual aparece "0" em vez

de "não aplicável".

Nos pontos 6.2.1.2 e 6.2.1.3 é indicado o crédito letivo atribuído aos docentes da unidade curricular (para efeito de serviço docente) e não a carga letiva com que a unidade curricular efetivamente funcionou.

No ponto 7.1.1 - Eficiência formativa, os dados que constam dos diplomados dizem respeito aos anos letivos 2011/12, 2012/13 e 2013/14 nesta data ainda não estão apurados os diplomados de 2014/2015.

No ponto 7.1.4 - Empregabilidade, a plataforma aceita apenas números, razão pela qual aparece "0" em vez de "não aplicável". As análises realizadas pelo IST aos seus diplomados de 3º ciclo não são realizadas com o principal foco na situação profissional. O principal foco está nas motivações, meios e benefícios que são obtidos com a obtenção de um diploma de 3º ciclo. A informação acerca da área de formação e tempo de espera não está disponível para estes diplomados.

No ponto 7.3.4 - Nível de internacionalização, na resposta ao item "Mobilidade de docentes na área científica do ciclo de estudos (out)" não foram consideradas as participações em conferências, reuniões e workshops.

A20. Observations:

In addition to the teaching staff that list Dissertation in their work profile, there are other investigators from research centres of the IST and other national and international research centres, that also function as adviser or co-supervisor for Dissertations.

In item 5.1.3 - Study programme's demand, since the platform only allows numbers here, '0' appears instead of "not applicable".

In items labelled 6.2.1.2 and 6.2.1.3, what is stated is the teaching credit attributed to the lecturers of the curricular unit (for the purpose of calculating their total teaching load), which is not the same as the functioning effective curricular load of the unit.

In item 7.1.1 - Graduation efficiency, the data deployed refers to academic years 2011/12, 2012/13 and 2013/14, at this time the data regarding graduates in 2014/2015 is not available yet.

In item 7.1.4 – Employability, since the platform only allows numbers here, '0' appears instead of "not applicable". The main focus of the analysis undertaken by IST to its PhDs is not their professional status. Its main focus is about motivation, means and benefits derived from a PhD degree. Information about the graduation area and time until employment are not available for the PhDs.

In item 7.3.4 - Internationalization level, the answer to question "Percentage of teaching staff in mobility (out) " does not consider the participation in conferences, meetings and workshops.

1. Objetivos gerais do ciclo de estudos

1.1. Objetivos gerais definidos para o ciclo de estudos.

O curso de doutoramento em Física tem como objetivo a aquisição de conhecimentos avançados e de capacidades de investigação em áreas fundamentais da física e/ou envolvendo aplicações de física. Os temas cobrem áreas de grande atualidade de acordo com as competências dos professores e investigadores do Departamento de Física do IST, como sejam a física das altas energias, experimental e teórica, física nuclear, astrofísica e cosmologia, física dos plasmas incluindo a fusão nuclear, física atómica e molecular, física da matéria condensada, física do estado sólido, geofísica e sistemas dinâmicos.

É um dos programas de suporte do "Programa Avançado em Ciência e Engenharia de Plasmas (APPLAuSE)", do "Programa Doutoral em Física e Matemática da Informação: Fundamentos das Futuras Tecnologias da Informação (DP-PMI)", e do "Doutoramento Internacional em Partículas e Astrofísica e Cosmologia (IDPASC)", apoiados pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, com bolsas próprias.

1.1. Study programme's generic objectives.

The PhD programme in Physics is designed to provide advanced knowledge and research capabilities in fundamental areas of physics and/or involving physics applications. The themes are actual and cover a very broad domain set by the expertise of professors and researchers of the Physics Department of IST, such as high energy physics, experimental and theoretical, nuclear physics, astrophysics and cosmology, plasma physics including nuclear fusion, atomic and molecular physics, condensed matter physics, solid state physics, geophysics and dynamical systems.

It is one of the supporting PhD programs for the "Advanced Program in Plasma Science and Engineering (APPLAuSE)", the "Doctoral Programme in the Physics and Mathematics of Information: Foundations of Future Information Technologies (DP-PMI)", and the "International Doctorate Network in Particle Physics, Astrophysics and Cosmology (IDPASC)", supported by Fundação para a Ciência e a Tecnologia, with specific fellowship scholarships.

1.2. Inserção do ciclo de estudos na estratégia institucional de oferta formativa face à missão da Instituição.

Nos termos do n.º 1 do Artigo 3.º dos Estatutos do IST, homologados pelo Despacho n.º 12255/2013 publicado em Diário da Republica de 25 de setembro de 2013, afirma-se que:

“É missão do IST, como instituição que se quer prospetiva no ensino universitário, assegurar a inovação constante e o progresso consistente da sociedade do conhecimento, da cultura, da ciência e da tecnologia, num quadro de valores humanistas.”

Nos termos do n.º 2 do mesmo artigo estabelece-se que, no cumprimento da sua missão, o IST:

Privilegia a investigação científica, o ensino, com ênfase no ensino pós-graduado, e a formação ao longo da vida, assim como o desenvolvimento tecnológico;

Promove a difusão da cultura e a valorização social e económica do conhecimento científico e tecnológico;

Procura contribuir para a competitividade da economia nacional através da transferência de tecnologia, da inovação e da promoção do empreendedorismo;

Efetiva a responsabilidade social, na prestação de serviços científicos e técnicos à comunidade e no apoio à inserção dos diplomados no mundo do trabalho e à sua formação permanente.

O curso de doutoramento em Física com os objetivos indicados em 1.1 prepara investigadores com capacidade para a realização de atividade autónoma na área científica da Física, de forma a se tornarem investigadores de excelência, no meio académico ou na indústria.

Este curso enquadra-se assim plenamente no contexto da estratégia institucional de oferta formativa face à missão da instituição.

1.2. Inclusion of the study programme in the institutional training offer strategy, considering the institution's mission.

Item Nr. 1, Article 3, of the IST statute, adopted by Order 12255/2013 published in the September 25th, 2013 edition of the Official Journal, “Diario da Republica”, states that

“As an institution that aspires to be prospective in Higher Education, the mission of IST shall be to ensure constant innovation and consistent progress of the knowledge-based society, culture, science and technology within a framework of humanistic values.”

Item Nr. 2 of the same article further specifies that, in fulfilling its mission, the IST shall:

Favour scientific research and instruction, with an emphasis on post-graduate education and lifelong education, and technological development;

Promote the dissemination of culture and the social and economic appreciation of scientific and technological knowledge;

Seek to contribute to the competitiveness of the Portuguese economy through technological transfer, innovation and furtherance of entrepreneurship;

Enforce social responsibility by providing its scientific and technical services and support the integration of its graduates in the labour market and their constant training.

The PhD programme in Physics, with the objectives indicated in 1.1, forms investigators with the ability for autonomous activity in the scientific area of Physics, and with the means to become outstanding researchers, either in academia or the industry. This PhD programme is thus fully in line with the IST's context for institutional formative strategy, considering the institution's mission.

1.3. Meios de divulgação dos objetivos aos docentes e aos estudantes envolvidos no ciclo de estudos.

A informação sobre os objetivos do programa doutoral e suas unidades curriculares está disponível nas páginas web do IST (<http://fenix.tecnico.ulisboa.pt/cursos/deft>) e (<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/cursos/deft/paginas-de-disciplinas>), em versão Portuguesa e Inglesa.

Os programas doutorais FCT, com as suas páginas e meios de divulgação próprios e bolsas próprias atribuídas anualmente, são outro meio eficaz de divulgação e captação de alunos, por estarem apoiados nos programas doutorais do DF.

Os centros associados ao Programa Doutoral de Física (IPFN, INESC-MN, LIP, CeFEMA, CFTP, CENTRA, ICIST, C²TN, CERENA) têm páginas web com notícias de eventos relacionados com a atividade científica de forma a manter alunos e docentes atualizados no estado da arte nas respetivas áreas.

Adicionalmente, o funcionamento de cada semestre é preparado através de reuniões dos coordenadores de curso com responsáveis das disciplinas e delegados dos alunos sempre que necessário.

1.3. Means by which the students and teachers involved in the study programme are informed of its objectives.

Information about the PhD program and its curricular units (CUs) is available online at the IST sites (<http://fenix.tecnico.ulisboa.pt/cursos/deft>) & (<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/cursos/deft/paginas-de-disciplinas>), both in Portuguese and in English.

The FCT doctoral programs, with their own web pages and announcements, and its yearly scholarship endowments, provide additional efficient means of information and student enrollment in the DF programs upon which they are built. The research centers involved in the Physics PhD program (IPFN, INESC-MN, LIP, CeFEMA, CFTP, CENTRA, ICIST, C²TN, CERENA) also maintain their own web pages with news of scientific events aiming at keeping faculty and students fully up-to-date with the state of the art in their fields.

In addition, the operation of each semester is usually discussed and prepared in meetings involving the course coordinators, the faculty in charge of the CUs and the student delegates.

2. Organização Interna e Mecanismos de Garantia da Qualidade

2.1 Organização Interna

2.1.1. Descrição da estrutura organizacional responsável pelo ciclo de estudos, incluindo a sua aprovação, a revisão e atualização dos conteúdos programáticos e a distribuição do serviço docente.

A Coordenação Científica dos CE conducentes ao grau de doutor é da responsabilidade da Comissão Científica do CE, que é constituída por um Coordenador e Professores ou investigadores doutorados, que representem as áreas científicas dos departamentos e estruturas transversais que participam no CE, incluindo mais do que um professor catedrático. A Coordenação Pedagógica é da responsabilidade de uma Comissão, constituída por um Coordenador e Professores ou investigadores doutorados e estudantes.

A criação, extinção ou alteração de CE tem procedimentos aprovados pelo IST disponíveis na página WEB do CG. Os Departamentos ou Estruturas elaboram propostas e remetem-nas ao Presidente. Os processos passam pelos vários órgãos (CC, CP, CG, CE) terminando com a aprovação, ou não, do Reitor. A distribuição do serviço docente é proposta pelos Departamentos, aprovada pelo CC e homologada pelo Presidente do IST. As normas e mecanismos estão definidos no Regulamento de Prestação de Serviço dos Docentes do IST.

2.1.1. Description of the organisational structure responsible for the study programme, including its approval, the syllabus revision and updating, and the allocation of academic service.

The Scientific Coordination of the CE leading to a PhD degree is up to the CE Executive Committee, which includes a Coordinator and Teachers or PhD researchers, which represent the scientific areas of the departments that participate in the CE, including more than one Full Professor.

The Pedagogical Coordination is up to one Committee, which includes a Coordinator and Teachers of PhD researchers and students.

The creation, windup or amendment of CE involves procedures approved by IST available at the webpage of the Governing Board. The Departments or Structures elaborate proposals and send them to the President. The processes are subject to the approval of the different bodies of IST (CC, CP, CG, CE) and are ultimately approved or not by the Rector.

The distribution of the teaching service is proposed by the Departments, approved by the CC and authorized by the President of IST. The standards and mechanisms are defined in the Service Provision Regulations of IST Teaching staff.

2.1.2. Forma de assegurar a participação ativa de docentes e estudantes nos processos de tomada de decisão que afetam o processo de ensino/aprendizagem e a sua qualidade.

A participação ativa destes elementos na gestão da qualidade do CE está assegurada de várias formas, sendo exemplo disso a Coordenação Científico-Pedagógica de curso que para além do coordenador, inclui na sua constituição uma representação de vários docentes e investigadores doutorados e estudantes, e nalguns casos inclui Comissões de Acompanhamento de Tese.

Mais adiante serão referidas outras formas de contribuição dos estudantes e docentes, referindo-se como exemplo alguns inquéritos tais como o QUC (avaliação das UC), que prevê a auscultação de alunos e docentes, e inquérito de avaliação da empregabilidade dos diplomados, cujos resultados são incorporados num relatório Anual de Autoavaliação de cada CE (R3A). Neste momento está definido o modelo para este relatório no 3º ciclo, estando em curso o alargamento do QUC.

2.1.2. Means to ensure the active participation of teaching staff and students in decision-making processes that have an influence on the teaching/learning process, including its quality.

The active participation of these elements in the quality management process of the Studies Cycle can be ensured in different ways, for example, through the Scientific and Pedagogical Coordination which, in addition to the programme coordinator, includes students' representatives and teachers and researchers' representatives, and in some cases

include a Committee for the monitoring of the thesis development.

Other forms of contribution in the quality management process will be provided below. For example some regular surveys, such as the QUC survey, whose regulations provides for the consultation of teachers and students, and survey for the assessment of graduates' employability, whose results are incorporated into an annual self-assessment report (R3A). At the moment the model for this 3rd cycle report is already defined, and the QUC extension is in progress.

2.2. Garantia da Qualidade

2.2.1. Estruturas e mecanismos de garantia da qualidade para o ciclo de estudos.

Nos últimos anos o IST assumiu como objetivo estratégico da escola o desenvolvimento de um Sistema Integrado de Gestão da Qualidade(SIQulST),com o objetivo de promover e valorizar a cultura de qualidade desenvolvida na escola ,com a institucionalização de um conjunto de procedimentos que imprimem a melhoria contínua e o reajustamento,em tempo real, dos processos internos.O modelo abrange as 3 grandes áreas de atuação do IST-Ensino,ID&I,e Transferência de Tecnologia,assumindo-se como áreas transversais e de suporte as restantes áreas estratégicas da escola.Certificado em 2013 pela A3ES,destacam-se os seguintes instrumentos de gestão da qualidade do ensino: Guia Académico,QUC (subsistema de garantia da qualidade das unidades curriculares),e R3A (Relatórios anuais de autoavaliação)que integram indicadores de desempenho, incluindo os decorrentes do desenvolvimento de inquéritos e estudos vários.A funcionar em pleno no 1º e 2º ciclos,está em curso a extensão destes dois últimos ao 3º ciclo.

2.2.1. Quality assurance structures and mechanisms for the study programme.

In recent years, the IST has strategically invested in the development of an Integrated Quality Management System (SIQulST), with the purpose of promoting and enhancing the culture of quality developed at the IST, by adopting a set of procedures for continuous improvement and readjustment, in real time, of its internal procedures. The model covers IST's 3 major areas of action - Teaching, RD&I, and Technology Transfer - assuming as cross-cutting and support areas all the other strategic focus areas of the school. Certified in 2013 by A3ES, the following quality management tools should be highlighted: the Academic Guide, the QUC (quality assurance sub-system for course units) and R3A (Self Evaluation Annual Reports) which include performance indicators, including those resulting from surveys and other studies. Fully operational for 1st and 2nd cycles, these last tools should be extended to the 3rd cycle briefly.

2.2.2. Indicação do responsável pela implementação dos mecanismos de garantia da qualidade e sua função na Instituição.

A coordenação e gestão do SIQulST cabe ao Conselho para a Gestão da Qualidade do IST (CGQ), o qual é dirigido pelo Presidente do IST, ou pelo membro do CG em quem este delegar essas competências.

Compete ao CGQ, no quadro do sistema nacional de acreditação e avaliação, nos termos da lei e no respeito pelas orientações emanadas pelos órgãos do IST, propor e promover os procedimentos relativos à avaliação da qualidade a prosseguir pelo IST no âmbito das atividades de ensino, I&DI, transferência de tecnologia e gestão, bem como analisar o funcionamento do SIQulST, elaborar relatórios de apreciação e pronunciar-se sobre propostas de medidas de correção que considere adequadas ao bom desempenho e imagem da instituição.

Para além do Presidente do IST integram o CGQ: um docente do Conselho Científico, um docente e um aluno do Conselho Pedagógico, os Coordenadores da Áreas de Estudos e Planeamento e de Qualidade e Auditoria Interna, e o Presidente da Associação de Estudantes do IST.

2.2.2. Responsible person for the quality assurance mechanisms and position in the institution.

SIQulST is coordinated and managed by IST's Quality Management Council (CGQ),which is chaired by the President of IST,or by the member of the CG to whom he delegates that power. It is up to the CGQ, under the national accreditation and evaluation framework,and in accordance with the law and in compliance with the guidelines issued by the IST's bodies,to propose and promote the procedures regarding quality evaluation to be pursued by IST under its major activities: teaching,R&DI,technology transfer and management.CGQ is also responsible for examining the functioning of SIQulST,by elaborating assessment reports and delivering opinions on proposals of corrective measures deemed suitable for the institution's performance and image.CGQ consists of the President of IST,a member of faculty from the Scientific Board,a teacher and a student from the Pedagogical Council,the Coordinators of the Planning and Studies and Internal Quality and Audit Offices and the President of Students' Association.

2.2.3. Procedimentos para a recolha de informação, acompanhamento e avaliação periódica do ciclo de estudos.

A principal fonte de informação para todos os processos de acompanhamento e avaliação periódica dos CE é o sistema de informação e gestão Fénix, complementado com informação recolhida através de inquéritos à comunidade académica, e outras fontes externas à instituição quando necessário.

O acompanhamento e avaliação periódica dos cursos são feitos através dos mecanismos referidos em 2.2.1, destacando-se os R3A que se traduzem num pequeno documento de publicação anual onde se sintetizam indicadores considerados representativos de três momentos distintos – Ingresso, Processo Educativo e Graduação – que permitem uma visão global e objetiva do curso num determinado ano.

A funcionar em pleno no 1º e 2º ciclos, está em curso a extensão deste documento ao 3º ciclo, permitindo uma visão global e a identificação dos aspetos críticos e constrangimentos de cada curso num determinado ano, estando na base

de um relatório síntese anual das atividades das coordenações de curso.

2.2.3. Procedures for the collection of information, monitoring and periodic assessment of the study programme.

The Fénix information and management system is the main source of information for all periodic follow-up and assessment processes of the study cycles is, complemented with information obtained through surveys targeted at the academic community and other external sources, when necessary. The periodic follow-up and assessment processes of the programs is carried out through mechanisms referred in paragraph 2.2.1, of which the R3A reports are noteworthy, which consist of a short, annually published document that summarizes indicators suitable for three distinct stages—Admissions, Educational Process and Graduation—which allow for a global and objective view of the programme in a given year. Fully operational in the 1st and 2nd cycles, the extension of the R3A to the 3rd cycle is underway. These reports provide an overview of and identify critical aspects and constraints of each program in a given year and constitute the basis for a summary report of the activities of every course coordination board.

2.2.4. Link facultativo para o Manual da Qualidade

[https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779578430992](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779578430992/Manual%20da%20Qualidade%20IST%20V00-29-05-2012-1.pdf)

[/Manual%20da%20Qualidade%20IST%20V00-29-05-2012-1.pdf](#)

2.2.5. Discussão e utilização dos resultados das avaliações do ciclo de estudos na definição de ações de melhoria.

Os resultados do QUC são disponibilizados na sua página, incluindo os principais resultados das auditorias. No final de cada semestre, e para cada UC em observação ou submetida a uma auditoria, são apresentadas as medidas de correção sugeridas e implementadas. É disponibilizado regularmente um outro documento no qual se pode observar a evolução dos resultados do QUC para todas as UC alvo de auditoria desde o ano letivo 2008-2009. Quando uma UC, alvo de auditoria num determinado semestre, tem um período de três anos consecutivos com resultados considerados regulares, deixa de surgir no documento. A decorrer em pleno para os 1ºs e 2ºs ciclos está em curso a adequação deste sistema para o 3º ciclo.

Em 2015 deu-se início a um processo de monitorização das propostas de melhoria e recomendações da A3ES no âmbito dos relatórios das CAE entregues entre 2011 e 2013. Nos anos seguintes serão monitorizadas as recomendações dos relatórios recebidos a partir de 2014.

2.2.5. Discussion and use of study programme's evaluation results to define improvement actions.

In order to improve the impact of applying the QUC, the major outcomes of the audit processes are made available on its webpage. At the end of each semester, and for each CU under assessment or going through an audit process, the suggested corrective measures and the measures that were actually implemented are disclosed. Additionally, another document is made available in which one can observe the evolution of the audit results since 2008-2009. When an audited CU shows satisfactory results for three consecutive years, it will no longer be displayed in the monitoring document. This audit system is under way for the 1st and 2nd cycles, and it is now being adapted to 3rd cycle programmes.

In 2015, the IST started a process of monitoring the improvement proposals and recommendations of A3ES, within the framework of the CAE reports delivered between 2011 and 2013. In the coming years the recommendations contained in the reports received after 2014 will be monitored.

2.2.6. Outras vias de avaliação/acreditação nos últimos 5 anos.

n.a.

2.2.6. Other forms of assessment/accreditation in the last 5 years.

n.a.

3. Recursos Materiais e Parcerias

3.1 Recursos materiais

3.1.1 Instalações físicas afetas e/ou utilizadas pelo ciclo de estudos (espaços letivos, bibliotecas, laboratórios, salas de computadores, etc.).

Mapa VI. Instalações físicas / Mapa VI. Facilities

Tipo de Espaço / Type of space	Área / Area (m ²)
1 Biblioteca/1 Library	929.2

9 Salas de estudo/9 Study rooms	593.5
2 Salas de informática/2 Computer rooms	71.6
10 laboratórios exclusivamente para investigação/10 Research laboratories	1040.0

3.1.2 Principais equipamentos e materiais afetos e/ou utilizados pelo ciclo de estudos (equipamentos didáticos e científicos, materiais e TICs).

Mapa VII. Equipamentos e materiais / Map VII. Equipments and materials

Equipamentos e materiais / Equipment and materials	Número / Number
Laboratório de Engenharia de Plasmas do Grupo de Descargas e Electrónica dos Gases (GEDG) do Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear (IPFN).	1
Reactores a plasma: - Reactor a plasma de microondas à pressão atmosférica, para a síntese de nanoestruturas 2D de carbono (flocos de grafeno e N-grafeno) - Reactor a plasma de microondas (2.45GHz) à pressão atmosférica, para a síntese de nanodiamantes.	2
- Reactor de grandes dimensões a plasma de microondas utilizado na engenharia (funcionalização, dopagem, gravura) de nanoestruturas e na síntese de nano-arquitecturas 3D.	1
- Montagem experimental para a excitação de plasma de microondas a baixa pressão, usado como fonte de radiação ultravioleta extrema (EUV) e ultravioleta vácuo (VUV).	1
Sistemas de diagnóstico: - Sistema "Two-photon absorption laser-induced fluorescence" (TALIF) para medidas de densidades absolutas de densidades de átomos - Dye laser Quantel TDL90 - Espectrómetros EUV e VUV (8-125 nm) - Horiba Jobin-Yvon Plane Grating Monograph (PGM).	2
- Espectrómetro infravermelho de Transformada de Fourier (FT-IR) - THERMO NIKOLET 5700 - Espectrómetro de massa - SRS RGA200 2008 - Espectrómetro óptico (região visível) equipado com câmara CCD arrefecida a azoto - Jobin-YvonSpex 1250M.	3
- Método de diagnóstico de intensidade de campo eléctrico - Vector voltmeter Hewlett Packard 8508A - Método de diagnóstico de infravermelho - Thermal imager FLIR FLIR E60.	2
Laboratório de Plasmas Hipersónicos do Grupo de Descargas e Electrónica dos Gases (GEDG) do Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear (IPFN).	1
Equipamento e sistemas de diagnóstico: - Tubo de choque capaz de produzir plasmas colisionais entre 4 e 12km/s, de 0.1 a 10mbar, pra diferentes composições - Sistema de enchimento de gás para ensaios de combustão H2/H2/O2 a muito alta pressão.	2
- Conjunto Espectrómetro visível / Câmara Streak para medições resolvidas em tempo (1e-6 s) na gama de 300-850nm - Conjunto Espectrómetro VUV / Câmara Streak para medições resolvidas em tempo (1e-6 s) na gama de 150-300nm (em aquisição) - Fonte de plasma para testes e calibração de espectrómetros.	3
- Câmara de vácuo (desmontada) - Reflectómetro/Interferómetro 2-18GHz.	2
Equipamento do Laboratório de Lasers Intensos do Grupo de Lasers e Plasmas (GoLP) do Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear (IPFN): Sistema de Lasers de tipo CPA de 15 TW de base Ti:sapphire/Nd:glass, operando a 1053 nm para estudo de fontes de plasma, diode-pumped lasers e amplificação paramétrica.	1
Equipamento dos Laboratórios de Óptica e Lasers Intensos do Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear (IPFN).	1
Infraestruturas de computação do Grupo de Lasers e Plasmas (GoLP) do Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear (IPFN): Cluster de computadores com software de visualização desenvolvido pelo IPFN em colaboração com UCLA, especialmente Osiris, código particle-in-cell, e visXD para visualização numérica.	1
Laboratórios integrados no Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear (IPFN), com base no equipamento do tokamak ISTTOK.	1
Laboratório de Física de Partículas do Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP)	1
- Equipamento experimental instalado no IST que possibilita: detecção de muões cósmicos usando diferentes técnicas (cintilação, radiação de Cerenkov); medida do tempo de vida média do muão; tratamento e aquisição de sinais rápidos (NIM, VME, CAMAC e 1 placas especificamente desenhadas para o efeito).	1
- Acesso a um laboratório de electrónica rápida instalado no LIP-Lisboa com a possibilidade de desenvolvimento de detectores e instrumentação utilizando FPGAs e que tem a capacidade de prototipagem de electrónica.	1
- Acesso a Infraestruturas de computação do Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP) - Lisboa; - Desenvolvimento de trabalhos experimentais realizados no LIP em colaboração com experiências do CERN, em Genebra.	2
Equipamento do Laboratório de Micro e Nanotecnologias do INESC MN.	1
- Sala Limpa para micro e nanofabricação, equipada com sistemas de litografia - Direct write laser lithography LASARRAY - Direct write e-beam lithography RAITH - UV lithography - sistemas automáticos de deposição por pulverização catódica (sputtering) (NORDIKO (2)), e outros semi-automáticos (3)	9
- Ion beam deposition and milling systems (2) - PECVD thin-film deposition station - Oxide etcher - X-rays diffractometer - Magnetic oven (2) - Electrical testers (3) - Vibrating Sample magnetometer	11
- Wire bonding, electrical, optical and mechanical device characterization, microfluidic fabrication and characterization). - Micromachining tools (polishing, grinding, dicing saw, CNT milling), 3D printer. Nanoplotter, plasma asher.	5
Infraestruturas de computação do grupo de simulação de sólidos do INESC MN : - Simulation of clusters, liquids, semiconductors, high pressure physics, micromagnetism and code development.	1

Equipamento do Laboratório de Nanofísica do INESC MN: - Ferramentas e equipamento de medida e montagem electrónica diverso;	1
- Sistema ATC-Orion (AJA internacional) para deposição de filmes finos e multicamadas por sputtering de magnetrão, câmara de deposição RF e DC - vácuo 10 ⁻⁸ - sistema loadlock - Sistema PHASE IIJ de controlo da deposição - Unidade de refrigeração Neslab MERLIN M75.	5
Laboratório de Astrofísica-CENTRA	1
Equipamento de Informática e Software: - computadores e software especial de astrofísica para análise de dados de observações astronómicas: IRAF; IDL. - computadores e software de astrofísica estelar para calcular modelos do Sol e de estrelas, códigos de evolução estelar CESAM e MESA.	2
- Software especializado de helioseismologia e astrosismologia para o cálculo dos modos próprios de vibração de estrelas, códigos ADIPLS e GYRE. - Software especializado para calcular a radiação cósmica de fundo CAMB. - Software especializado para cálculo de modelos de dínamo solar/estelar SURYA.	3
- Software especializado DMP (desenvolvido pelo CENTRA) para calcular evolução de estrelas em nuvens de matéria escura. - Dados de astronomia (fotometria e espectroscopia) do ESO - European Southern Observatory.	2
ASTROLAB - Laboratório de Astrofísica: - Computadores e software especializados para a redução de dados de observações astronómicas ou códigos para simulações de astrofísica.	1
Bases de dados astronómicas: - Dados de espectroscopia de alta resolução ESO- European Southern Observatory. - Dados de heliosismologia da missão SoHO(NASA/ESA). - Dados de astrosismologia da missão Kepler(NASA).	3
- Dados de raios-X da missão Yohkoh missão (satélite japonês com colaboração do EUA e Reino Unido).	1
BALTASAR – Supercomputador: - servidor de cálculo, "Cayenne" (32 núcleos no total) com 128 GB de RAM. - aglomerado de computadores (cluster) "Baltasar Sete-Sóis", 5 servidores, cada um com 20 processadores (240 núcleos no total) e 192 GB de RAM cada, armazenamento inicial partilhado de 32 TB.	1
Laboratório de Cristais Líquidos e Matéria Condensada (CeFEMA)	1
X-ray diffraction: - Sample preparation equipment (precision balance, mixers, thermal rule, oven). - X-ray lab including a diffractometer for powder samples, INEL gas curved counter and a temperature control system particularly useful for the study of phase transitions in liquid crystals.	2
Electro-optical characterization: - Electro-optical setup composed by an optical bench equipped with a HeNe laser and computer controlled systems associated with a function generator, voltage amplifier, digital scope, light detectors and temperature variation of sample cells.	6
Nuclear Magnetic Resonance: - Conventional 300MHz solid state NMR spectrometer - Bruker AV300C - Avance 300 Console (6MHz- a 365MHz); - Bruker Widebore - Ultra-shielded 7.1 Tesla Superconducting Magnet; - Bruker BE-30 - 0-2.4 Tesla Electromagnet (used with Bruker AV300C Console)	7
- Fast Field Cycling NMR spectrometer for proton relaxation measurements in a very wide proton Larmor frequency range for molecular dynamics studies.	1
Atomic force microscopy (AFM): - AFM device from DI with additional magnetic force microscopy (MFM) equipment for nanoscale analysis of materials and surfaces.	1
Equipamento computacional e software do Instituto Tecnológico Nuclear (ITN): - Computadores e programas de cálculo científico para simular o transporte de partículas utilizando métodos determinísticos e de Monte-Carlo.	1
Laboratório de Física e Tecnologia dos Semicondutores: UHV pulsed-laser deposition system PLD (custom-made); Laser Nd:YAG with IR line, green line, and 4th harmonic line (model Speser 200, company IB LASER GmbH); Monochromator VIS-IR (model VIS400, company HORIBA);	4
Spectrometer UV-VIS (model H20, company JOBIN-YVON);Two-phase lock-in amplifier (model SR830, company STANFORD RESEARCH); Thermal evaporator (custom-made); Liquid-nitrogen cryostat (company OXFORD INSTRUMENTS). Pico-ampere meter (model 6485, company KEITHLEY)	4

3.2 Parcerias

3.2.1 Parcerias internacionais estabelecidas no âmbito do ciclo de estudos.

Através dos centros de Investigação associados ao Programa Doutoral de Física (IPFN, INESC-MN, LIP, CeFEMA, CFTP, CENTRA, ICIST) é possível assegurar colaborações com instituições internacionais de renome como o CERN, JET, ITER, ESO, IPFL ou a ESA, de forma a enquadrar os doutorandos em trabalhos de investigação que aí decorrem e que finalmente se integram nos respetivos projetos doutorais. As colaborações com Universidades e Institutos estrangeiros excedem 94 no total, e adicionalmente contam-se pelo menos 11 colaborações com empresas estrangeiras.

3.2.1 International partnerships within the study programme.

Collaboration with renowned international institutions such as CERN, JET, ITER, ESO, IPFL or ESA is implemented through the research centers and laboratories associated with the Physics PhD program (IPFN, INESC-MN, LIP, CeFEMA, CFTP, CENTRA, ICIST) by embedding the students from the beginning in collaborative research projects already existing at those centers, which often will lead to their integration in the student's final doctoral project. Collaborations with foreign Universities and Institutes exceeds 94 in total, and in addition at least 15 collaborations with foreign companies.

3.2.2 Parcerias nacionais com vista a promover a cooperação interinstitucional no ciclo de estudos, bem como práticas de relacionamento do ciclo de estudos com o tecido empresarial e o sector público.

As parcerias nacionais promotoras de cooperação interinstitucional no ciclo de estudos decorrem através dos projetos científicos dos professores e investigadores do DF e centros de investigação do IST. Por exemplo, na área da Física da Matéria Condensada e Nanotecnologia existe uma parceria com o Laboratório Ibérico Internacional de Nanotecnologia (INL) sediado em Braga. No total mais de 11 Universidades e Institutos nacionais colaboram no programa.

3.2.2 National partnerships in order to promote interinstitutional cooperation within the study programme, as well as the relation with private and public sector

The national partnerships that promote inter-institutional cooperation in the study cycle occur in connection with the various scientific projects which involve the faculty and researchers from the DF and the research centers at IST. An example is the partnership of IST research in the area of Condensed Matter and Nanotechnologies with the Iberian International Nanotechnology Laboratory (INL), located in Braga, Portugal. In total more than 11 national Universities and Institutes collaborate with the program.

3.2.3 Colaborações intrainstitucionais com outros ciclos de estudos.

As colaborações intrainstitucionais com outros ciclos de estudos têm lugar sempre que o Coordenador do programa doutoral veja que um dado aluno precisa frequentar uma disciplina do 2º ciclo em regime propedêutico.

3.2.3 Intrainstitutional collaborations with other study programmes.

The interinstitutional collaborations with other study cycles can take place anytime the doctoral program coordinator deems it necessary that a particular student needs to attend a 2nd cycle curricular unit for recovery purposes.

4. Pessoal Docente e Não Docente

4.1. Pessoal Docente

4.1.1. Fichas curriculares

Mapa VIII - José Pizarro de Sande e Lemos

4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):

José Pizarro de Sande e Lemos

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Catedrático ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Pedro José Gonçalves Ribeiro

4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):

Pedro José Gonçalves Ribeiro

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):
Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:
Professor Auxiliar convidado ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):
100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:
[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Vítor Manuel dos Santos Cardoso

4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):
Vítor Manuel dos Santos Cardoso

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):
Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):
Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:
Professor Auxiliar ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):
100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:
[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Susana Isabel Pinheiro Cardoso de Freitas

4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):
Susana Isabel Pinheiro Cardoso de Freitas

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):
Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):
Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:
Professor Associado ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):
100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:
[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Ilídio Pereira Lopes

4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):
Ilídio Pereira Lopes

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):
Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):
Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:
Professor Auxiliar ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):
100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:
[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Maria Teresa Haderer de la Peña Stadler

4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):
Maria Teresa Haderer de la Peña Stadler

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):
Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):
Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:
Professor Associado ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):
100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:
[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Mário José Gonçalves Pinheiro

4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):
Mário José Gonçalves Pinheiro

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):
Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):
Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:
Professor Auxiliar ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):
100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:
[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - João Pedro Saraiva Bizarro

4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):

João Pedro Saraiva Bizarro

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Auxiliar ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Nuno Filipe Gomes Loureiro**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

Nuno Filipe Gomes Loureiro

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Associado convidado ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - José Luís Rodrigues Júlio Martins**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

José Luís Rodrigues Júlio Martins

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Catedrático ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - David Emanuel da Costa**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):***David Emanuel da Costa***4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):***Universidade de Lisboa***4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):***Instituto Superior Técnico***4.1.1.4. Categoria:***Professor Auxiliar convidado ou equivalente***4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):***100***4.1.1.6. Ficha curricular de docente:**[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)**Mapa VIII - Ruben Maurício da Silva Conceição****4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):***Ruben Maurício da Silva Conceição***4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):***Universidade de Lisboa***4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):***Instituto Superior Técnico***4.1.1.4. Categoria:***Professor Auxiliar convidado ou equivalente***4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):***30***4.1.1.6. Ficha curricular de docente:**[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)**Mapa VIII - Fernando José de Carvalho Barão****4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):***Fernando José de Carvalho Barão***4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):***Universidade de Lisboa***4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):***Instituto Superior Técnico***4.1.1.4. Categoria:***Professor Auxiliar ou equivalente***4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):***100*

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Ricardo Jorge Gonzalez Felipe**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

Ricardo Jorge Gonzalez Felipe

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Associado convidado ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

30

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Sérgio Eduardo de Campos Costa Ramos**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

Sérgio Eduardo de Campos Costa Ramos

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Auxiliar ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - António Mário Pereira Ferraz**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

António Mário Pereira Ferraz

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Auxiliar ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - José Tito da Luz Mendonça**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

José Tito da Luz Mendonça

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Catedrático ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Gonçalo Nuno Marmelo Foito Figueira**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

Gonçalo Nuno Marmelo Foito Figueira

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Auxiliar ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Paulo Jorge Peixeiro de Freitas**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

Paulo Jorge Peixeiro de Freitas

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Catedrático ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Pedro Domingos Santos do Sacramento**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

Pedro Domingos Santos do Sacramento

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Associado ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Carlos Manuel Azevedo de Sousa Oliveira**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

Carlos Manuel Azevedo de Sousa Oliveira

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Associado ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Marta Leitão Mota Fajardo**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

Marta Leitão Mota Fajardo

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Associado convidado ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

30

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Vasco António Dinis Leitão Guerra**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

Vasco António Dinis Leitão Guerra

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Auxiliar ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Nelson Manuel Carreira Lopes**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

Nelson Manuel Carreira Lopes

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Auxiliar ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

30

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - José Pedro Miragaia Trancoso Vaz**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

José Pedro Miragaia Trancoso Vaz

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):
Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):
Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:
Professor Associado convidado ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):
100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:
[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Lídia dos Santos Ferreira

4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):
Lídia dos Santos Ferreira

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):
Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):
Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:
Professor Associado ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):
100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:
[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Luís Paulo da Mota Capitão Lemos Alves

4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):
Luís Paulo da Mota Capitão Lemos Alves

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):
Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):
Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:
Professor Catedrático ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):
100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:
[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Mário João Martins Pimenta

4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):

Mário João Martins Pimenta

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Catedrático ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Michele Gallinaro**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

Michele Gallinaro

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Auxiliar convidado ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

30

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Pedro José Oliveira Sebastião**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

Pedro José Oliveira Sebastião

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Auxiliar ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Pedro José de Almeida Bicudo**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):***Pedro José de Almeida Bicudo***4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):***Universidade de Lisboa***4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):***Instituto Superior Técnico***4.1.1.4. Categoria:***Professor Auxiliar ou equivalente***4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):***100***4.1.1.6. Ficha curricular de docente:**[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)**Mapa VIII - Yasser Rashid Revez Omar****4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):***Yasser Rashid Revez Omar***4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):***Universidade de Lisboa***4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):***Instituto Superior Técnico***4.1.1.4. Categoria:***Professor Auxiliar convidado ou equivalente***4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):***30***4.1.1.6. Ficha curricular de docente:**[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)**Mapa VIII - Maria Paula Frazão Bordalo e Sá****4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):***Maria Paula Frazão Bordalo e Sá***4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):***Universidade de Lisboa***4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):***Instituto Superior Técnico***4.1.1.4. Categoria:***Professor Associado ou equivalente***4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):***100*

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - João Manuel Coelho dos Santos Varela**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

João Manuel Coelho dos Santos Varela

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Associado ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Luís Miguel de Oliveira e Silva**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

Luís Miguel de Oliveira e Silva

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Catedrático ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Patrícia Carla Serrano Gonçalves**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

Patrícia Carla Serrano Gonçalves

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Auxiliar convidado ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

30

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - João Luís Maia Figueirinhas**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

João Luís Maia Figueirinhas

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Auxiliar ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Paulo Alexandre Carreira Mateus**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

Paulo Alexandre Carreira Mateus

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Associado ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Gustavo da Fonseca Castelo Branco**4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

Gustavo da Fonseca Castelo Branco

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Catedrático ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Carlos Alberto Nogueira Garcia Silva

4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):

Carlos Alberto Nogueira Garcia Silva

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Auxiliar ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Jorge Manuel Rodrigues Crispim Romão

4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):

Jorge Manuel Rodrigues Crispim Romão

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:

Professor Catedrático ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:

[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Vítor João Rocha Vieira

4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):

Vítor João Rocha Vieira

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):
Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:
Professor Catedrático convidado ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):
30

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:
[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - David Pacheco Resendes

4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):
David Pacheco Resendes

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):
Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):
Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:
Professor Auxiliar ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):
100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:
[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Marco Jorge Dias Carvalho Cardoso

4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):
Marco Jorge Dias Carvalho Cardoso

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):
Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):
Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:
Professor Auxiliar convidado ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):
30

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:
[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

Mapa VIII - Rui Manuel Agostinho Dilão

4.1.1.1. Nome do docente (preencher o nome completo):
Rui Manuel Agostinho Dilão

4.1.1.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):
Universidade de Lisboa

4.1.1.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):
Instituto Superior Técnico

4.1.1.4. Categoria:
Professor Auxiliar ou equivalente

4.1.1.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):
100

4.1.1.6. Ficha curricular de docente:
[Mostrar dados da Ficha Curricular](#)

4.1.2 Mapa IX - Equipa docente do ciclo de estudos (preenchimento automático)

4.1.2. Mapa IX -Equipa docente do ciclo de estudos / Map IX - Study programme's teaching staff

Nome / Name	Grau / Degree	Área científica / Scientific Area	Regime de tempo / Employment link	Informação/ Information
José Pizarro de Sande e Lemos	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
Pedro José Gonçalves Ribeiro	Doutor	Physics	100	Ficha submetida
Vítor Manuel dos Santos Cardoso	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
Susana Isabel Pinheiro Cardoso de Freitas	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
Ilídio Pereira Lopes	Doutor	CONHECIMENTO EM ASTROFISICA	100	Ficha submetida
Maria Teresa Haderer de la Peña Stadler	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
Mário José Gonçalves Pinheiro	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
João Pedro Saraiva Bizarro	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
Nuno Filipe Gomes Loureiro	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
José Luís Rodrigues Júlio Martins	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
David Emanuel da Costa	Doutor	Engenharia Física	100	Ficha submetida
Ruben Maurício da Silva Conceição	Doutor	Física	30	Ficha submetida
Fernando José de Carvalho Barão	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
Ricardo Jorge Gonzalez Felipe	Doutor	Engenharia Física	30	Ficha submetida
Sérgio Eduardo de Campos Costa Ramos	Doutor	CIENCIAS FISICAS	100	Ficha submetida
António Mário Pereira Ferraz	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
José Tito da Luz Mendonça	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
Gonçalo Nuno Marmelo Foito Figueira	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
Paulo Jorge Peixeiro de Freitas	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
Pedro Domingos Santos do Sacramento	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
Carlos Manuel Azevedo de Sousa Oliveira	Doutor	FÍSICA TECNOLÓGICA	100	Ficha submetida
Marta Leitão Mota Fajardo	Doutor	ENGENHARIA FISICA TECNOLÓGICA	30	Ficha submetida
Vasco António Dinis Leitão Guerra	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
Nelson Manuel Carreira Lopes	Doutor	FÍSICA	30	Ficha submetida
José Pedro Miragaia Trancoso Vaz	Doutor	Física	100	Ficha submetida
Lídia dos Santos Ferreira	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
Luís Paulo da Mota Capitão Lemos Alves	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida

Mário João Martins Pimenta	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
Michele Gallinaro	Doutor	Física	30	Ficha submetida
Pedro José Oliveira Sebastião	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
Pedro José de Almeida Bicudo	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
Yasser Rashid Revez Omar	Doutor	Física	30	Ficha submetida
Maria Paula Frazão Bordalo e Sá	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
João Manuel Coelho dos Santos Varela	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
Luís Miguel de Oliveira e Silva	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
Patrícia Carla Serrano Gonçalves	Doutor	FÍSICA	30	Ficha submetida
João Luís Maia Figueirinhas	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
Paulo Alexandre Carreira Mateus	Doutor	MATEMATICA	100	Ficha submetida
Gustavo da Fonseca Castelo Branco	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
Carlos Alberto Nogueira Garcia Silva	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
Jorge Manuel Rodrigues Crispim Romão	Doutor	CIENCIAS, FISICA DE PARTÍCULAS	100	Ficha submetida
Vítor João Rocha Vieira	Doutor	CIENCIAS "FISICA DA MATERIA CONDENSADA"	30	Ficha submetida
David Pacheco Resendes	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
Marco Jorge Dias Carvalho Cardoso	Doutor	Física	30	Ficha submetida
Rui Manuel Agostinho Dilão	Doutor	FÍSICA	100	Ficha submetida
			3870	

<sem resposta>

4.1.3. Dados da equipa docente do ciclo de estudos (todas as percentagem são sobre o nº total de docentes ETI)

4.1.3.1. Corpo docente próprio do ciclo de estudos

4.1.3.1. Corpo docente próprio do ciclo de estudos / Full time teaching staff

Corpo docente próprio / Full time teaching staff	Nº / No.	Percentagem* / Percentage*
Nº de docentes do ciclo de estudos em tempo integral na instituição / No. of full time teachers:	36	93,02

4.1.3.2. Corpo docente do ciclo de estudos academicamente qualificado

4.1.3.2. Corpo docente do ciclo de estudos academicamente qualificado / Academically qualified teaching staff

Corpo docente academicamente qualificado / Academically qualified teaching staff	ETI / FTE	Percentagem* / Percentage*
Docentes do ciclo de estudos com o grau de doutor (ETI) / Teaching staff with a PhD (FTE):	38.7	100

4.1.3.3. Corpo docente do ciclo de estudos especializado

4.1.3.3. Corpo docente do ciclo de estudos especializado / Specialized teaching staff

Corpo docente especializado / Specialized teaching staff	ETI / FTE	Percentagem* / Percentage*
Docentes do ciclo de estudos com o grau de doutor especializados nas áreas fundamentais do ciclo de estudos (ETI) / Teaching staff with a PhD, specialized in the main areas of the study programme (FTE):	38.7	100

Especialistas, não doutorados, de reconhecida experiência e competência profissional nas áreas fundamentais do ciclo de estudos (ETI) / Specialists, without a PhD, of recognized professional experience and competence, in the main areas of the study programme (FTE): 0 0

4.1.3.4. Estabilidade do corpo docente e dinâmica de formação

4.1.3.4. Estabilidade do corpo docente e dinâmica de formação / Teaching staff stability and training dynamics

Estabilidade e dinâmica de formação / Stability and training dynamics	ETI / FTE	Percentagem* / Percentage*
Docentes do ciclo de estudos em tempo integral com uma ligação à instituição por um período superior a três anos / Full time teaching staff with a link to the institution for a period over three years:	28	72,35
Docentes do ciclo de estudos inscritos em programas de doutoramento há mais de um ano (ETI) / Teaching staff registered in a doctoral programme for more than one year (FTE):	0	0

Perguntas 4.1.4. e 4.1.5

4.1.4. Procedimento de avaliação do desempenho do pessoal docente e medidas para a sua permanente atualização

A avaliação do desempenho do pessoal docente do IST assenta no sistema multicritério definido no "Regulamento de Desempenho dos Docentes do Instituto Superior Técnico (RADIST)" (Despacho Reitoral nº 4576/2010, DR 2ª Série, nº 51 de 15 de Março), sendo aplicado a cada docente, individualmente e nos períodos estipulados por Lei. Permite a avaliação quantitativa da atuação do pessoal docente nas diferentes vertentes, e reflete-se, nomeadamente, sobre a distribuição de serviço docente regulamentada pelo Despacho Reitoral n.º 8985/2011 (DR, 2ª Série, N.º 130 de 8 de Julho). O Conselho Coordenador da Avaliação do Docentes (CCAD) do IST, no exercício das competências previstas no RADIST, elaborou um relatório sobre as avaliações de desempenho dos docentes relativas aos períodos 2004-2007, 2008-2009, 2010-2012. Estes relatórios fornecem ampla informação sobre as avaliações realizadas, respeitando escrupulosamente o princípio da confidencialidade dos resultados da avaliação de cada docente estabelecido no artigo 30º do RADIST, e foram objeto de discussão nos diferentes Órgãos do IST. Em resultado desta discussão, da experiência adquirida nas avaliações anteriores e das audiências sindicais, que foram efetuadas nos termos previstos na lei, foram produzidas atualizações do RADIST que foram aprovadas pelos Órgãos competentes do IST e que publicadas em Diário da República em 2013 (Despacho Reitoral no. 262/2013, DR 2ª Série, Nº 4 de 7 de Janeiro de 2013) e está a ser finalizada uma nova revisão que estará em vigor no triénio 2016-2018 que resultou do trabalho de uma comissão eventual do Conselho Científico.

Paralelamente, a avaliação das atividades pedagógicas é efetuada recorrendo ao Sistema de Garantia da Qualidade das Unidades Curriculares. Este sistema baseia-se na realização de inquéritos pedagógicos aos alunos, na avaliação por parte de coordenadores de curso e delegados de curso, na realização de auditorias de qualidade e na elaboração de códigos de boas práticas.

4.1.4. Assessment of teaching staff performance and measures for its permanent updating

The performance assessment of IST teaching-staff relies on the multicriterion system defined in the "Performance bylaw of the IST Teaching-staff" (Rectorial Order 4576/2010, Government Journal 2nd Series, No. 51 of 15 March), which is applied individually to each teacher during the periods established by law. The quantitative assessment of the teaching staff performance is reflected in different strands, namely, on the allocation of teaching tasks that is governed by the Rectorial Order 8985/2011 (Government Journal, 2nd Series, No. 130 of 8th July). Pursuant to the powers and responsibilities conferred upon it under the RADIST, the Coordinating Board for Teacher Evaluation (CCAD) elaborated a faculty performance report for the periods 2004-2007, 2008-2009, and 2010-2012. This report, which provides extensive information on such evaluations, with scrupulous regard for the principle of confidentiality of each teacher's results established in article 30 of RADIST, was discussed in the different bodies of IST. As a result of this discussion, from the experience gained from previous assessments and hearings with trade unions, which were held pursuant to the law, updates to the RADIST were adopted by the relevant bodies of IST and published in the Official Journal in 2013 (Rector's Order No. 262/2013, Official Journal 2nd Series, No. 4 of January 7th 2013) and a new version of the RADIST is now being discussed to be implemented in 2016-2018. This revised version has resulted from the work of an ad hoc committee of the Scientific Council.

In parallel, the teaching activities evaluation is performed using the Quality Guarantee System of the curricular units. This system is based on pedagogic surveys to the students, on the performance evaluation implemented by the course coordinators and student delegates and on quality audits and elaboration of good practice codes.

4.1.5. Ligação facultativa para o Regulamento de Avaliação de Desempenho do Pessoal Docente

<http://conselhocientifico.tecnico.ulisboa.pt/files/sites/47/Regulamento-de-avaliacao-de-desempenho-dos-docentes-IST-Alteracao-29Jun2010.pdf>

4.2. Pessoal Não Docente

4.2.1. Número e regime de dedicação do pessoal não docente afeto à lecionação do ciclo de estudos.

Pessoal de secretariado (2) em tempo parcial, dado que apoiam simultaneamente o curso de mestrado MEFT e os programas de Doutoramento em Física e Engenharia Física Tecnológica.

Pessoal técnico e secretariado do Departamento de Física (4) igualmente em tempo parcial, dado que para lá do apoio ao curso MEFT e aos programas de doutoramento, executam também outras funções.

Pessoal técnico e secretariado dos Laboratórios Associados e Centros de Investigação associados ao DF, fazendo parte das equipas de investigação do CENTRA, CeFEMA, CFTP, INESC-MN, LIP, IPFN, C²TN, CERENA, colaborando com o programa doutoral em número e percentagem difícil de determinar, atendendo à natureza das teses de doutoramento.

4.2.1. Number and work regime of the non-academic staff allocated to the study programme.

Secretarial staff (2), in partial dedication, since at the same time they must support the Master's MEFT degree and the doctoral programs in Physics and Physics Engineering.

Technical and secretarial staff from the Physics Department (4), also partially dedicated since, besides supporting the MEFT and doctoral programs, they must also perform other department jobs.

Technical and secretarial staff from the Laboratories and Research Centers associated with the DF, members of research teams from CENTRA, CeFEMA, CFTP, INESC-MN, LIP, IPFN, C²TN, CERENA, whose contribution in number and percentage to the doctoral programs is hard to determine taking into account the nature of the doctoral dissertations.

4.2.2. Qualificação do pessoal não docente de apoio à lecionação do ciclo de estudos.

Diretor intermédio (coordenador dos serviços administrativos), técnico superior, assistente técnico.

4.2.2. Qualification of the non-academic staff supporting the study programme.

Middle director (administrative services coordinator), superior technician, technical assistant.

4.2.3. Procedimentos de avaliação do desempenho do pessoal não docente.

O IST implementa o SIADAP desde a sua criação jurídica, em 2004, tendo atualizado o funcionamento e os procedimentos, com as revisões do sistema de avaliação, em 2007 e em 2013. A avaliação integra os subsistemas:

- de Avaliação do Desempenho dos Dirigentes da Administração Pública - SIADAP 2, aplicado em ciclos de três anos, consoante as comissões de serviço dos avaliados

- de Avaliação do Desempenho dos Trabalhadores da Administração Pública - SIADAP 3, com carácter bienal, a partir do ciclo de 2013-2014.

Todo este processo foi desmaterializado e está disponível na plataforma de aplicações centrais do IST (.dot), sendo acedido electronicamente pelos vários intervenientes (avaliadores, avaliados, Direção de Recursos Humanos e dirigentes de topo) .

Mais informação disponível na página do IST na Internet (Pessoal/ Direção de Recursos Humanos/Não Docentes/Avaliação (SIADAP)).

4.2.3. Procedures for assessing the non-academic staff performance.

Active since it was legally created in 2004, IST has updated its functioning and procedures and reviewed the evaluation system in 2007 and 2013. The evaluation includes the following subsystems:

- The System for Performance Assessment of the Senior Officials of the Public Administration (SIADAP 2), applied in three cycles, depending on the service commissions of those evaluated;

- The System for Performance Assessment of the Public Administration Employees (SIADAP 3), every two years, from 2013-2014.

This process was dematerialized and is available on the central application form of IST (.dot). Access is made by the different actors (evaluators, evaluated, HR Division, and senior officials) electronically.

Further information available at IST webpage (Staff/Staff Area/Não Docentes/Avaliação (SIADAP))

4.2.4. Cursos de formação avançada ou contínua para melhorar as qualificações do pessoal não docente.

O IST tem uma política de gestão de recursos humanos que afirma a formação como factor crítico para melhorar a performance dos seus profissionais, visando aumentar os níveis de produtividade. A escola dispõe de uma Estrutura de Formação Contínua que tem como uma das suas vertentes de actuação promover e apoiar todas as iniciativas de formação contínua, numa perspetiva de formação ao longo da vida, o que inclui a formação dos funcionários não docentes do IST. Como metodologia de trabalho promovem-se estudos de levantamento de necessidades de formação que dão origem à elaboração de Planos de Formação anuais, sendo de salientar em 2015, a formação em língua inglesa como área estratégica.

4.2.4. Advanced or continuing training courses to improve the qualifications of the non-academic staff.

IST's human resource management policy focuses on training as a critical factor to improve the performance of its

employees, in order to increase productivity levels. The Training Office seeks to promote and support all initiatives of continuing training in a perspective of lifelong learning, which includes the staff as target. Firstly, a diagnosis of training needs using an online survey is carried out, which, after being properly analyzed and statistically processed bears the preparation of this assessment. Based on this a training plan is prepared every year. In the year of 2015 courses of English are being developed as a strategic area of training.

5. Estudantes e Ambientes de Ensino/Aprendizagem

5.1. Caracterização dos estudantes

5.1.1. Caracterização dos estudantes inscritos no ciclo de estudos, incluindo o seu género e idade

5.1.1.1. Por Género

5.1.1.1. Caracterização por género / Characterisation by gender

Género / Gender	%
Masculino / Male	75
Feminino / Female	25

5.1.1.2. Por Idade

5.1.1.2. Caracterização por idade / Characterisation by age

Idade / Age	%
Até 20 anos / Under 20 years	0
20-23 anos / 20-23 years	0
24-27 anos / 24-27 years	48
28 e mais anos / 28 years and more	52

5.1.2. Número de estudantes por ano curricular (ano letivo em curso)

5.1.2. Número de estudantes por ano curricular (ano letivo em curso) / Number of students per curricular year (current academic year)

Ano Curricular / Curricular Year	Número / Number
Doutoramento	44
	44

5.1.3. Procura do ciclo de estudos por parte dos potenciais estudantes nos últimos 3 anos.

5.1.3. Procura do ciclo de estudos / Study programme's demand

	Penúltimo ano / One before the last year	Último ano/ Last year	Ano corrente / Current year
N.º de vagas / No. of vacancies	0	20	25
N.º candidatos 1.ª opção, 1ª fase / No. 1st option, 1st fase candidates	0	0	0
Nota mínima do último colocado na 1ª fase / Minimum entrance mark of last accepted candidate in 1st fase	0	0	0
N.º matriculados 1.ª opção, 1ª fase / No. 1st option, 1st fase enrolments	0	0	0
N.º total matriculados / Total no. enrolled students	8	9	6

5.1.4. Eventual informação adicional sobre a caracterização dos estudantes (designadamente para discriminação de informação por ramos)

5.1.4. Eventual informação adicional sobre a caracterização dos estudantes (designadamente para discriminação de informação por ramos)

Os alunos que ingressam no programa doutoral de Física são em geral selecionados de entre os melhores alunos do MEFT do IST e dos mestrados em Física e Engenharia de universidades nacionais e estrangeiras.

As notas dos alunos que ingressam no MEFT através do Concurso Nacional de Acesso ao Ensino Superior foram em 2015 superiores a 18.23, as mais altas a nível nacional em cursos de Física ou Engenharia Física. Compreende-se assim o alto patamar de qualidade exigido dos alunos que prosseguem os seus estudos com um doutoramento em Física no DF.

Muitos alunos são recrutados através dos programas doutorais da FCT, apoiados no Programa Doutoral de Física, como:

- *Programa Avançado em Ciência e Engenharia dos Plasmas (APPLAuSE)*
- *Rede Internacional de Doutoramentos em Física das Partículas, Astrofísica e Cosmologia (IDPASC)*
- *Programa Doutoral em Física e Matemática da Informação (DP-PMI)*

resultando num grande nível de internacionalização dos alunos (com o recrutamento de uma percentagem superior a 50% de estudantes estrangeiros).

5.1.4. Additional information about the students' characterisation (information about the students' distribution by the branches)

The students that enroll in the doctoral program in Physics are in general selected from a pool of the best MEFT students or MSc graduates in Physics and Engineering from national or foreign universities.

In 2015 the minimal grade for students accepted for the MEFT course through the National Ranking for Higher Education Access was 18.2/20, the highest for all Physics or Physics Engineering courses at a national level. This has been a prevalent trend also in the past and speaks for the high standard of quality required of the students that choose to proceed their studies with a PhD in Physics at the DF.

Many students are also enlisted through the FCT doctoral programs which are supported in the Physics PhD program, such as the:

- *Advanced Program in PLASMA Science and Engineering (APPLAuSE)*
- *International Doctorate Network in Particle Physics, Astrophysics and Cosmology (IDPASC)*
- *Doctoral Program in Physics and Mathematics of Information (DP-PMI)*

and as a consequence there is a high level of internationalization of the students (upwards of 50% in foreign student enrollment).

5.2. Ambientes de Ensino/Aprendizagem

5.2.1. Estruturas e medidas de apoio pedagógico e de aconselhamento sobre o percurso académico dos estudantes.

Os estudantes são apoiados pelo Coordenador do ciclo de estudos e pelos respetivos supervisores científicos na definição das unidades curriculares que integram o respetivo curso de doutoramento.

Ao fim de 2 anos de trabalho, os estudantes têm de fazer a apresentação pública de uma proposta de tese, a qual é avaliada por uma comissão de acompanhamento de tese (CAT) nomeada para o efeito.

Esta comissão, constituída por investigadores especialistas da área científica e que inclui o supervisor científico, dá aconselhamento sobre o prosseguimento dos trabalhos e faz o acompanhamento dos progressos obtidos pelo estudante.

Em geral, os membros da CAT integram mais tarde o júri das provas de doutoramento.

5.2.1. Structures and measures of pedagogic support and counseling on the students' academic path.

Students are supported by the program coordinator and their scientific supervisors for the definition of the curricular units that will specifically integrate their doctoral course. After two years of graduate work, students must formulate a PhD thesis proposal and make its public presentation before a supervisory committee (CAT), which is tasked with its evaluation and is specifically formed for each student. This CAT committee, which is composed of researchers with specializations in the scientific area of the student's thesis and also includes his scientific adviser, will counsel and accompany the student's progress through the doctoral program. As a rule, the CAT members will be integrated in the jury of the doctoral exam.

5.2.2. Medidas para promover a integração dos estudantes na comunidade académica.

Todos os alunos são acolhidos em centros de investigação credenciados pela FCT, associados ao Departamento de Física, onde desenvolvem as respetivas atividades de investigação. Nestes centros são promovidas ações que facilitam a integração dos alunos, tais como seminários regulares de investigação, reuniões dos grupos de investigação e encontros informais de natureza científica. Para lá das atividades desenvolvidas no âmbito dos centros de investigação, o departamento organiza um Colóquio semanal sobre todas as áreas científicas do programa doutoral, e faculta uma participação dos alunos numa atividade docente através da disciplina Ensino e Divulgação Científica – DF. A iniciativa PhD OpenDays organizada pelo IST oferece durante 4 dias, a mais de 500 alunos de doutoramento, uma oportunidade de socializar e partilhar experiências com o resto da comunidade académica e também com empresas externas que participam no evento.

5.2.2. Measures to promote the students' integration into the academic community.

Every student in this doctoral program is placed in a research center, certified by the FCT and associated with the Physics Department, where he will conduct his research activities. These centers organize regular events and activities that facilitate the student integration process in their scientific community, such as research seminars, research group reunions and informal scientific gatherings. Besides these research center activities, the Physics Department organizes a weekly Colloquium with topics covering all scientific areas of the doctoral program, and also enables students to participate in a teaching activity through the curricular unit "Outreach and Teaching Skills – DF". The IST also organizes the "PhD Open Days" initiative which lasts 4 days and offers to more than 500 PhD students an opportunity to socialize and share experiences with the larger academic community and also with outside enterprises and companies that attend the event.

5.2.3. Estruturas e medidas de aconselhamento sobre as possibilidades de financiamento e emprego.

O Núcleo de Parcerias Empresarias do IST dinamiza as relações com as empresas, o apoio ao empreendedorismo e o desenvolvimento de carreiras dos alunos. Neste âmbito mantém os programas: IST Job Bank (plataforma de emprego); IST Career Sessions (sessões de informação sobre os processos de recrutamento); IST Career Workshops (ações de formação de preparação para o recrutamento para as quais é realizado o concurso de bolsas IST Career Scholarships); IST Career Weeks (semanas de apresentação das empresas divididas por área); AEIST Jobshop (feira e semana de negociação de emprego) IST Summer Internships (estágios de verão em empresas). No fomento ao empreendedorismo destaca-se: a Comunidade IST SPINOFF com empresas cujas origens estão ligadas ao IST e o fundo de capital de risco ISTART I promovido pelo IST. Coordena também os múltiplos eventos ligados ao empreendedorismo que ocorrem regularmente no IST e faz a ligação às incubadoras associadas ao IST: Taguspark, Lispolis e Startup Lisboa.

5.2.3. Structures and measures for providing advice on financing and employment possibilities.

The Corporate Partnerships Unit of IST seeks to foster the relationship with companies, the support to entrepreneurship and the development of student careers. Thus, it maintains the following programs: IST Job Bank (recruitment platform); IST Career Sessions (information sessions regarding the recruitment processes); IST Career Workshops (training actions for the preparation of recruitment for which the IST Career Scholarships are available); IST Career Weeks (company presentations divided by area); AEIST Jobshop (employment fair and negotiation week) IST Summer Internships (student internships in companies). Regarding fostering entrepreneurship, the following should be pointed out: the IST SPINOFF Community with companies whose origins are linked to IST and the venture capital fund ISTART I promoted by IST. It is also responsible for coordinating all the events linked to entrepreneurship that takes place at IST and links it to IST associated incubators: Taguspark, Lispolis and Startup Lisboa.

5.2.4. Utilização dos resultados de inquéritos de satisfação dos estudantes na melhoria do processo ensino/aprendizagem.

No âmbito do sistema de gestão da qualidade do IST (ver 2.2 para mais detalhes) foi desenvolvido o subsistema de Garantia da Qualidade das Unidades curriculares do IST (QUC). Tem como objetivos centrais a monitorização em tempo útil do funcionamento de cada UC, face aos objetivos para ela estabelecidos, nos planos curriculares dos cursos oferecidos pelo IST, e a promoção da melhoria contínua do processo de ensino, aprendizagem e avaliação do aluno e do seu envolvimento no mesmo. Um dos instrumentos previsto no QUC é um inquérito aos estudantes, recolhendo opiniões sobre vários aspetos do processo de ensino e aprendizagem de cada UC. Nas UC do 3º ciclo, este instrumento tem-se revelado ineficiente, devido à dispersão de alunos pelas diversas opções de UC de 3º ciclo, o nº reduzido de respostas, tem originado falta de representatividade. Está prevista para breve uma reflexão sobre esta temática com o objetivo de criar um instrumento de avaliação alternativo.

5.2.4. Use of the students' satisfaction inquiries on the improvement of the teaching/learning process.

Under the quality management system in place at IST (vide 2.2 for further details), a course unit Quality Assurance Subsystem was developed, known as QUC, which primarily aims at monitoring in a timely manner the functioning of course units compared to the objectives set in the curricula of the programmes taught at IST, and promoting the continued improvement of the teaching, learning and student assessment process and student involvement in it. A student survey is conducted which gathers together opinions about several aspects of each course unit teaching and learning process. In 3rd cycle course units, this tool has appeared inefficient due to the dispersion of students by the

different of 3rd cycle course unit options and the low response rate. A reflection with the purpose of creating an alternative assessment tool is expected shortly.

5.2.5. Estruturas e medidas para promover a mobilidade, incluindo o reconhecimento mútuo de créditos.

O IST continua empenhado em reforçar a sua internacionalização, estratégia assente em redes internacionais de referência: CLUSTER, MAGALHÃES, TIME e CESAER. Os programas de Mestrado e Doutoramento, na presença de pelo menos 1 aluno que não fale português, são ministrados na Língua Inglesa, factor competitivo que atrai alunos do mundo inteiro. O IST oferece 51 duplos graus, mais de 500 acordos/protocolos internacionais com cerca de 1000 alunos envolvidos em mobilidade internacional. O IST participa no programa Erasmus Mundus 2 (18 em curso, de momento), tendo também atividade em JMD, JDD e outros projetos do Erasmus +. Nos últimos 2 anos, no âmbito da rede Cluster, o IST preside à SEEP (Sino-European Platform) que consolida relações de parceria com 18 IES chinesas. Prosseguindo o forte envolvimento nas parcerias com o MIT, CMU, UTAustin e EPFL. O IST reforçou o papel ativo na KIC Innoenergy. No âmbito dos programas de mobilidade o período de estudos é reconhecido através do sistema ECTS.

5.2.5. Structures and measures for promoting mobility, including the mutual recognition of credits.

Through international reference networks such as CLUSTER, MAGALHÃES, TIME and CESAER, IST remains committed to reinforcing its internationalization policy. Its MSc and PhD programmes are taught in English if attended by one student who does not speak Portuguese, which attracts students worldwide. IST offers 51 double degrees, more than 500 international protocols with approximately 1000 students involved in international mobility. IST participates in the Erasmus Mundus 2 programme (there are currently 18 ongoing), and in JMD, JDD and other Erasmus + projects. Over the past 2 years, under the Cluster Network, IST has chaired the SEEP (Sino-European Platform) which is geared for increasing and consolidating relationships and partnerships with 18 Chinese HEIs. Pursuing a strong involvement in partnerships with MIT, CMU, UTAustin and EPFL, IST has reinforced its active role at KIC Innoenergy. Under the scope of mobility programmes, study periods are recognized through the ECTS system.

6. Processos

6.1. Objetivos de ensino, estrutura curricular e plano de estudos

6.1.1. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências) a desenvolver pelos estudantes, operacionalização dos objetivos e medição do seu grau de cumprimento.

O doutoramento em Física visa o aprofundamento do conhecimento em áreas específicas da Física e em áreas de fronteira com outros ramos do conhecimento e capacidade de produção teórica e tecnológica.

Tem como objetivo a habilitação para o desempenho independente de atividades de investigação científica e de desenvolvimento em geral, de qualidade internacionalmente reconhecida, em instituições de ensino superior, laboratórios de investigação, no sector empresarial e em serviços da administração pública.

A operacionalização destes objetivos é feita através de duas componentes principais:

(i) A componente curricular, que é constituída por unidades curriculares de base científica adequadas à formação numa dada área especializada, fornece um ensino orientado para o desenvolvimento da criatividade do aluno e das suas capacidades para resolver novos problemas, estimulando-o a pesquisar e a cultivar a excelência e a originalidade.

(ii) A componente de investigação científica, que se realiza em colaboração com centros e laboratórios associados ao programa ou com a realização de estágios em laboratórios estrangeiros, inclui a participação em conferências, a produção de artigos científicos para publicação em revistas internacionais e finalmente a defesa de uma tese de doutoramento.

6.1.1. Learning outcomes to be developed by the students, their translation into the study programme, and measurement of its degree of fulfillment.

The Ph.D. program in Physics strives toward the enhancement of science in the specific domains of Physics and also in areas that overlap with other branches of knowledge and technological expertise.

Its goal is to provide students with the skills for independent and excellent performance in scientific research and in general development activities that are internationally recognized, either in higher education institutions, research laboratories, in the industry or in the public service.

This is achieved through an education with two main components:

(i) The curricular component, with course units providing and instruction with the appropriate scientific basis for each specialized area of the program. Teaching is oriented towards the development of student's creativity and ability to solve new problems, stimulating him to do research and to embrace a culture of excellence and originality.

(ii) The scientific research component, which takes place in collaboration with the program's associated centers and laboratories or via internships in foreign laboratories and institutions, and includes participation in science conferences, the production of scientific articles to be published in international journals and finally the presentation and discussion of a Ph.D. thesis.

6.1.2. Periodicidade da revisão curricular e forma de assegurar a atualização científica e de métodos de trabalho.
As revisões curriculares não têm periodicidade pré-determinada. As revisões curriculares - propostas pelas coordenações de curso, ouvidas as comissões científicas e pedagógicas de curso, e submetidas a parecer do conselho científico, pedagógico e de gestão – são efetuadas sempre que há necessidade de atualizar conteúdos programáticos das unidades curriculares, necessidade de otimizar percursos académicos ou imposições exógenas ao curso, tais como atualização de áreas científicas ou disciplinares, criação ou extinção de unidades académicas.

6.1.2. Frequency of curricular review and measures to ensure both scientific and work methodologies updating.
Curriculum review is not carried out on a regularly basis. The curricula, proposed by the program coordinators, in consultation with the scientific and pedagogical committees of each program and submitted to the opinion of the scientific, pedagogical and management boards – undergoes review whenever there is the need to update the syllabuses, to optimize academic paths or obligations that are exogenous to the program, such as the update of scientific or discipline areas, or the creation or extinctions of academic units.

6.2. Organização das Unidades Curriculares

6.2.1. Ficha das unidades curriculares

Mapa X - Física da Informação Clássica e Quântica

6.2.1.1. Unidade curricular:

Física da Informação Clássica e Quântica

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Yasser Rashid Revez Omar (56.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Esta disciplina tem por objectivo oferecer aos alunos uma introdução ao campo da Física da Informação, nomeadamente à área emergente da Teoria da Informação Quântica, cobrindo os seus fundamentos físicos, assim como as suas aplicações revolucionárias à computação, à criptografia e às telecomunicações, e respectivas tecnologias. Trata-se de uma área típica da engenharia física, neste caso onde a física fundamental está directamente na base de aplicações práticas/comerciais.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

This course aims at offering graduate students an introduction to the field of the Physics of Information, namely to the emergent area of Quantum Information Theory, covering both its physical foundations and its revolutionary applications to computation, cryptography and telecommunications, and their respective technologies.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

1. A Física da Informação

2. Mecânica Quântica: resultados essenciais e novidades

3. O entrelaçamento (entanglement) de estados

4. Teoria da Informação Quântica

5. Computação Quântica

6. Criptografia Quântica

7. Conclusão

Para mais detalhes, consultar: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/disciplinas/FICQ-2/2015-2016/1-semester/planeamento>

6.2.1.5. Syllabus:

1. The Physics of Information

2. Quantum Mechanics: essential results and novelties

3. Quantum Entanglement

4. Quantum Information Theory

5. Quantum Computation

6. Quantum cryptography

7. Conclusion

For more details, see: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/disciplinas/FICQ-2/2015-2016/1-semester/planeamento>

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

Esta unidade curricular introduz a relação entre irreversibilidade computacional e dissipação, no âmbito da Termodinâmica Clássica, e em seguida introduz os aspectos essenciais da Mecânica Quântica, de forma a cobrir os principais tópicos da Teoria da Informação Quântica, em particular, o entrelaçamento de estados e a teleportação, a computação quântica e a criptografia quântica.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

This course introduces the relation between computational irreversibility and thermal dissipation, in the context of Classical Thermodynamics, and then introduced the essential aspects of Quantum Mechanics, to then cover the main topics of Quantum Information Theory, namely: entanglement and quantum teleportation, quantum computation and quantum cryptography.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Participação nas aulas, incluindo séries semanais de problemas (30%) + exame (40%) + apresentação e discussão de um tópico/artigo científico (30%).

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Class participation, including weekly problem sets (30%) + exam (40%) + individual presentation and discussion of a research topic/article (30%).

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

Trata-se de uma cadeira doutoral, num tópico avançado. A resolução de séries de problemas semanais e a respectiva discussão nas aulas motivam não só estudo contínuo da matéria, como o debate sobre as várias formas de abordar os exercícios nesta área multidisciplinar. O exame final testa os conhecimentos individuais dos alunos. E a apresentação final testa a capacidade de pesquisa bibliográfica, de análise de um resultado científico no âmbito da cadeira, e da sua exposição à turma / a uma audiência relativamente especializada.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

This is a doctoral course, in an advanced domain. The solving of weekly problem sets and the respective discussion in class not only motivate the continuous study of the contents of the course, as well the debate about the different approaches to solving the exercises in this multidisciplinary area. The final exam tests the individual knowledge of the students. And the final presentation tests their capacity of bibliographic search, analysis of a scientific result and how to convey it to the class / a specialized audience.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

- *Quantum Computation and Quantum Information*, M. Nielsen, I. Chuang, 2011, Cambridge University Press.
- *An Introduction to Quantum Computing*, P. Kaye, R. Laflamme, M. Mosca, 2007, Oxford University Press.

Mapa X - Tópicos Avançados em Física da Matéria Condensada

6.2.1.1. Unidade curricular:

Tópicos Avançados em Física da Matéria Condensada

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

José Martins (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:
não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):
Contacto com temas avançados de Física da Matéria Condensada e próximos de temas de investigação.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:
Contact with advanced topics close to research subjects.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

*I. Teoria do Líquido de Fermi
Renormalização do gás de Fermi.
Teoria de Landau.*

*II. Condutores unidimensionais
Modelo de Luttinger.
Bosonização.
Líquidos de Luttinger.*

*III. Efeito de Hall quântico
Efeito de Hall inteiro. Invariância de gauge. Topologia.
Efeito de Hall fraccionário. Cargas fraccionárias.*

*IV. Transição de Kosterlitz-Thouless
O modelo XY.
Vórtices.
Supercondutores do tipo-II.*

*V. Sistemas Desordenados
Efeito de impurezas. Desordem annealed e quenched.
Localização.*

6.2.1.5. Syllabus:

*I. Fermi Liquid Theory
Renormalization of the Fermi gas.
Landau Theory.*

*II. One-dimensional conductors
Luttinger model.
Bosonization.
Luttinger liquids.*

*III. Quantum Hall Effect
Integer effect. Gauge invariance. Topology
Fractional effect. Fractional charges*

*IV. Kosterlitz-Thouless Transition
XY model.
Vortices.
Type-II superconductors.*

*V. Disordered systems
Effects of impurities. Annealed and quenched disorders.
Localization.*

6.2.1.6. Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular.
O programa cobre vários temas avançados de Física da Matéria Condensada.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Trabalhos de casa semanais e Exame final ou Trabalho.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Weekly homework problems and Final exam or Essay.

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

A metodologia de ensino basear-se-á na apresentação dos conceitos teóricos pelo docente seguido de exercícios práticos de aplicações pelos alunos. As fichas e trabalho final asseguram também um bom domínio da matéria pelos alunos.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Many-Particle Physics, G.D. Mahan, 1990, Plenum Press, 1990; Quantum Theory of Many-Particle Systems, A.L. Fetter and J.D. Walecka, 1971, McGraw-Hill, 1971.; The theory of Quantum Liquids, D. Pines and Ph. Nozières, 1989, Addison-Wesley, 1989.; Superconductivity of Metals and Alloys, P.G. de Gennes, 1989, Addison-Wesley, 1989.; Green's Functions for Solid State Physicists, S. Doniach and E.H. Sondheimer, 1974, Benjamin, 1974.

Mapa X - Física de Partículas**6.2.1.1. Unidade curricular:**

Física de Partículas

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Mário Joao Martins Pimenta (0.0)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

Ruben Maurício da Silva Conceição (0.0), Jorge Manuel Rodrigues Crispim Romão (0.0)

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Dar uma introdução a FP, com ênfase na teoria e na experiência. Os estudantes devem adquirir um conhecimento básico dos desenvolvimentos mais importantes da FP e obter uma perspectiva das questões fundamentais em aberto no domínio. Deve também dar uma base para aqueles que pretendem seguir uma especialização em FP teórica ou experimental.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Give an introduction to PP, focusing on theory and experiment. Students should acquire a basic knowledge of the most important developments in particle physics, and have a perspective on the fundamental open questions in the field. It should also provide background for those pursuing a specialization in theoretical or experimental PP.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

Constituintes e interações fundamentais. Cinemática Relativista. Secção eficaz. Unidades. Interação de partículas com a matéria. Detectores e Aceleradores. A experiência de Rutherford. Factores de forma, Potencial de Yukawa, difusão de eletrões. Raios cósmicos. Anti-matéria. Píões e múões. A estranheza. Mecânica Quântica Relativista: Colisões e decaimentos. Eq. de Klein-Gordon e de Dirac. Teoria quântica dos campos e diagramas de Feynman.: QED. Grupos e simetrias. O Zoo das partículas. Isospin. "The eightfold way": Os Quarks. Difusão inelástica profunda. Quarks e partões. A côm. O campo electromagnético. Invariância de gauge. As interações fracas. O modelo de Fermi. A violação da Paridade. A teoria V-A. O Modelo Standard Electrofraco Quebra espontanea de Simetria: O mecanismo de Higgs. Testes experimentais. A descoberta do Higgs. A matriz Kobayashi-Maskawa. A violação de CP. Neutrinos e

Oscilações de Neutrinos. Astropartículas

6.2.1.5. Syllabus:

The building blocks and the fundamental interactions. Relativistic kinematics. Cross section. Unities. Interaction of particles with the matter. Detectors and accelerators. Non relativistic Quantum Mechanics. Rutherford experiment. Form factors. Yukawa potential. Cosmic rays. Anti-matter. Yukawa meson: pions and muons. The strangeness. Relativistic Quantum Mechanics: Klein-Gordon and Dirac equations. Fermi golden rule: collisions and decays. Quantum field theory and Feynman diagrams. QED. Groups and symmetries. The particle Zoo: leptons, mesons and baryons. Isospin. "The eightfold way". Quarks. Deep inelastic scattering. Quarks and partons. The colour. Gauge invariance. Fermi Weak interactions. Parity violation. V-A. The electroweak standard model: $SU(2)_L \times U(1)$. Spontaneous symmetry breaking: the Higgs boson. Experimental tests of the Standard Model. The discovery of the Higgs boson. CKM matrix. CP violation. Neutrinos oscillations. Astroparticle physics.

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

O programa cobre os estudos principais da atividade científica da área da Física de Partículas, o que corresponde ao objetivo da unidade curricular.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The program covers the principal studies of the scientific activity in the area of Particle Physics, which corresponds to the goal of the course unit.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Dependendo do número de alunos inscritos, esta cadeira tem uma componente lectiva clássica correspondente às aulas de introdução geral, seguida por uma componente tutorial em que o aluno é confrontado com alguns artigos que deve estudar e posteriormente discutir. A meio do semestre é escolhido um tópico de desenvolvimento que será apresentado pelo aluno, no final do semestre num seminário de 30 minutos, constituindo também a avaliação da unidade curricular.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Depending on the number of students enrolled, this course has a classical teaching component corresponding to general introductory classes, followed by a tutorial component in which the student is faced with some articles that he needs to study and discuss later. At midterm, the student choose a topic to develop and to be presented in a 30 minute seminar at the end of the semester, which is also part of the course unit evaluation.

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

Esta cadeira dada a sua especificidade exige um acompanhamento individual dos alunos, pelo que um seguimento semi-tutorial se afigura como o mais adequado. A avaliação enquadra-se no contexto deste ensino.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

Due to its specificity, this course requires an individual monitoring of students, thus we consider that a semi-tutorial follow-up is the most appropriate. The evaluation fits into the context of this teaching.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

"Modern Particle Physics", Mark Thomson, 2013, Cambridge University Press

"An introduction to particle and Astroparticle Physics" Alessandro De Angelis, Mário Pimenta, Springer

"Modelo Standard das Interacções Electrofracas", Jorge Romão, <http://porthos.ist.utl.pt/ftp/textos/ElectroWeakSM.pdf>

Mapa X - Física da Matéria Condensada Avançada

6.2.1.1. Unidade curricular:

Física da Matéria Condensada Avançada

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Pedro Sacramento (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):
Caracterização e estudo de sistemas interactivos clássicos e quânticos

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:
Characterization and study of classical and quantum interactive systems.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

1. Sistemas interactivos clássicos

Fenómenos colectivos. Quebras de simetria

Modelo ϕ^4 . Expoentes críticos

Teorema de Goldstone. Mecanismo de Anderson-Higgs

2. Sistemas interactivos bosónicos e de spin

Sistema de bósons interactivos. Transformação de Bogoliubov-Valantin

Superfluidos. Segundo som

Transições magnéticas. Magnões

Modelo de Heisenberg unidimensional

3. Sistemas interactivos fermiónicos

Aproximação de Hartree-Fock

Interação de Coulomb. Plasmões

Efeito de Kohn. Função de Lindhardt

Fases ordenadas: ondas de spin, ondas de carga. Transição de Peierls

Modelo de Hubbard. Teoria de Stoner

Transição de Mott. Cristal de Wigner

Supercondutividade. Pares de Cooper. Teoria de BCS

Efeito de Meissner

4. Estados localizados

Dispersão por uma impureza. Oscilações de Friedel

Catástrofe ortogonal

Modelos de Anderson e de Kondo

Heavy fermions

Interação RKKY. Diagrama de Doniach

6.2.1.5. Syllabus:

1. Classical interacting systems

- *Collective phenomena. Broken symmetry*

- *Model ϕ^4 . Critical exponents*

- *Theorem of Goldstone. Anderson-Higgs mechanism*

2. Interacting systems of bosons and spins

- *System of interacting bosons. Bogolyubov-Valantin transformation*

- *Superfluidity. Second sound*

- *Magnetic transitions. Magnons.*

- *1D Heisenberg model*

3. System of interacting fermions

- *Hartree-Fock approximation*

- *Coulomb interaction. Plasmons*

- *Effect of Kohn. Lindhardt function*

- *Ordered phases: spin and charge waves. Peierls transition*

- *Hubbard model. Theory of Stoner*

- *Mott transition. Wigner crystal*

- *Superconductivity. Cooper pairs. BCS theory*

- *Meissner effect*

5. Localized states

- *One impurity problem. Friedel oscillations*

- *Orthogonal catastrophe*

- *Models of Anderson and Kondo*

- *Heavy fermions*

- *RKKY interaction. Diagram of Doniach*

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

Os conteúdos

programáticos são os necessários no âmbito da unidade curricular para os estudantes desenvolverem as competências correspondentes aos objectivos curriculares estabelecidos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The contents of the course are the necessary ones with the purpose that the students develop their skills towards the understanding and accomplishment of the set goals.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Exame e apresentações orais de tópicos relacionados com a área

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Exam and presentations of topics related to the area.

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Quantum Theory of Solids, C. Kittel, 1996, Wiley, New York, 1996; Many-Particle Physics (3rd edition), G. D. Mahan, 2000, Kluwer, New York, 2000 ; Introduction to Solid State Theory, O. Madelung, 1996, Springer, Berlin, 1996.; Condensed Matter Physics., A. Isihara, 1991, Oxford Univ. Press, 1991.; Statistical Mechanics, K. Huang, 1987, John Wiley & Sons, New York, 1987; Statistical Mechanics, R. K. Pathria, 1996, Butterworth Heinemann, 1996; Superconductivity, J. B. Ketterson e S. N. Song, 1999, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.

Mapa X - Seminário de Física

6.2.1.1. Unidade curricular:

Seminário de Física

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

José Lemos (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Fomentar intercâmbio e proporcionar sinergias entre os diferentes estudantes de doutoramento que desenvolvem trabalho de investigação nos diversos Centros de Investigação do Departamento de Física.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

The main objective is to increase the exchange among the different PhD students in the Department of Physics. Also the seminar will be one way of presenting the research done in the various Reserach Units of the Department.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

Esta disciplina terá um seminário semanal onde serão apresentados os diferentes temas de investigação do Departamento de Física.

6.2.1.5. Syllabus:

There will be a weakly seminar for the presentation of the various research topics of the Department.

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Apresentação oral dum tema proposto.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Oral presentation of a proposed subject.

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Não há bibliografia.

Mapa X - Computação Avançada em Física e Engenharia

6.2.1.1. Unidade curricular:

Computação Avançada em Física e Engenharia

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Luís Silva (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

Marco Jorge Dias Carvalho Cardoso (0.00), Luís Paulo da Mota Capitão Lemos Alves (0.00)

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

O objectivo da disciplina de Computação Avançada em Física e Engenharia é familiarizar os discentes com as potencialidades e as ferramentas da computação avançada, desenvolvendo a sua capacidade para identificar as metodologias apropriadas aos diferentes problemas em Física e Engenharia e implementar diferentes técnicas numéricas em recursos computacionais avançados.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

The main objective of the course is to give students a perspective about the potential and the tools of advanced computing in Physics and Engineering, by developing their ability to identify the appropriate methodologies required to tackle different problems in Physics and Engineering, and to implement the relevant numerical techniques in advanced computing resources.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

A computação avançada é crítica para a descoberta científica. Nesta disciplina discutiremos as diferentes metodologias que permitem explorar recursos computacionais em larga escala recorrendo a exemplos das diferentes áreas da Física, da Engenharia e da Computação, enfatizando os aspectos associados à simulação de sistemas físicos.

A disciplina organiza-se em três módulos:

I. Simulação Numérica em Física e Eng

I.1 Simulação Numérica em Plasmas

I.2 Mecânica dos Fluidos Computacional

I.3 Monte-Carlo e Dinâmica Molecular

II. Paradigmas da Computação Avançada

II.1 Infra-estruturas

II.2 GRID computing

II.3 Computação Massivamente Paralela

III. Desafios em Ciência e Engenharia

III.1 Desenvolvimento, otimização e scalability

III.2 Visualização Científica

III.3 Petascale computing

6.2.1.5. Syllabus:

Advanced computing is a critical tool for scientific discovery. In this course, we will cover, from a problem solving tool point view, the different methodologies that allow the exploration of large scale computing resources. This is to be achieved through examples from different fields of Physics, Engineering and Computer Science, and giving significant emphasis to the simulation of physical systems.

The course is organized in three sections:

I. Numerical simulation in Phys and Eng

I.1 Computational Plasma Physics

I. 2 Computational Fluid Dynamics

I. 3 Molecular Dynamics and Monte-Carlo simulations

II. Paradigms of Advanced Computing

II. 1 Infrastructures for Advanced Computing

II. 2 GRID computing

II. 3 Massively Paralell Computing

III. Challenges in Advanced Computing in Physics and Engineering

III.1 Development, optimization and scalability of scientific applications

III.2 Scientific Visualization

III.3 Petascale computing

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Projecto de computação avançada/ trabalho escrito, devidamente articulado com projecto de doutoramento do discente.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Advanced computing project/ essay, in connection with PhD/research work of the student

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Computação Avançada em Física e Engenharia, Luís O. Silva, 2006, Notas do docente preparadas para a disciplina e slides das apresentações.

Mapa X - Fundamentos de Física dos Plasmas, Fusão Nuclear e Lasers**6.2.1.1. Unidade curricular:**

Fundamentos de Física dos Plasmas, Fusão Nuclear e Lasers

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Vasco Guerra (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Esta unidade curricular oferece formação básica na área científica de Física dos Plasmas, Fusão Nuclear e Lasers. Introduzem-se primeiro conceitos básicos sobre as propriedades dos plasmas, como os efeitos colectivos e de blindagem, a propagação de ondas electrostáticas e electromagnéticas nestes meios e os mecanismos de criação, transporte, perda e confinamento de partículas carregadas. Introduzem-se seguidamente conceitos básicos sobre fusão termonuclear controlada, lasers e interação de lasers com plasmas.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

This course provides a basic training in the scientific area of Plasma Physics, Nuclear Fusion and Lasers. The students are introduced to basic concepts and knowledge on plasma properties, collective effects and electrostatic shielding, wave propagation in plasmas, charged particle transport, losses and confinement mechanisms, controlled thermonuclear fusion, lasers and laser – plasma interactions.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

Conceitos básicos da Física dos Plasmas. Tipos de plasma. Aplicações dos plasmas: da escala nano à astrofísica. Movimentos de partículas em campos eléctricos e magnéticos. Teoria fluido das ondas em plasmas. Fenómenos de transporte em plasmas. Confinamento de plasmas: equilíbrio e estabilidade. Fusão nuclear controlada via confinamento magnético e inercial. Lasers e interações laser-plasma.

6.2.1.5. Syllabus:

*Basic concepts in plasma physics. Types of plasmas. Applications of plasmas: from the nanoscale to astrophysics. Single particle motions in E and B fields
Fluid theory of plasma waves
Transport phenomena in plasmas
Plasma confinement: equilibrium and stability
Controlled nuclear fusion via magnetic and inertial confinement
Lasers and laser-plasma interactions*

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

A UC introduz o aluno aos principais tópicos e aplicações da Física e Tecnologia dos Plasmas. São fornecidas as bases teóricas e os conceitos fundamentais, passando por vários exemplos de aplicação. A UC está estruturada em três módulos: fundamentos da física dos plasmas, teoria cinética de plasmas e introdução aos lasers e às interações laser-plasma. São apresentados e estudados vários exemplos de aplicação, incluindo detalhes dos resultados experimentais mais relevantes e simulações numéricas. Em sumário, os tópicos que se apresentam abrangem os principais conceitos intervenientes, quer na análise mais fundamental, quer na vertente tecnológica, bem como as ferramentas usualmente mais aplicadas, incluindo as de índole computacional.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

This CU introduces the main topics and applications of Plasma Physics and Technology. It presents the theoretical

bases and the fundamental concepts, including as well several examples of application.

The CU is structured in three modules: fundamentals of plasma physics, plasma kinetic theory and introduction to lasers and laser-plasma interactions

In summary, the topics covered include the main concepts necessary both for a more fundamental understanding and for the development of technological applications, as well as the tools necessary to carry out the study, including computational ones.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Esta UC envolve um conjunto de metodologias de ensino, que tentam cobrir várias áreas de desenvolvimento pedagógico essenciais à formação de qualquer engenheiro. As aulas estão divididas entre aulas teóricas e de resolução de exercícios práticos sobre os conteúdos da UC, tendo sido desenvolvida documentação específica para o efeito. Existe ainda a participação de vários especialistas trabalhando na área, por forma a relacionar os alunos com trabalho no terreno and com os grandes projectos internacionais.

A avaliação envolve a realização de testes escritos e exame final, onde se tentam incluir problemas e excertos de situações reais que devem ser analisados à luz dos conteúdos leccionados.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

This UC involves numerous teaching methodologies, trying to cover several areas of educational development crucial to the formation of any engineer. The course is divided in theoretical lectures and resolution of practical exercises on the contents of the UC. Specific documentation has been prepared to support this approach. In addition, there are several lectures along the semester given by experts working in the field, so that the students can make the link with the field-work and with the large international projects.

The evaluation consists of mandatory answers to various series of problems as home work, written exam and final oral exam.

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

Considerando o objectivo da UC, os métodos de ensino garantem uma sólida formação, sendo possível aos alunos identificar desafios, compreender os problemas e propor soluções usando diferentes técnicas. Diferentes tipos de metodologias de aprendizagem são utilizados na UC: seminários de especialistas, exercícios e teste final. A utilização de casos de estudo reais permite que os alunos assimilem os conteúdos programáticos, aplicados à realidade, identificando os problemas, fazendo uma análise crítica dos mesmos e propondo novas soluções. O exame final é individual para estimular a interpretação de problemas exemplificativos dos conceitos leccionados, testando a capacidade do aluno, de forma individual e integrada, de interpretar, criticar e resolver problemas.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

Considering the aim of the course, the teaching methodology provides a solid formation, allowing the students identify challenges, understand the problems and propose better solutions using different techniques. Different types of teaching methodologies are explored: seminars from specialists, resolution of practical exercises and a final exam. The use of real case studies allows students to understand the syllabus, applied to reality, resulting in a critical analysis of the problems identified and propose new solutions. The written final exam is an individual proof that stimulates the interpretation of the concepts taught, testing the student's ability to interpret, criticize and solve problems.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Introduction to plasma physics and controlled fusion, Francis F. Chen, 2006, Springer

Introduction to plasma theory, Dwight R. Nicholson, 1992, Krieger Pub Co

Fundamentals of Photonics, 2nd ed., B. E. A. Saleh, M. C. Teich, Wiley, 2007

Mapa X - Complementos de Física dos Cristais Líquidos

6.2.1.1. Unidade curricular:

Complementos de Física dos Cristais Líquidos

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

João Figueirinhas (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Desenvolvimento de competências avançadas no domínio da Física dos Cristais Líquidos (CLs) com introdução a

técnicas e temas atuais de investigação neste domínio. Aprofundamento da formação obtida na UC introdutória ao tema, de modo a alargar e consolidar os conhecimentos de carácter fundamental sobre os CLs assim como das técnicas experimentais usadas no seu estudo. Introdução a tópicos atuais de investigação em CLs, incluindo nemáticos não usuais como a fase nemática biaxial e a fase nemática “twist-bend”. Estudo das técnicas experimentais principais usadas nos diferentes tópicos de investigação, incluindo técnicas de ressonância magnética nuclear (RMN) e técnicas de electro-ótica (EO).

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Development of advanced skills in Physics of Liquid Crystals (LCs) with introduction to techniques and current research topics in this field. Expansion of the training obtained at the introductory course in the subject, to extend and consolidate the knowledge of fundamental character on LCs as well as the experimental techniques used in their study. Introduction to current research topics in LCs including unusual nematics as the biaxial nematic phase and the twist-bend nematic phase. Study of the main experimental techniques used in the different research topics, including nuclear magnetic resonance (NMR) techniques and electro-optic (EO) techniques.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

1. Revisão de conceitos físicos associados aos CLs.
 2. Modelos para as fases nemáticas (N); modelos de Fraiser, Straley, e Luckhurts.
 3. Ótica de meios anisótropos. Técnicas de EO no estudo dos CLs N, medição de grandezas físicas usando transições de Freedericksz. Medição de índices de refração na fase N por interferometria.
 4. Ordem orientacional nos CLs obtida por RMN do protão/deutério. Simulação de espectros de RMN em CLs. Medição dos parâmetros de ordem.
 5. Dinâmica molecular em CLs analisada por relaxometria. Modos coletivos em CLs. Difusão molecular. Movimentos locais de reorientação/rotação.
 6. A fase nemática twist-bend, dados e modelos.
- Trabalhos práticos:**
- 1-Medição de índices de refração num CL N obtidos por interferometria e conoscopia laser.
 - 2-A ordem orientacional num CL N obtida por simulação de espectros de RMN protão/deutério
 - 3-A dinâmica molecular num CL N obtida por relaxometria.

6.2.1.5. Syllabus:

1. Review of physical concepts associated to LCs.
 2. Models for the uniaxial and biaxial nematic phases; Fraiser, Straley and Luckhurts models.
 3. Optics of anisotropic media. EO techniques used in the study of nematic LCs, obtaining physical constants through Freedericksz transitions. Measurement of refractive indices in nematics by laser interferometry.
 4. The LCs' orientational order obtained by proton and deuterium NMR. Simulation of NMR spectra in LCs. Determination of order parameters.
 5. Molecular Dynamics in LCs studied by relaxometry. Collective modes in LCs. Molecular diffusion. Local movements of rotation/reorientation.
 6. The twist-bend nematic phase, data and models.
- Laboratory work:**
- 1-Refractive indices of a nematic film obtained by laser interferometry and conoscopy.
 - 2-The orientational order in a nematic through simulation of the proton/deuterium NMR spectra
 - 3-Characterization of molecular dynamics in a nematic by relaxometry.

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

Os objetivos da UC incluem um aprofundamento do conhecimento da física dos Cristais Líquidos acompanhado da introdução a temas de investigação atual nesta área e do reforço das competências ao nível das técnicas experimentais em uso no estudo desses temas. O programa é coerente com estes objetivos ao focar um conjunto de tópicos relevantes para os temas em estudo assim como um conjunto de técnicas experimentais que incluem a electro-ótica, a relaxometria e a espectroscopia de RMN que suportam a investigação experimental em curso nesses temas. A existência de uma componente laboratorial associada a essas técnicas constitui uma significativa mais valia para o reforço de competências ao nível dessas técnicas como incluído nos objetivos da UC.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The course objectives include a deepening of the knowledge on physics of Liquid Crystals, accompanied by the introduction to current research topics in this area and the enhancing of skills at the level of the experimental techniques used in the study of these topics. The program is consistent with these goals by focusing on a range of topics relevant to the issues under study as well as a set of experimental techniques that include electro-optics, NMR relaxometry and spectroscopy that support the experimental research in progress on those topics. The existence of a laboratory component associated with these techniques is a significant added value for the reinforcement of the skills in these techniques as included in the objectives of the course.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

A atividade letiva inclui aulas teórico-práticas e de laboratório. Nas aulas teórico-práticas é feita a exposição detalhada da matéria e são resolvidos problemas que focam os tópicos mais relevantes apresentados. As aulas de laboratório decorrem nas instalações do grupo do CeFEMA, Fluidos Complexos, NMR e Superfícies onde estão instalados os equipamentos necessários. A avaliação de conhecimentos inclui uma componente de avaliação contínua baseada nos relatórios dos trabalhos de laboratório realizados com um peso de 50% e a realização de um exame escrito no final do semestre com um peso de 50% da nota final.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The teaching activity includes theoretical-practical classes and laboratory sessions. In the theoretical-practical classes a detailed exposition of the subjects is made and illustrative problems are solved. The laboratory classes take place in CeFEMA's, Complex Fluids, NMR and Surfaces group facilities, where the equipment to be used in the laboratory work is installed. The grading includes a continuous grading component based on the reports from the laboratory work performed with a weight of 50% of the final grade and the completion of a written exam at the end of the semester with a weight of 50% of the final grade.

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

A metodologia de ensino inclui aulas teórico-práticas de exposição das matérias e resolução de problemas e aulas de laboratório onde os conhecimentos adquiridos são utilizados na análise e interpretação dos resultados experimentais obtidos. A estrutura de ensino da UC incluindo as vertentes teórica e de laboratório, é um fator importante no equilíbrio entre as competências de índole teórico e experimental que são adquiridas com a UC, promovendo os objetivos da UC. Esta estrutura complementar permite aprofundar o estudo dos sistemas em análise, constituindo um fator extra de promoção dos objetivos da UC. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará ao nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes percursos académicos.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodology includes theoretical-practical classes and laboratory classes where the acquired knowledge is used in the analysis and interpretation of experimental results. The course teaching structure including theoretical and laboratory aspects, is an important factor in balancing the skills of theoretical and experimental nature that are acquired with the course, promoting the course objectives. This complementary structure allows a deeper study of the systems under consideration, and constitutes an additional factor promoting the course objectives. The teaching methodologies will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Introduction to Liquid Crystals, Chemistry and Physics, P. J. Collings, Michael Hird, 1997, Taylor and Francis Ltd, 1997; Liquid Crystals, S. Chandrasekhar, 1992, Cambridge University Press, 1992.; The Physics of Liquid Crystals, P.G. de Gennes, J. Prost, 1993, Clarendon Press, Oxford, 1993.; Thermotropic Liquid Crystals, Fundamentals, G. Vertogen, W.H. de Jeu, 1988, Springer-Verlag, New York, 1988

Mapa X - Métodos Experimentais em Física de Partículas**6.2.1.1. Unidade curricular:**

Métodos Experimentais em Física de Partículas

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Sérgio Eduardo de Campos Costa Ramos (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Adquirir conhecimentos sobre temas avançados em Física Experimental de Partículas. Adquirir conhecimentos e prática sobre métodos de deteção, de análise e de simulação de dados em experiências de Física das Partículas.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

To acquire knowledge in advanced Experimental Particle Physics subjects. To acquire knowledge and skills concerning detection, analysis and simulation methods in Particle Physics experiments.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:**Estrutura do Nucleão:**

Difusão inelástica profunda. Electro e neutrino-produção. Funções de estrutura. Modelo dos quarks-partões. Regras de soma. Universalidade de $q(x)$. Regras de contagem. Os partões em QCD. Equação de evolução. Modelo dos partões e QCD na aniquilação e^+e^- . Cor. Razão R. Funções de fragmentação.

Detectores de Partículas:

Medição de posição: câmaras proporcionais multifios, de deriva, de projecção temporal, de microstrips de silício.

Medição de tempo: PM e PM multianódico; cintilador, guia de luz.

Medição de velocidade: tempo de voo; detectores Cherenkov (limiar, diferenciais, anel); detectores de rad. transição.

Medição de energia: calorímetros electromagéticos e hadrónicos. Medição de momento: magnetes deflectores-dipolo; solenoide; toroide. Espectrómetros. Associação de tipos de detecção: identificação de partículas. Métodos de calibração.

Aplicações: Experiências de Física de Partículas.

6.2.1.5. Syllabus:**Structure of the nucleon:**

Deep inelastic scattering. Electro- and neutrino-production. Structure functions. Quark-parton model. Sum rules.

Universality of $q(x)$. Counting rules. Partons in QCD. Altarelli-Parisi equation. Parton model and QCD in e^+e^- annihilation.

Colour. R ratio. Fragmentation functions.

Particle Physics Detectors:

Position measurement: multi-wire proportional chambers, drift chambers, time projection chambers, silicon microstrip chambers. Time measurement: photomultipliers, multianode photomultipliers; scintillators, light guides. Speed

measurement: time of flight; Cherenkov detectors: threshold, differential, ring; transition radiation detectors. Energy

measurement: electromagnetic and hadronic calorimeters. Momentum measurement: deflecting magnets – dipole;

solenoid, air and iron core toroid. Spectrometers, simple and double stage. Association of different detection types:

particle identification.

Applications: Study of Particle Physics experiments.

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

Esta unidade curricular tem como objetivo o aprofundamento dos métodos experimentais selecionados de acordo com o programa de doutoramento do estudante. A organização do programa em módulos possibilita plenamente a prossecução dos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

This course aims at deepening selected experimental methods according to the student's PhD program. The organization of the program in modules fully enables the achievement of the goals.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Esta cadeira tem uma componente lectiva clássica correspondente às matérias explicitadas, que pode ser seguida por uma componente experimental dependente do perfil do estudante. No final do semestre cada estudante faz uma apresentação oral com discussão sobre um tema seleccionado.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

This course has a classical teaching component corresponding to the mentioned subjects, which may be followed followed by an experimental component dependent on the student's profile. At the end of the semester, each student gives an oral presentation, with discussion, about a pre-selected theme

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

Dada a sua especificidade, esta cadeira exige um acompanhamento individual dos alunos, pelo que um seguimento semi-tutorial se afigura como o mais adequado. A avaliação enquadra-se no contexto deste ensino.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

Due to its specificity, this course requires an individual monitoring of students, thus we consider that a semi-tutorial follow-up is the most appropriate. The evaluation fits into the context of this teaching.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

- *Textos de Apoio sobre Estrutura do Nucleão e sobre Detectores, S.Ramos, 2007/2015*
- *Quarks and Leptons, F.Halzen e A.D.Martin*
- *An Introduction to Quarks and Partons, F.Close*
- *Experimental Techniques in High Energy Physics, Th. Ferbel et al.*

- *Particle detectors, C. Grupen*
- *Experimentation - An Introduction to Measurement Theory and Experiment, D.C. Baird*

Mapa X - Tecnologias Quânticas da Informação

6.2.1.1. Unidade curricular:

Tecnologias Quânticas da Informação

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Yasser Rashid Revez Omar (56.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Esta cadeira tem por objectivo oferecer aos alunos uma introdução tão completa quanto possível à investigação actual em informação quântica experimental e nas respectivas tecnologias associadas. É constituída por uma série de aulas dadas por oradores convidados, especialistas a nível internacional e pioneiros nestes tópicos.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

This course aims at offering graduate students a comprehensive introduction to the current research in experimental quantum information and the related technologies. It relies on a series of invited lectures by top-level experts and pioneers in their respective areas of activity.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

- *Introdução às Tecnologias Quânticas da Informação*
- *Chips atómicos*
- *Electrodinâmica Quântica em Cavidades*
- *Controlo e Análise de Sistemas Biológicos com Óptica Ultra-rápida*
- *D-Wave, a Empresa de Computação Quântica*
- *Circuitos Integrados Fotónicos*
- *Iões Confinados em Cavidades*
- *Nanofotónica Molecular*
- *Devices Quânticos*
- *Entrelaçamento Quântico em Experiências Espaciais*
- *Opto-mecânica Quântica*
- *Aplicações dos Diamantes para as Tecnologias Quânticas*

Para mais detalhes, ver:

<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/disciplinas/TQI/2014-2015/1-semester/planeamento>

<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/disciplinas/TQI-2/2015-2016/1-semester/planeamento>

6.2.1.5. Syllabus:

- *Introduction to Quantum Information Technologies*
- *Atom Chips*
- *Cavity Quantum Electrodynamics*
- *Control and Probing of Biological Systems by Ultrafast Optics*
- *D-Wave, The Quantum Computing Company*
- *Integrated Photonic Circuits*
- *Ion Traps*
- *Molecular nanophotonics*
- *Quantum Devices*
- *Quantum Entanglement in Space Experiments*
- *Quantum Opto-mechanics*
- *Applications of Diamonds for Quantum Technologies*

For more details, see:

<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/disciplinas/TQI/2014-2015/1-semester/planeamento>

<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/disciplinas/TQI-2/2015-2016/1-semester/planeamento>

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

curricular.

Esta é uma unidade curricular única a nível internacional, cobrindo de forma completa os vários tópicos e abordagens experimentais às Tecnologias Quânticas da Informação, com aulas convidadas dadas por alguns dos maiores especialistas mundiais na sua respectiva área. A qualidade e originalidade desta unidade curricular foi reconhecida pelo projecto europeu QUTE-EUROPE – Quantum Technologies for Europe, que financiou a gravação e publicação dos vídeos das aulas, disponíveis em: <https://www.youtube.com/channel/UCXle0qj5QHhNTBNISGKA8vw/videos>

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

This is a unique course at international level, covering in a comprehensive way the different topics and experimental approaches to Quantum Information Technologies, with guest lectures delivered by some of the world leaders in their respective domains. The quality and originality of the course has been recognized by the European project QUTE-EUROPE – Quantum Technologies for Europe, that financed the video recording and publication of the lectures, available at: <https://www.youtube.com/channel/UCXle0qj5QHhNTBNISGKA8vw/videos>

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Participação nas aulas + apresentação individual e discussão de um (ou vários) artigo(s) sobre um dos tópicos das aulas.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Class participation + individual presentation and discussion of one (or several) article(s) on one of the topics covered in the classes.

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

Tratando-se de uma unidade curricular que pretende expor os alunos às técnicas experimentais e tecnologias utilizadas na investigação e aplicações industriais da Informação Quântica, a avaliação baseia-se na participação activa dos alunos nas aulas e respectivas discussões, assim como numa apresentação individual de um artigo científico recente sobre um dos tópicos cobertos nas aulas, incluindo a discussão da abordagem experimental utilizada.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

This being a course that aims at exposing the students to the experimental techniques and technologies used in the research and industrial application of Quantum Information, the assessment is based on the active participation of the students in the classes and corresponding discussions, as well as on a individual presentation of a recent scientific article about one of the topics covered in the classes, including a discussion of the experimental approach used.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

- *Quantum Information, Computation and Communication, J. Jones, D. Jaksch, 2012, Cambridge University Press.*
- *Quantum Computation and Quantum Information, M. Nielsen, I. Chuang, 2011, Cambridge University Press.*

Mapa X - Física dos Estados Extremos da Matéria**6.2.1.1. Unidade curricular:**

Física dos Estados Extremos da Matéria

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Luís Silva (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

O objectivo da disciplina de Física dos Estados Extremos da Matéria é introduzir alguns dos problemas centrais da física dos plasmas em domínios associados a condições extremas de pressão, temperatura e densidade. No final desta cadeira os alunos terão uma visão abrangente deste domínio em rápida expansão e conseguirão identificar as técnicas teóricas, numéricas e experimentais mais comuns neste domínio.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

The main objective of the course is to give students an overlook of some of the central problems in the plasma physics of scenarios associated with extreme conditions of pressure, temperature and density. Upon completion of this course,

students will have a broad view of this field of research and will be able to identify the more common theoretical, numerical, and experimental techniques relevant for this scenarios involving extreme states of matter.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

Condições extremas de pressão, densidade e temperatura são comuns em cenários astrofísicos violentos e podem ser reproduzidos em laboratório. Nesta disciplina são introduzidos alguns dos desenvolvimentos mais recentes neste domínio, expondo assim os discentes a alguns dos aspectos mais inovadores.

A disciplina organiza-se em três módulos:

I. Física Fundamental com Lasers

I.1 Polarização do vácuo e óptica não linear do vazio

I.2 Testes de física fundamental com lasers

II. Hot dense matter

II.1 Introdução à física atómica da hot dense matter

II.2 Fenómenos radiativos em hot dense matter

II.3 Lasers de raios-X

III. Astrofísica dos plasmas e de laboratório

III.1 Estruturas não lineares em plasmas astrofísicos

III.2 Choques e aceleração de partículas

III.3 Campos magnéticos em astrofísica

III.4 Leis de escala em astrofísica, teoria da semelhança e experiências de astrofísica laboratorial

6.2.1.5. Syllabus:

Extreme conditions of pressure, density and temperature are common in astrophysical scenarios and can now be reproduced in the laboratory. In this course, an introduction to the most recent developments in this field will be given, thus exposing the students to some of the most innovative aspects in this research domain in a unified perspective.

The course is organized in three sections:

I. Fundamental physics with lasers

I.1 Vacuum polarization and nonlinear optics of the vacuum

I.2 Tests of fundamental physics with lasers

II. Hot dense matter

II.1 Introduction to the atomic physics of hot dense matter

II.2 Radiative processes in hot dense matter

II.3 X-ray lasers

III. Plasma astrophysics and laboratory astrophysics

III.1 Nonlinear structures in astrophysical plasmas

III.2 Shocks and particle acceleration

III.3 Magnetic fields in astrophysics

III.4 Scaling laws in astrophysics, similarity theory and laboratory astrophysics

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Trabalho escrito sobre tema no âmbito da disciplina

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Written essay/ presentation on a topic of this course.

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva

de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Física dos Estados Extremos da Matéria , Luís O. Silva, 2006, Notas do docente preparadas para a disciplina e slides das apresentações

Mapa X - Física dos Cristais Líquidos

6.2.1.1. Unidade curricular:

Física dos Cristais Líquidos

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

João Figueirinhas (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

A cadeira de Física dos Cristais Líquidos (CL) tem objetivos formativos que se centram na transmissão de conhecimentos científicos e tecnológicos relativos aos CLs incluindo também biomateriais e polímeros. Pretende-se aprofundar o domínio pelos alunos de conceitos físicos centrais para estes sistemas incluindo as teorias estatísticas das mesofases, a elasticidade de orientação, a ótica dos meios anisótropos, os defeitos no campo do diretor, a mecânica dos fluidos anisótropos, e a dinâmica e ordem moleculares. Pretende-se utilizar estes conceitos para desenvolver o conhecimento sobre as diferentes tecnologias de mostradores a CLs. Os objetivos incluem também o aprofundamento do conhecimento sobre as técnicas experimentais usadas com mais regularidade no estudo dos CLs que incluem a microscopia ótica polarizante, a eletro-ótica, a difração de raios X e a ressonância magnética nuclear (RMN).

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

The course on physics of Liquid Crystals (LCs) has formative objectives that focus on the transmission of scientific and technological knowledge about the LCs including also biomaterials and polymers. It is intended to deepen the domain by the students of central physical concepts for these systems including the statistic theories of the mesophases, the optics of anisotropic media, defects in the director field, the mechanics of anisotropic fluids and the molecular order and dynamics. It is intended to use these concepts to develop the students' knowledge on the different display technologies based on LCs. The objectives also include the deepening of knowledge about the experimental techniques used more regularly in the study of LCs including polarizing light microscopy, electro-optics, the X-ray diffraction and nuclear magnetic resonance.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

*Introdução, CL liotrópicos e termotrópicos. Estados mesomorfos-mesofases. Fases nemáticas e esmécticas não quirais e quirais. Ordem molecular e parâmetro de ordem. Elasticidade de orientação. Texturas e defeitos. Nemato-dinâmica. Dispositivos eletro-óticos; Células óticas TN e PDLC. Difração dos raios X em CLs; Lei de Bragg, redes cristalina e recíproca, figuras de difração nas fases N e SmA e SmC. RMN em CLs; Equações de Bloch, tempos de relaxação T1 e T2, espectros de RMN do protão/deutério, movimentos moleculares e mecanismos de relaxação. Trabalhos de laboratório
Caracterização de CL por microscopia ótica polarizante. Análise de texturas e temperaturas de transição, identificação de mesofases.
Preparação e teste de células óticas TN e PDLC.
Medição de índices de refração em CLs com refractómetro de Abbe.
Obtenção e análise de espectros de RMN e medidas de T1 do protão nas fases N e SmA.*

6.2.1.5. Syllabus:

Introduction, lyotropic and thermotropic LCs. Mesomorphic states-mesophases.

Non-chiral and chiral nematic and smectic phases. Molecular order and the order parameter. Orientational elasticity. Nemato-dynamics. Electro-optical devices; TN and PDLC optical cells. X-ray diffraction in LCs; Bragg's law, crystal lattice and reciprocal lattice, diffraction figures in the N and SmA phases.

Nuclear Magnetic Resonance in LCs; Bloch equations, relaxation times T1 and T2, proton/deuterium NMR spectra, molecular movements and relaxation mechanisms.

Laboratory work

Characterization of LCs by polarizing optical microscopy. Analysis of textures and phase transition temperatures, identification of mesophases.

Preparation and test of TN and PDLC optical cells.

Measurement of refraction indices in LCs with Abbe's refractometer.

Recording and analysis of NMR spectra and proton T1 data in the N and SmA phases.

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

A unidade curricular (UC) tem como objetivos a introdução aos CLs focada nas vertentes do seu comportamento físico e componente tecnológica, abrangendo a análise teórica e o estudo experimental. O programa da UC é composto por quatro capítulos que incluem uma introdução aos CLs, uma análise detalhada das mesofases mais comuns, dos tópicos mais importantes da física destes sistemas e das células óticas suporte da tecnologia de mostradores a CLs mais usadas. Os dois capítulos finais expõem a difração de raios X e a ressonância magnética nuclear aplicadas ao estudo dos CLs. O programa proporciona uma introdução ao comportamento físico destes sistemas, às suas aplicações tecnológicas mais relevantes e a duas técnicas experimentais muito usadas no seu estudo, criando as condições para o cumprimento dos objetivos estabelecidos para a UC.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The course aims to introduce the LCs focused on aspects of their physical behaviour and technological component, covering the theoretical analysis and the experimental study. The course program consists of four chapters including an introduction to the LCs, a detailed analysis of the most common mesophases, the most important topics of the physics of these systems and the optical cells supporting the most used LCs' display technologies. The final two chapters expose the X-ray diffraction and the nuclear magnetic resonance experimental techniques applied to the study of LCs. The program provides an introduction to the physical behaviour of LCs, their most relevant technological applications and two experimental techniques very often used in their study, creating in this way the conditions for the achievement of the goals set for the course.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

A atividade letiva inclui aulas teórico-práticas e de laboratório. As aulas teórico-práticas são dedicadas à exposição das matéria e à resolução de problemas de ilustração onde são desenvolvidos os tópicos mais importantes. Os trabalhos de laboratório decorrem nas instalações do grupo do CeFEMA, Fluidos Complexos, NMR e Superfícies onde estão instalados os equipamentos necessários. A avaliação inclui um exame final sobre a parte teórica do curso (50%) e uma componente de avaliação contínua (AVC) associada a trabalhos de laboratório (50%). A componente AVC resultará da apreciação dos relatórios, da apresentação oral dos trabalhos e do desempenho dos alunos. Serão tidos em conta os seguintes aspetos: i) aquisição e compreensão dos conhecimentos; ii) síntese e aplicação dos conhecimentos; iii) participação e organização dos trabalhos.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The teaching activity includes theoretical-practical classes and laboratory classes. The theoretical-practical classes are devoted to the presentation of the subjects and the resolution of problems where the most important topics are developed. The laboratory work takes place on the premises of the CeFEMA group, Complex Fluids, NMR and surfaces where the necessary equipment is installed. The evaluation includes a final exam on the theoretical part of the course (50%). A continuous assessment component (CAC) associated with the laboratory work (50%). The CAC component is composed of the grade from the reports, the oral presentation of the work and the student achievements. The following aspects will be considered: i) the acquisition of knowledge and understanding; ii) synthesis and application of knowledge; iii) participation and organization of work.

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

A metodologia de ensino inclui aulas teórico-práticas de exposição das matérias e resolução de problemas e aulas de laboratório. A presença das vertentes teórico-prática e de laboratório na estrutura de ensino da UC é um fator que permite obter um equilíbrio entre as competências de carácter teórico e de carácter experimental que são adquiridas com a UC, promovendo as condições que permitem atingir dos objetivos da UC. Esta estrutura origina também uma complementaridade que permite aprofundar o estudo dos sistemas em análise, constituindo este fato um fator adicional de promoção das condições para o alcançar dos objetivos da UC. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes origens e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodology includes theoretical-practical classes for subject presentation and problem solving and laboratory classes. The presence of the theoretical and practical aspects and laboratory in the teaching structure of the course is a factor which gives a balance between the skills of a theoretical character and those of a experimental character that are acquired with the course, promoting the conditions for achieving the goals of the course. This structure also creates a complementarity enabling a deeper study of the systems in question, this fact constituting an additional factor of promoting the conditions for achieving the course objectives. This approach will not only meet the objectives as also assist in the levelling of knowledge of students with different backgrounds and training.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Liquid Crystals, S. Chandrasekhar, 1992, Cambridge University Press, Cambridge; The Physics of Liquid Crystals, 2nd Edition, P.G. de Gennes and J. Prost, 1993, Oxford University Press; Principles of Nuclear Magnetism, A. Abragam, 1961, Oxford Science Publications; Pulse, Fourier Transform NMR, Pulse, Fourier Transform NMR, T. C. Farrar, E. D. Becker, 1971, Academic Press New York London;

Mapa X - Tópicos Avançados em Física dos Plasmas, Fusão Nuclear e Lasers

6.2.1.1. Unidade curricular:

Tópicos Avançados em Física dos Plasmas, Fusão Nuclear e Lasers

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Luís Alves (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Esta unidade curricular ministra formação avançada em ciência e engenharia dos plasmas, conduzindo os alunos até às fronteiras do conhecimento actual nos tópicos mais importantes da área científica de Física dos Plasmas, Fusão Nuclear e Lasers.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

This course provides advanced training in plasma science and engineering, leading the students to the frontiers of knowledge in the most important topics of the scientific area of Plasma Physics, Nuclear Fusion and Lasers.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

*Ciência e engenharia dos plasmas frios
Ciência e engenharia dos plasmas de fusão magnética
Física dos plasmas de alta densidade de energia
Plasmas espaciais e astrofísicos*

6.2.1.5. Syllabus:

*Low-temperature plasma science and engineering
Plasma science and engineering of magnetic fusion
Plasma physics at high energy density
Space and astrophysical plasmas*

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Prova oral baseada na discussão de um Trabalho Final individual; este traduzirá o estudo de um problema específico

inserido num conjunto de temas propostos.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Oral examination based on a discussion of an individual Final Report, focusing on a specific theme to be agreed among several proposed.

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Plasma Physics (Volumes 1 and 2), Jean-Loup Delcroix, 1965 / 1968, J. Wiley; High-Energy-Density Physics: Fundamentals, Inertial Fusion, and Experimental Astrophysics, R. Paul Drake, 2006, Springer; Basic Space Plasma Physics, R.A. Treumann and W. Baumjohann, 1996, Imperial College Press; Plasma Physics and Fusion Energy, J. P. Freidberg, 2008, Cambridge University Press

Mapa X - Métodos de Física Nuclear em Ciência e Tecnologia

6.2.1.1. Unidade curricular:

Métodos de Física Nuclear em Ciência e Tecnologia

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

José Pedro Miragaia Trancoso Vaz (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Estudo aprofundado das interações das partículas com a matéria e dos mecanismos de transferência e de deposição de energia num material. Estudo de aplicações de feixes de partículas, fontes radioactivas e campos de radiação em múltiplos domínios científicos e tecnológicos. Introdução aos métodos (determinísticos e de Monte Carlo) de simulação do transporte de partículas (electrões, fotões, neutrões, prótons e iões) em sistemas tecnológicos consistindo de equipamentos ou infraestruturas envolvendo a utilização de feixes de partículas e fontes de radiação. Familiarização com o estado da arte computacional e com as bibliotecas de dados utilizadas para simular e resolver problemas associados às aplicações tecnológicas das radiações. Análise e resolução de problemas típicos e de "case studies" envolvendo cálculos de Dosimetria e Blindagem de Radiações e em Protecção Radiológica.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

In-depth study of the interactions of particles with matter and the mechanisms of energy transfer and deposition in materials. Study of the applications of particle beams, radioactive sources and radiation fields in multiple scientific and technological domains. Introduction to the deterministic and Monte Carlo methods to perform particle (electron, photon, neutron, proton and ion) transport simulation in technological systems consisting of equipments and infrastructures involving the utilization of particle beams and radiation sources. Getting acquainted with the state-of-the-art in computational methods, tools and data libraries used to simulate and solve problems associated to the technological applications of radiations. Analysis and resolution of typical problems and case studies involving calculations of relevance for Radiation Dosimetry, Shielding and Radiation Protection.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

Interação da radiação com a matéria. Energia transferida e absorvida. Coeficientes de atenuação. "Buildup factors". "Stopping power". "Multiple scattering". Neutrões: dispersão elástica, inelástica, captura e fissão. Reacções (n,p) e (n,alpha). Espalação. Simulação do transporte de partículas. Métodos determinísticos. Equação de Boltzmann de transporte de neutrões. Métodos de Monte Carlo. Técnicas de redução de variância.

Cadeias de desintegração. Equações de Bateman.

Grandezas dosimétricas. KERMA. Dose absorvida. Dose Equivalente. Dose Efectiva. Factores de ponderação das radiações (w_R) e tecidulares (w_T). Factores de conversão. Cálculos de radiotoxicidade.

Radiação, Risco e Protecção Radiológica. Recomendações do ICRP. Justificação. Optimização. ALARA. Tipos de exposição. Limites de Dose.

Aplicações tecnológicas das radiações.

Aplicações das radiações em Medicina e Biologia.

6.2.1.5. Syllabus:

Interaction of radiation with matter. Transferred and absorbed energy. Attenuation coefficients. Buildup factors.

Stopping power. Multiple scattering. Neutrons: elastic and inelastic scattering, capture and fission. (n,p) and (n,α) reactions. Spallation.

Particle transport simulation. Deterministic methods, Boltzmann neutron transport equation. Monte Carlo simulation methods. Variance reduction techniques.

Disintegration chains. Bateman equations.

Dosimetric and radiometric quantities. KERMA. Absorbed dose. Equivalent dose. Effective dose. Radiation (w_R) and tissue (w_T) weighting factors. Conversion coefficients. Radiotoxicity calculations.

Radiation, risk and Radiation Protection. ICRP recommendations. Justification. Optimization. ALARA. Types of exposure. Dose limits.

Technological applications of radiations.

Applications of radiations in Medicine and Biology.

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

Nesta Unidade Curricular, serão abordados os tópicos anteriormente referidos, do ponto de vista teórico mas com uma forte componente computacional. Serão discutidos e analisados “case studies” específicos dos diversos tipos de aplicações das radiações ionizantes em diversos domínios científicos e tecnológicos.

Os estudantes desenvolverão novas aptidões e competências e familiarizar-se-ão com o estado da arte dos utensílios computacionais e com equipamentos e infraestruturas utilizando radiações ionizantes.

A consciencialização dos estudantes será significativamente incrementada relativamente a aspectos de Protecção e Segurança Radiológica imprescindíveis para a manipulação e utilização segura de feixes de partículas, fontes de radiação e materiais radioactivos em múltiplos setores científicos e tecnológicos e nas aplicações médicas e industriais de radionuclídeos e radiofármacos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

In this Curricular Unit, the aforementioned topics will be addressed, from the theoretical point of view but also with a strong computational. Case studies specific of the several types of applications of ionizing radiation in multiple fields of Science and Technology will be discussed and analysed.

Students will acquire new skills and competences and will get acquainted with state-of-the-art computational tools and with equipment and infrastructures using ionizing radiations.

The students' awareness will be significantly incremented about Radiation Protection and Safety issues of paramount importance for the safe utilization of particle beams, radiation sources and radioactive materials in multiple sectors of Science and Technology and in the medical and industrial utilizations of radionuclides and radiopharmaceuticals.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Aulas teóricas serão complementadas por aulas práticas e computacionais com apresentação e discussão de “case studies”.

A avaliação final será obtida por trabalhos intercalares (factor de ponderação 30%) e um trabalho final (factor de ponderação de 70%).

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Theory classes will be complemented by practical and computational classes with the presentation and discussion of case studies.

The final assessment will be obtained by intermediate works (weighting factor 30%) and a final work (weighting factor 70%).

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

A compreensão das aplicações das radiações ionizantes em múltiplos sectores de Ciência e Tecnologia, em Medicina, na Indústria e outros sectores de actividade, requer robustos conhecimentos e o estudo aprofundado dos processos e mecanismos de interacção da radiação com a matéria.

A caracterização dosimétrica de práticas que utilizam radiações ionizantes e a quantificação e avaliação, do ponto de vista da dose e do risco radiológico associado, das exposições de profissionais, pacientes (no caso das aplicações médicas) e membros do público requer a observância dos princípios fundamentais do Sistema Internacional de

Proteção Radiológica mas também a familiarização com a operação de equipamentos produtores de radiação e com a manipulação de radionuclídeos e radiofármacos.

O ensino teórico dos conceitos fundamentais é complementado por uma robusta componente prática e computacional e pela análise discussão prática de “case studies”.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

Understanding the applications of ionizing radiation in multiple sectors of Science and Technology, in Medicine, in Industry and in other sectors of activity, requires robust knowledge and in-depth study of the processes and mechanisms of interaction of radiation with matter.

The dosimetric characterization of the practices using ionizing radiation and the quantification and assessment, from the point of view of dose and associated radiological risk, of the exposures of workers, patients (in the medical applications) and members of the public, requires compliance to the fundamental principles of the International System of Radiological Protection but also to get acquainted with the operation of radiation producing equipments and the manipulation of radionuclides and radiopharmaceuticals.

In this Curricular Unit, the fundamental concepts taught in theory classes are complemented by a robust practical and computational component and by the analysis and discussion of “case studies”.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

- James E. Turner, “Atoms, Radiation, and Radiation Protection” (3rd edition), WILEY-VCH Verlag GmbH & Co (2007).
- Frank Herbert Attix, “Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry”, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. (2004).
- Jacob Shapiro, “Radiation Protection: A Guide for Scientists, Regulators and Physicians” (4th edition), Harvard University Press (2002)
- A Primer for the Monte Carlo Method: I.M. Sobol 1994 CRC Press, (1994)
- Monte Carlo Methods, Volume I: Basics: M.H. Kalos and P.A. Whitlock 1986 Wiley Interscience (1986)

Mapa X - Complementos de Descargas em Gases

6.2.1.1. Unidade curricular:

Complementos de Descargas em Gases

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Mário Pinheiro (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Compreensão dos processos de transporte das partículas electricamente carregadas e dos neutros num plasma, factor de importância fundamental para melhor controle e optimização dos reactores a plasma industriais. Descrição da física e tecnologia de descargas eléctricas DC e RF usadas em muitas aplicações industriais dos plasmas. Aplicação do método Monte Carlo na determinação da distribuição de eventos de excitação/ionização/attachment por impacto electrónico para uma dada configuração do campo eléctrico e/ou magnético. Análise do fenómeno do aprisionamento dos electrões e inversão do campo eléctrico na descarga luminescente. Estudo do dispositivo OAUGDP (One Atmosphere Uniform Gas Discharge Plasma) como propulsor a plasma e seu desempenho como actuador a plasma. Estudo descritivo de outros modos de propulsão electromagnética.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

To understand the processes of transport of charged and neutral particles in plasmas, which are of fundamental importance for better control and optimisation of industrial plasma reactors. Description of the physics and technology of electric DC and RF discharges with use in many industrial applications of plasmas. Application of the Monte Carlo simulation method to determine event distribution, like excitation/ionisation/attachment processes by electronic impact for one given configuration of the electric and/or magnetic field. To study the electrons trapping phenomena and related electric field reversals in glow discharges. Application of the One Atmosphere Uniform Glow Discharge Plasma for plasma propulsion purposes and as a plasma actuator. Survey of important electromagnetic propulsion systems.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

Mecânica dos fluidos. Descargas RF. Equação de Boltzmann para os electrões na aproximação hidrodinâmica. Método Monte Carlo. Descrição de alguns modelos híbridos do tipo fluido-Monte Carlo. Descrição fenomenológica da estrutura de uma descarga luminescente. Mecanismo físico do aprisionamento dos electrões e inversão do campo eléctrico.

Atuadores a plasma.

6.2.1.5. Syllabus:

Fluid mechanics. RF discharges. Study of some hybrid models of the type fluid-Monte Carlo known in the literature. Phenomenological description of the glow discharge structure. Experimental observation of electric field reversals. Electrons trapping physical mechanism and the related electric field reversal. Study of some theoretical models referentiated in the technical literature: i) non-local kinetic model by Tsendin and Kolobov; ii) fluid type model by Boeuf and Pitchford; iii) dielectric-like model for electric field reversals. Analytic determination of the localization of the field reversal, electrons and ions densities at this point, width of the potential well trapping slow electrons, average lifetime of the trapped electrons. Application of dielectric barrier discharges as electromagnetic propulsion devices and their role as plasma actuator.

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Trabalho a realizar ao longo do semestre, entre os quais referimos: 1) Baseado no método das diferenças finitas, obter soluções da ECB para misturas de O₂-vapor de água para uso possível em modelo de arco eléctrico destinado a despoluição atmosférica; 2) Escrever um programa de simulação da cinética dos electrões no Ar em geometria plana com dois eléctrodos paralelos sujeitos a um campo eléctrico; 3) Configurações optimizadas eléctrodo-dieléctrico do dispositivo OAUGDP para propulsão EM.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

One problem will be assigned to each student. These include: 1) Using finite difference methods to obtain solutions to the stationary homogeneous Boltzmann equations for electrons in a O₂-water vapour mixture, to model an arc electrical discharge for atmospheric decontamination purpose; 2) Determination of the exact position of the electric field reversal assuming the drift-diffusion approximation; 3) Electrode-dielectric optimal configurations in a OAUGDP device for electromagnetic propulsion.

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

R. E. Robson, R. D. White, Z. Lj. Petrovic, 2005, Reviews of Modern Physics, v. 77 (October 2005 issue); Gas Discharges Physics, Y. P. Raizer, 1987, Springer, Berlin, 1987; Radio-Frequency capacitive discharges, Yuri P. Raizer, Mikhail N. Shneider, Nikolai A. Yatsenko, 1995, CRC Press, Boca Raton, 1995; Numerical heat transfer and fluid flow, S. V. Patankar, 1980, Taylor & Francis, New York, 1980; Estudo da cinética dos electrões e das moléculas vibracionalmente excitadas em descargas luminescentes de azoto a baixas pressões, Jorge Loureiro, 1987, Tese de Doutoramento, IST, Lisboa, 1987; Applications to Nonthermal Plasma Processing, J. Reece Roth, 2001, Industrial Plasma Engineering, Vol. 2, IOP, Bristol, 2001; Electron trapping by electric field reversal and Fermi mechanism, Mario J. Pinheiro, 2004, Phys. Rev. E 70 056409 (2004); EHD ponderomotive forces and aerodynamic flow control using plasma actuators, Mario J. Pinheiro, 2006, Plasma Process. Polym. 3 135-141 (2006)

Mapa X - Física da Interação Laser-Plasma

6.2.1.1. Unidade curricular:*Física da Interação Laser-Plasma***6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):***Luís Silva (0.00)***6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:***não aplicável***6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):***O objectivo da disciplina de Física da Interação Laser-Plasma é introduzir os conceitos fundamentais da interação da radiação electromagnética intensa com plasmas. No final desta cadeira os alunos serão capazes de estimar a importância dos fenómenos não lineares mais importantes associados à interação da luz com plasmas e o seu papel na fusão inercial rápida e nos aceleradores a plasma, assim como identificar os problemas de fronteira que se colocam neste domínio.***6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:***The main objective of the course is to give students the fundamental concepts of laser-plasma interactions. Upon completion of this course, students will be able to assess the relevance of the nonlinear phenomena associated with the propagation of light in plasmas and their role in fast ignitor scenarios or laser-plasma accelerators, as well as to identify the frontier problems in this field of research.***6.2.1.5. Conteúdos programáticos:***O advento de lasers intensos abriu portas para fenómenos fortemente não lineares associados à interação da luz com a matéria, em que os efeitos relativistas têm um papel fundamental. Serão introduzidos os princípios da interação da luz com a matéria**A disciplina organiza-se em quatro módulos:**I. Interação Não Linear de Ondas Electromagnéticas com Plasmas**I.1 Propagação linear de ondas electromagnéticas em Plasmas**I.2 Instabilidades paramétricas**I.3 Força Ponderomotriz**I.4 Scattering estimulado de Raman**I.5 Scattering estimulado de Brillouin**II. Óptica Não Linear Relativista**III. Aceleradores a Plasma**III.1 Interação de impulsos laser com plasmas underdense**III.2 Aceleração de partículas em ondas relativistas**IV. Fusão Inercial Rápida**IV.1 Interação de impulsos laser com plasmas overdense**IV.1.1 Fundamentos da Fusão inercial rápida***6.2.1.5. Syllabus:***Intense lasers have opened the way to the study of nonlinear phenomena driven by light waves in plasmas, where relativistic effects play an important role. In this course, the basic principles of light-matter interaction will be discussed, also giving the students the opportunity to contact with frontier problems.**The course is organized in four sections:**I. Nonlinear interaction of electromagnetic waves with plasmas**I.1 Linear propagation of light in plasmas**I.2 Parametric instabilities**I.3 Ponderomotive force**I.4 Stimulated Raman Scattering**I.5 Stimulated Brillouin Scattering**II. Relativistic nonlinear optics**III. Plasma based accelerators**III.1 Interaction of short laser pulses with underdense plasmas**III.2 Particle acceleration in relativistic electron plasma waves**IV. Fast ignition of fusion targets**IV.1 Interaction of laser pulses with overdense plasmas**IV.1.1 Phenomenology of the fast ignitor concept*

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Relatório de referee de um artigo clássico deste domínio de investigação

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Referee report for one of the classic papers in laser-plasma interactions.

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

The Physics of Laser-Plasma Interactions , W. Kruer, 2003, Westview Press Inc.,U.S., 2003; The Physics of the Nonlinear Optics of Plasmas at Relativistic Intensities, W. B. Mori , 1997, IEEE Journal of Quantum Electronics 33, 1942 ? 1953 (1997)

Mapa X - Métodos de Diagnóstico de Plasmas

6.2.1.1. Unidade curricular:

Métodos de Diagnóstico de Plasmas

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Carlos Silva (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

Luís Paulo da Mota Capitão Lemos Alves (0.00)

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Ensino de técnicas de diagnóstico e deteção usadas em Física Experimental de Plasmas.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Education and training on the diagnostic and detection techniques used in plasma experimental physics.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

Conceitos básicos e montagens experimentais típicas dos seguintes métodos de diagnóstico e deteção:

-Sondas eléctricas e magnéticas.

-Interferometria

-Reflectometria.

-Analisador da deflexão de um feixe iónico.

- Espectroscopia**
- Espalhamento de Thomson**

6.2.1.5. Syllabus:

Basic concepts and typical experimental set-ups of the following diagnostic and detection techniques:

- Electric and magnetic probes*
- Interferometry*
- Reflectometry*
- Heavy ion beam analyzer*
- Spectroscopy*
- Thomson scattering*

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Discussão oral dos relatórios dos trabalhos laboratoriais

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Oral discussion of the reports of the laboratorial works

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Métodos Experimentais em Física de Plasmas, Carlos Varandas e Horácio Fernandes, 2002, CFN, 2002; Principles of Plasma Diagnostics, I.H. Hutchinson, 1987, Cambridge University Press 1987

Mapa X - Laboratório de Astrofísica

6.2.1.1. Unidade curricular:

Laboratório de Astrofísica

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Ilídio Lopes (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

A existência de projectos no âmbito do ESO e ESA e colaborações internacionais envolvendo várias Universidades

européias torna

fundamental familiarizar os estudantes com as ferramentas básicas de trabalho que lhes permitirão participar em projectos nas áreas de

astrofísica e cosmologia . Os objectivos da disciplina são: familiarizar os alunos com os conceitos básicos em astronomia e

cosmologia e as técnicas de detecção, redução e análise de dados de astronomia e cosmologia observacional.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

The future of European institutions such as ESA and ESA and the expected increase in the collaborations between European universities requires experts in data reduction, analysis and simulations in the fields of astrophysics and cosmology. The main goals of the Astrolab are: introduce the students to the basic concepts of astronomy and cosmology and to the basic techniques of detection, data reduction and data analysis in astronomy and observational cosmology.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

I O nosso Universo - breve introdução ao modelo padrão da Cosmologia O Universo em expansão. Escalas em Cosmologia - a constante de Hubble. História térmica do Universo. Os vários constituintes do Universo. As experiências do século XXI.

II Introdução aos conceitos, técnicas e métodos da Astrofísica Observacional. A natureza quântica da luz e detectores. Características dos telescópios. CCDs. Métodos estatísticos e redução de dados. Noções de fotometria. Diagramas HR.

III Radiação Cósmica de Fundo (RCF) Radiação do corpo negro. Anisotropias na temperatura da RCF e sua distribuição estatística. A experiência WMAP. Deconvolução da RCF em transformadas de Fourier - o "power spectrum". Simulações de Monte-Carlo.

Perturbações cosmológicas: um exemplo prático - a evolução da matéria escura. A RCF e os parâmetros cosmológicos. Extracção de parâmetros cosmológicos: "Bayesian analysis".

6.2.1.5. Syllabus:

I Our Universe - brief introduction to the standard model of Cosmology The expanding Universe. Scales in Cosmology - the Hubble constant. Thermal history of the Universe. The Universe basic components. The experiments of the XXI century.

II Introduction to the concepts, techniques and methods in Observational Astrophysics. Astronomical units. The quantum nature of light and detectors. Telescopes and detectors: CCDs. Statistical methods and data reduction. Photometry. HR diagrams.

III Cosmic Microwave Background (CMB)

Blackbody Radiation. CMB temperature anisotropies and its statistical distribution. The WMAP experiment. Fourier Transforms of the CMB - the power spectrum. Monte-Carlo simulations. Cosmological perturbations: an example - the evolution of dark matter. The CMB and the cosmological parameters. Determination of the cosmological parameters. Bayesian analysis.

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

Os conteúdos programáticos são os necessários no âmbito da unidade curricular para os estudantes desenvolverem as competências correspondentes aos objectivos curriculares estabelecidos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Os alunos realizam três trabalhos e elaboram relatórios. A nota final é a média das notas obtidas nos trabalhos. No trabalho de astronomia usa-se o telescópio Celestron 14" no IgeoE, em Lisboa.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Students are given 3 projects. The final classification is the average of the classification obtained in each project. The project in astronomy uses the telescope Celestron C14" at the IGeoE, Lisbon.

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Observational Astrophysics, P. Lena, 1988, Springer-Verlag; Introductory Astronomy and Astrophysics, 4th edition, M. Zeilik and S. A. Gregory, 1999, Saunders College Publishing; Astronomical Photometry - A guide, Sterken and J. Manfroid, 1992, Kluwer Academic Publishers, Netherlands; A Practical Guide to CCD Astronomy, M. Zeilik and S. A. Gregory, 1998, Cambridge University Press; Cosmological Inflation and Large-Scale Structure, Andrew R. Liddle, David H. Lyth, 2000, Cambridge University Press; Theoretical Astrophysics, Volume III: Galaxies and Cosmology, T. Padmanabhan, 2002, Cambridge University Press.

Mapa X - Teoria de Campo**6.2.1.1. Unidade curricular:**

Teoria de Campo

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Como opção a UC não funcionou no semestre considerado, Jorge Romão (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Introduzir os métodos de cálculo em Teoria Quântica dos Campos. O aluno deve ser capaz de, para um dado processo (em ordem mais baixa), desenhar os diagramas de Feynman e calcular as respectivas secções eficazes de difusão. Deve também ser exposto a problemas relevantes na fronteira das aplicações em Física de Partículas.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Introduce the tools for doing calculations in Quantum Field Theory. In the end, the student should know, for a given process in lowest order, how to draw the relevant Feynman diagrams and to evaluate the corresponding cross sections. The student should also be exposed to problems at the frontier in that applications in Particle Physics.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

1.Mecânica Quântica Relativista Equações de Klein-Gordon e Dirac. Covariância da equação de Dirac. Simetrias discretas. Soluções para a partícula livre. Acoplamento electromagnético e limite não relativista. Soluções de energia negativa. 2.Propagadores e Funções de Green O propagador não relativista. O propagador relativista. Os elementos da matriz S. 3.Regras de Feynman para QED Difusão de Coulomb para electrões. Teoremas sobre traços de matrizes de Dirac. A secção eficaz de Coulomb. Dispersão de Coulomb de positrões. Dispersão electrão-muão. Correções de ordem superior. Fótons em linhas externas. O efeito de Compton. Regras de Feynman para QED.4.Teorema de Wick. 5.Exemplos simples em QED. Efeito de Compton. Aniquilação electrão-positrão. Bremsstrahlung. 6.Outros exemplos simples Largura do Z0 para fermiões. Aniquilação electrão-positrão no modelo padrão das interações electrofracas. Declínio do muão. 7. Correções radiativas a um loop.

6.2.1.5. Syllabus:

1. Relativistic Quantum Mechanics Equations of Klein Gordon and Dirac. Covariance of Dirac equation. Discrete simetries. Free particle solutions. Electromagnetic coupling and non relativistic limit. Negative energy solutions. Massless particles. 2. Propagators and Green's Functions The non-relativistic propagator. The relativistic propagator. S

matrix elements. 3. Feynman Rules for QED Coulomb scattering of electrons. Theorems on traces of Dirac matrices. Coulomb cross section. Coulomb scattering of positrons. Electron-muon cross section. Higher order corrections. Photons in external lines. Compton scattering. Feynman rules for QED. 4. Wick's Theorem. 5. Simple examples in QED. Cross section for Compton scattering. Electron-positron annihilation. Bremsstrahlung. 6. Other simple examples. Z0 decay width into fermions. Electron-positron annihilation in the standard model. Muon decay. 7 Radiative corrections at one loop.

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

Os conteúdos programáticos abrangem os principais tópicos e aplicações teórico-práticos da Teoria Quântica dos Campos, permitindo ao aluno adquirir uma sólida base de conhecimentos para uma especialização na área de Física de Partículas.

O aluno é também motivado a desenvolver actividades de pesquisa autónoma. Grande ênfase é dada no uso de software especializado e na comparação dos resultados com dados reais.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The program of Quantum Field theory covers the main topics and applications, giving a solid basis to the student and to his learning trajectory leading into a specialization in Particle Physics. It is also a goal that the student develops activities of autonomous study and research. A big emphasis is put in the use of specialized software and in the comparison of the results with real data.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

A componente lectiva desta disciplina é ministrada em duas aulas teóricas semanais. O aluno deve ter uma grande componente de trabalho autónomo. Para a avaliação o aluno deverá, para além de realizar um exame, fazer um trabalho escrito sobre um tema a combinar e fazer a respetiva defesa oral.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The teaching component of this course is given in two theoretical classes per week. For the evaluation the student, besides doing the final exam, has to do a written individual homework on a topic to be chosen with the professor, and do an oral defense of the results of this work.

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

Os métodos de ensino foram concebidos de modo a que os alunos possam desenvolver um conhecimento abrangente das potencialidades neste domínio, assegurando simultaneamente a conformidade com os objectivos da unidade curricular. Assim considera-se fundamental que os alunos realizem trabalho autónomo e desenvolvam a capacidade de calcular em Teoria Quântica dos Campos.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies were thought in such a way that the students can develop a broad knowledge in the field of Quantum Field Theory, in agreement with the goals and syllabus of the course. It is of fundamental importance that the students learn how to do autonomous work and develop the capacity of doing calculations in Quantum Field Theory with the help of the available software.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL

Introdução à Teoria do Campo

J. C. Romão

Ano: 2015

URL: <http://porthos.ist.utl.pt/Public/textos/itc.pdf>

BIBLIOGRAFIA SECUNDÁRIA

Quantum Field Theory

C. Itzykson e J.-B. Zuber

Ano: 1980

McGraw Hill, New York

Quantum Electrodynamics:

R. P. Feynman

Ano: 1973

Benjamin, New York

Relativistic Quantum Mechanics:**J. D. Bjorken e S. Drell****Ano: 1964****McGraw-Hill, New York**

Em relação à componente do trabalho individual será escolhida bibliografia avançada relevante dependendo do tópico escolhido.

Mapa X - Relatividade e Cosmologia**6.2.1.1. Unidade curricular:****Relatividade e Cosmologia****6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):****José Lemos (0.00)****6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:****não aplicável****6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):**

Introduzir os alunos nos conceitos básicos de relatividade geral e suas aplicações à cosmologia e a certos aspectos da astrofísica.

Tornar os alunos aptos a trabalharem nesta área e a lerem a literatura especializada mais relevante.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

To give students a practical knowledge in the area and to make them able to read the relevant literature.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

I. Cálculo tensorial e noções básicas de geometria diferencial.

II. As equações de campo de Einstein e os testes clássicos da relatividade geral:

a) precessão do periélio de Mercúrio; b) deflexão da luz num campo gravitacional; c) desvio para o vermelho num campo gravitacional.

III. Buracos negros

IV. Cosmologia:

a) cosmografia e testes clássicos da cosmologia; b) estudo do modelo do big-bang; c) dificuldades do modelo.

V. Noções básicas sobre os buracos negros.

6.2.1.5. Syllabus:

Introduction to differential geometry.

Einstein's equations and classical testes of the theory.

Black holes.

Cosmology: the standard model.

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Testes ou Exame Final.

Avaliação por testes: 3 testes. A Nota Final é a média das duas melhores notas.

Avaliação por exame: 1 exame final.

A aprovação por testes exclui a possibilidade de avaliação por exame.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

3 tests or a final exam.

6.2.1.8. Demonstração da coerência das metodologias de ensino com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular. A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Introducing Einstein's Relativity, Ray D'Inverno, 1992, Clarendon Press, Oxford; Gravitation, Charles Misner, Kip Thorne, and John Archibald Wheeler, 1973, W. H. Freeman

Mapa X - Tópicos em Física de Partículas

6.2.1.1. Unidade curricular:

Tópicos em Física de Partículas

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Como opção a UC não funcionou no semestre considerado. Jorge Romão (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

Como opção a UC não funcionou no semestre considerado.

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Proporcionar ao aluno uma visão dos temas mais interessantes no campo da Física de Partículas e Teoria Quântica dos Campos

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

The objective is to give the student a broad view about the current hot topics in Particle Physics and Quantum Field Theory

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

Os tópicos vão cobrir os temas seguintes:

- 1) A Física do Bosão de Higgs. Violação de CP. As massas dos fermiões.**
- 2) A Física dos neutrinos**
- 3) Física para além do Modelo Standard incluindo Supersimetria**
- 4) Física Hadrónica incluindo QCD.**

6.2.1.5. Syllabus:

The topics will cover:

- 1) The Physics of the Higgs boson. CP Violation. The masses of the fermions.**
- 2) Neutrino Physics**
- 3) Beyond the Standard Model Physics including Supersymmetry**
- 4) Hadronic Physics including QCD.**

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, acima descritos, os conteúdos programáticos visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao cumprimento dos objetivos curriculares estabelecidos

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, the topics covered aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described above.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Os alunos são supostos terem uma componente de estudo autónomo importante. A avaliação final será feita através dum trabalho final individual e respetiva defesa oral.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The students are supposed to have a large component of autonomous study. The evaluation consists in a final written individual homework followed by its oral defense.

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

Os métodos de ensino foram concebidos de modo a que os alunos possam desenvolver um conhecimento abrangente das potencialidades neste domínio, assegurando simultaneamente a conformidade com os objetivos da unidade curricular. Assim considera-se fundamental que os alunos realizem trabalho autónomo nesta área para ficarem em condições de iniciarem o trabalho de investigação.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies were thought in such a way that the students can develop a broad knowledge in the field of Quantum Field Theory, in agreement with the goals and syllabus of the course. It is of fundamental importance that the students learn how to do autonomous work and start research in this area.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

For basic Quantum Field Theory:

Quantum Field Theory, C. Itzykson, J.-B. Zuber, 1980, McGraw-Hill;

Introduction to Gauge Field Theory, D. Bailin, A. Love, 1986, Adam Hilger, Bristol;

Gauge Fields, Introduction to Quantum Theory, L. D. Fadeev, A. A. Slavnov, 1980, Benjamin, Reading, Massachusetts

Advanced Quantum Field Theory, Jorge C. Romão, 2015, <http://porthos.ist.utl.pt/Public/textos/tca.pdf>

Other articles will be given depending on the topics chosen each year.

Mapa X - Métodos Experimentais Avançados em Física de Partículas II**6.2.1.1. Unidade curricular:**

Métodos Experimentais Avançados em Física de Partículas II

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Sérgio Eduardo de Campos Costa Ramos (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

Maria Paula Frazão Bordalo e Sá (0.00).

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Adquirir conhecimentos e prática sobre os métodos de reconstrução e de simulação de dados, bem como sobre as mais avançadas técnicas de análise desenvolvidas em Física das Partículas. Aquisição de metodologias de concepção e realização experimental.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

To acquire knowledge and skills on methods of data reconstruction, simulation and data analysis developed in Particle Physics. To learn on experimental design methodologies.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

Concepção e simulação de experiências. Algoritmos e reconstrução de eventos. Análise e tratamento de dados experimentais. Construção, montagem e teste de dispositivos experimentais.

6.2.1.5. Syllabus:

Experiments design and simulation. Algorithms and event reconstruction. Experimental data treatment. Construction,

commissioning and test of experimental equipment.

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

Esta unidade curricular tem como objetivo o aprofundamento dos métodos experimentais selecionados de acordo com o programa de doutoramento do estudante. A organização do programa em temas possibilita plenamente a prossecução dos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

This course aims at deepening selected experimental methods according to the student's PhD program. The organization of the program in subjects fully enables the achievement of the goals.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Esta cadeira é de índole experimental avançada, pelo que cada estudante é inserido num ambiente específico de trabalho ligado a uma experiência real, No final do semestre cada estudante faz uma apresentação oral com discussão sobre um dos assuntos do trabalho desenvolvido.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

This course is of advanced experimental nature. Each student is placed in a real experiment environment, in which he performs an experimental task. At the end of the semester, each student gives an oral presentation, with discussion, concerning one of the developed subjects.

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

Dada a sua especificidade, esta cadeira exige um acompanhamento individual dos alunos, pelo que um seguimento tutorial se afigura como o mais adequado. A avaliação enquadra-se no contexto deste ensino.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

Due to its specificity, this course requires an individual monitoring of students, thus we consider that a tutorial follow-up is the most appropriate. The evaluation fits into the context of this teaching.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

- *Fitting equations to data – computer analysis of multifactor data, C. Daniel and F. S. Wood*
- *GEANT - Detector Description and Simulation Tool: GEANT support team at CERN*
- *Root and Minuit Tools, Home Pages at Cern*

Mapa X - Métodos Experimentais Avançados em Física de Partículas I

6.2.1.1. Unidade curricular:

Métodos Experimentais Avançados em Física de Partículas I

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Fernando Barão (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Desenvolver a capacidade de compreensão e resolução de problemas na área instrumental da física de partículas. Neste curso pretende-se dar uma visão geral das técnicas modernas associadas à física de partículas. Os conceitos gerais de detecção de partículas, são discutidos no contexto da análise de experiências "correntes" de física de partículas e astropartículas (raios cósmicos). A selecção de eventos e os princípios da análise estatística bem como a simulação em computador das experiências através de técnicas de monte-carlo,

são temas também tratados neste curso.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

The aims of the course is to provide capability to understand and solve problems related to particle physics detection techniques, its instrumentation and data treatment.

The detection techniques aspects are covered via an examination in detail of some modern particle and astroparticle physics experiments.

The discussion of data analysis includes statistical methods, computer simulation of experiments, monte-carlo techniques and the discussion of experimental results.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

. Princípios de detecção e concepção de experiências de física de partículas e astropartículas

. Detecção de raios cósmicos na Terra e no Espaço

. Selecção de eventos em linha

. Instrumentação e Sistemas de aquisição de dados

. Métodos estatísticos

. Simulação computacional de experiências de física de partículas: métodos de monte-carlo

6.2.1.5. Syllabus:

. Detection and design principles of particle and astroparticle physics experiments

. Cosmic rays detection at Earth and Space

. Event triggering and selection

. Instrumentation and Data Acquisition systems

. Statistical methods

. Computer simulation of particle physics experiments and monte-carlo methods

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

O programa da disciplina cobre os temas fundamentais da atividade científica da área de Física Experimental de Partículas, o que corresponde ao objectivo da unidade curricular.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The course syllabus covers the fundamental subjects of the scientific activity on the Experimental Particle Physics field, corresponding entirely to the main goals of the course.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Apresentação de um trabalho sob a forma oral (45 min) e escrita.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

A written report and a 45 minute presentation.

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Experimentation: An introduction to measurement theory and experiment design, D.C. Baird, 1995, Prentice-Hall Inc. ; Particle Detectors, Claus Grupen, 1996, Cambridge University Press; Cosmic Rays and Particle Physics, Thomas Gaisser, 1991, Cambridge University Press; Experiments in Modern Physics, Adrian C. Melissinos and Jim Napolitano, 2nd ed., 2003, Academic Press; Experimental Techniques in High-Energy Nuclear and Particle Physics, Thomas Ferbel, 1987, Addison-Wesley ; Review of Particle Physics, S. Eidelman et al., 2004, Particle Data Group, Physics Letters B592, 1 (2004). <http://pdg.lbl.gov/>; Statistical Data Analysis, Glen Cowan, 1998, Oxford University Press

Mapa X - Fusão Nuclear**6.2.1.1. Unidade curricular:**

Fusão Nuclear

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Nuno Loureiro (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

-Formação nas áreas da Física, Engenharia e Tecnologia dos Plasmas de Fusão, visando:

(i) A sensibilização para os diversos métodos que podem levar ao aproveitamento da energia de fusão nuclear para fins pacíficos;

(ii) O estudo do plasmas de fusão em experiências de confinamento magnético, em particular nos tokamaks: estabilidade, confinamento e transporte do plasma; métodos de aquecimento. Diagnósticos e caracterização do plasma.

(iii) Investigação e desenvolvimento necessários para o sucesso do projecto do reactor ITER e para a concretização da FN como via de produção de energia.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Physics, Engineering and Technology of Fusion Plasmas:

(i) Assessing the several methods leading to controlled nuclear fusion energy for peaceful purposes;

(ii) Studying the behavior of fusion plasmas in magnetic confinement experiments, with emphasis in Tokamaks: plasma stability, confinement and transport; technological issues related to auxiliary heating schemes as well as to the plasma dedicated diagnostics.

(iii) Surveying the research and development of the project of ITER reactor and to the viability of thermonuclear fusion as a route to the energy production.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

As potencialidades da energia de fusão nuclear.

A Física dos Plasmas e sua aplicação ao confinamento magnético.

Equilíbrio do plasma na configuração Tokamak?: equações do equilíbrio MHD; a equação de Grad-Shafranov e superfícies de fluxo.

Estabilidade MHD: o critério da energia; resistividade e viscosidade.

Instabilidades em Tokamaks: macroscópicas, modos tearing e disrupções; micro-instabilidades, ondas de deriva e micro-tearing.

Confinamento e transporte: clássico, neoclássico e anómalo; códigos de transporte.

Aquecimento e geração de corrente: aquecimento resistivo; injeção de feixes de neutros; aquecimento de rádio-frequência; a geração não-inductiva de corrente.

Interações plasma-superfície: o papel das impurezas; os limitadores e os diversores

Métodos de diagnóstico em plasmas de fusão.

As actuais experiências tokamak e o futuro reactor de fusão (ITER)

6.2.1.5. Syllabus:

Introduction: the potentialities of nuclear fusion energy.

Plasma physics and its application to magnetic confinement.

Plasma equilibrium in the toroidal configuration Tokamak: MHD equilibrium equations; Grad-Shafranov equation and flux surfaces.

MHD stability: the energy criterium; role of resistivity and viscosity.

Instabilities in Tokamaks: macroscopic, tearing modes and disruptions; microinstabilities, drift waves and micro-tearing.

Confinement and transport: classical and neo-classical transport; anomalous transport; predictive transport codes.

Heating and current drive: resistive heating; neutral beam injection; radio-frequency heating; non-inductive current drive.

Plasma-surface interactions: the role of impurities; limiters and the importance of divertors.

Diagnostic methods for fusion plasmas.

The present tokamak experiments and the future fusion reactor (ITER).

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Discussão oral baseada na apresentação de um Trabalho Final individual pelo estudante

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Oral examination , based on an individual Final Work presentation by the student

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Fusion: The Energy of the Universe, G.McCracken and P. Stott, 2005, Elsevier ; Tokamaks, J.Wesson, 1997, Clarendon Press, Oxford; Fusão Nuclear, F. Serra, 1993, Centro de Fusão Nuclear

Mapa X - Tópicos em Relatividade Geral e Cosmologia

6.2.1.1. Unidade curricular:

Tópicos em Relatividade Geral e Cosmologia

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

José Lemos (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Estudo de sistemas e fenómenos gravitacionais, como ondas gravitacionais, buracos negros e cosmologia,

e métodos matemáticos aplicados ao espaço-tempo, como spinores.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Study of systems and gravitational phenomena, such as gravitational waves, black holes and cosmology, and mathematical methods applied to the spacetime, such as spinors.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

1. *Ondas Gravitacionais*
2. *Estrutura Causal*
3. *Spinores*
4. *Buracos Negros*
5. *Cosmologia*

6.2.1.5. Syllabus:

1. *Gravitational waves*
2. *Causal structure*
3. *Spinors*
4. *Black holes*
5. *Cosmolog*

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Três folhas de exercícios durante o semestre (peso 30%) e um exame final (peso 70%)

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Three exercise sheets along the semester (weight 30%) and a final exam (weight 70%)

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Gravitation, C. Misner, K. Thorne, J. Wheeler, 1973, W. H. Freeman ; Advanced General Relativity , John Stewart, 1993, Cambridge University Press; General Relativity , R. Wald, 1984, University Of Chicago Press

Mapa X - Mecânica Estatística e Transições de Fase

6.2.1.1. Unidade curricular:

Mecânica Estatística e Transições de Fase

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Vítor Vieira (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Caracterização e estudo de transições de fase clássicas e quânticas. Caracterização e estudo de fenómenos críticos. Introdução à teoria da informação quântica. Desenvolver a capacidade de resolução analítica, numérica ou computacional de problemas no âmbito da disciplina.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Characterization and study of classical and quantum phase transitions. Characterization and study of critical phenomena. Introduction to quantum information theory. Development of the skills to solve analytically, numerically or computationally problems within the scope of the course.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

1. Termodinâmica e Teoria da Informação. Princípio da entropia máxima de Jaynes. Entropia de von Neumann. Ferramentas da informação quântica: entanglement e fidelity. Modelo de Ising 1d. Teoria de Lee, Yang. Integrais funcionais e modelo ϕ -4 2. Teoria de transições de fase de Landau Aproximação de campo médio e teoria de Landau. Teoria de Ginzburg- Landau. Critério de Ginzburg. Expoentes críticos, dimensões críticas superiores e inferiores. Pontos críticos e tricríticos. Transições estruturais. 3. Teoremas gerais de Mermin-Wagner e de Goldstone. Mecanismo de Higgs. 4. Grupo de renormalização Scaling, universalidade e homogeneidade. Teoria de Kadanoff. Grupo de renormalização de Wilson. Expansão epsilon da teoria ϕ -4 5. Modelo de Ising Modelo 2d. Relação entre sistemas quânticos e sistemas clássicos. Transformação de Jordan-Wigner. 6. Transição de Kosterlitz-Thouless 7. Transições de fase quânticas Expoentes dinâmicos.

6.2.1.5. Syllabus:

1. Thermodynamics and Information Theory. Jaynes' Principle of Maximum Entropy. Von Neumann entropy. Quantum information tools: entanglement and fidelity. Ising model in 1d. Lee and Yang theory. Functional integrals and ϕ -4 theory 2. Landau Theory of phase transitions Mean field approximation and Landau theory. Ginzburg-Landau theory. Ginzburg criteria. Critical exponents, lower and upper critical dimensions. Critical and tricritical points. Structural transitions 3. General Theorems Mermin-Wagner theorem. Goldstone theorem. Higgs mechanism 4. Renormalization Group Universality, scaling and homogeneity. Kadanoff's real space approach. Wilson's renormalization group. Epsilon expansion for the ϕ -4 5. The Ising model Ising model in 2D. Quantum to classical mapping. Jordan-Wigner transformation. 6. Kosterlitz-Thouless Transition 7. Quantum phase transitions. Dynamical exponents.

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

As transições de fase são um conceito fundamental em várias áreas da física, tendo até influenciando a sua evolução. A escolha dos tópicos do programa reflecte naturalmente este facto, tendo a bibliografia sido escolhida pela sua relevância, actualidade e grau de dificuldade adequado.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Phase transitions are a fundamental concept in several areas of physics, having even influenced its evolution. The choice of the programmatic topics reflects naturally this fact, with the bibliography having been chosen by its relevance, up to date and adequate degree of difficulty.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

As aulas são em regime teórico-prático, estimulando forte interação com os alunos. É dada grande importância à realização de trabalhos de casa, tipo problemas de fim de capítulo, com discussão das dúvidas resultantes. Além dos trabalhos realizados ao longo do semestre, a avaliação final é feita através da realização de uma apresentação oral.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Classes are in a theoretical-practical regime, stimulating a strong interaction with the students. Great importance is given to home works, of the end of chapter type, with discussion of the resulting questions and doubts. Besides the work performed during the semester, the final evaluation is done by an oral presentation.

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

O regime teórico-prático das aulas permite uma forte interação com os alunos, nomeadamente através da discussão

das dúvidas decorrentes da realização dos problemas. Uma das componentes da formação consiste na apresentação e discussão dos fundamentos de alguns métodos computacionais e numéricos usados em mecânica estatística e transições de fase. A abordagem seguinte permite o aluno adquirir uma formação sólida, de uma forma contínua, reforçando as suas capacidades analíticas, computacionais e numéricas.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The theoretical-practical regime of the classes promotes a strong interaction with the students, namely through the discussion of the questions and doubts resulting from solving the problems. One of the formation components consists in the presentation and discussion of some of the computational and numerical methods used in statistical mechanics and phase transitions. This approach allows the student acquiring a solid formation, in a continuous manner, reinforcing his analytic, computational and numerical capabilities.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

A Modern Course in Statistical Physics, L. E Reichl, 1998, John Willey & Sons.

Lectures of Phase Transition and the Renormalization Group, N. Goldenfeld, 1992, Frontiers in Physics, Perseus Books

Quantum Computation and Quantum Information, Nielsen M. A. and I. L. Chuang, 2000, Cambridge University Press.

Mapa X - Teoria Cinética dos Plasmas

6.2.1.1. Unidade curricular:

Teoria Cinética dos Plasmas

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

João Bizarro (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Introdução aos conceitos fundamentais da Teoria Cinética dos Plasmas.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Introduction to Plasma kinetic Theory

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

*Logaritmo Coulombiano;
Frequências de colisão;
Equação de Vlasov;
Equação de Klimontovich;
Hierarquias;
Equação de Landau;
Equação de Lennard-Balescu;
Teoria cinética das ondas;
Teoria quasi-linear;
Turbulência fraca;
Campos magnéticos espontâneos;
Cinética de fotões;
Quasi-partículas (plasmões, fonões, driftões e chargeões);
Interação neutrino-plasma.
*

6.2.1.5. Syllabus:

*Coulomb logarithm;
Collision frequencies;
Vlasov equation;
Klimontovich equation;
Hierarchies;
Landau equation;*

Lennard-Balescu equation;
 Kinetic theory of waves;
 Quasi-linear theory;
 Weak turbulence;
 Spontaneous magnetic fields;
 Kinetics of photons
 Quasi-particles (plasmons, fonons, driftons and chargeons);
 Neutrino-plasma interaction.

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Exame Final

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Final Examination

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Stochastic Processes in Physics and Chemistry, N. G. van Kampen, 1984, North-Holland; Equilibrium and Non-equilibrium Statistical Mechanics, R. Balescu, 1975, Wiley Inter Science

Mapa X - Tópicos Avançados em Física Nuclear II

6.2.1.1. Unidade curricular:

Tópicos Avançados em Física Nuclear II

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Maria Teresa Haderer de la Peña Stadler (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

Jorge Romão (0.00). UC que não funcionou no semestre considerado

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Adquirir as ferramentas teóricas para entender os princípios e metodologias da investigação, em temas de física nuclear e das interações fortes, e em alguns aspectos gerais de física de partículas.

Desenvolver a capacidade de utilizar teoria de campo para calcular os processos mais importantes da dinâmica de partículas (estados ligados, ressonâncias, decaimentos, etc...). Obter o panorama geral dos avanços mais recentes no domínio da Física Nuclear e Hadrónica.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

To acquire the essential theoretical tools enabling the understanding of the principles and methodologies for research in several branches of the studies of effective nuclear and strong interactions, as well as in general aspects of particle physics. To develop the skill of using field theory to calculate the main processes in the dynamics of hadrons. To obtain an overview of the recent advances in Nuclear Physics and Hadronic Physics.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

*-Interacção Electromagnética e Dispersão de electrões como sonda da estrutura a diferentes escalas de tamanho
-Papel da Relatividade nos núcleos leves e na matéria nuclear
-Produção de píões e simetria quiral
-O Espectro dos Hadrões no Modelo de Quarks Constituintes
-A simetria quiral nos modelos de quarks
-Cálculos de QCD na rede
-"Journal Club": Com que Graus de Liberdade se obtém a explicação melhor e mais económica dos fenómenos nucleares?*

6.2.1.5. Syllabus:

*-Electromagnetic Interaction and Electron Scattering as a probe of structure in different size scales
-Role of Relativity in light nuclei and nuclear matter
-Pion production and chiral symmetry
-The Hadron Spectra in the Constituent Quark Model
-Chiral Symmetry in quark models
-QCD calculations in the lattice
-Journal Club: With which description do we start to get the most economical and correct explanation of nuclear phenomena?*

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

Os pontos dos conteúdos programáticos cobrem os vários assuntos principais que dão os alunos os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento dos objetivos. Fornecem-se os instrumentos de cálculo mais relevantes no domínio.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The syllabus includes all main subjects that give the students the competences and the knowledge required in the objectives. The main calculational tools for research in the field are provided.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

*1 relatório crítico (escrito e oral) sobre um artigo publicado
1 trabalho de revisão sobre um dos assuntos do curso (20 páginas max) com discussão oral.
O ensino encoraja o trabalho em grupo com jovens investigadores no domínio para explorar questões em aberto.*

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

*1 (written and oral) critical report on a published paper
1 review paper on one of the subjects of the course (20 pages max), with oral discussion.
The teaching encourages the work in group with young professionals in the field to explore open questions.*

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas teóricas e de problemas de resolução numérica. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Theoretical Nuclear and Subnuclear Physics, John Dirck Walecka, 1995, Oxford Press; Quarks and Leptons, Halzen and

Martin, 1984, John Wiley and Sons; Quarks, Gluons and Lattices, Creutz, 1985, Cambridge University Press

Mapa X - Física da Matéria Condensada

6.2.1.1. Unidade curricular:

Física da Matéria Condensada

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Pedro Sacramento (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Continuação dos estudos das disciplinas da área de Física do Estado Sólido e Física da Matéria Condensada, e apresentação de alguns tópicos em que as interações entre os electrões, e electrões e vibrações da rede cristalina são importantes e conduzem, em particular, a fenómenos colectivos como magnetismo e supercondutividade e estudo das propriedades de transporte.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Continuation of the studies carried out in the area of Solid State Physics and Condensed Matter Physics and presentation of some topics where interactions between electrons and electrons and the vibrations of the lattice are important and lead, in particular, to collective phenomena such as magnetism and superconductivity and transport properties.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

*I. Gases de Fermi e de Bose: segunda quantização
Líquido de Fermi. Líquido de Bose. Superfluidez.
Aproximação de Hartree-Fock e aproximação de campo médio.
Correlações.*

II. Electromagnetismo e Física do Estado Sólido

II.1 Teoria da resposta linear

Susceptibilidades e teoria da resposta linear. Relações de Kramers-Kronig.

II.2 Função de Lindhardt

II.3 Processos de transporte.

Equação de Boltzmann.

Condutividade e fórmula de Kubo.

Teoria de Landauer-Buttiker.

III. Sistemas ordenados magnéticos

III.1 Ferromagnetismo em sistemas isolantes

III.2 Ferrimagnetismo e anti-ferromagnetismo em sistemas isolantes

III.3 Magnetismo itinerante

IV Supercondutividade

V Sistemas Desordenados Efeito de impurezas. Desordem annealed e quenched. Localização.

6.2.1.5. Syllabus:

I. Fermi and Bose Gases: second quantization

Fermi liquid. Bose liquid. Superfluidity.

Hartree-Fock approximation and mean-field approximation.

Correlations.

II. Electromagnetism and Solid State Physics

II.1 Linear response theory.

Susceptibilities and linear response theory. Kramers-Kronig relations.

II.2 Lindhardt function

II.3 Transport processes.**Boltzmann equation.****Conductivity and Kubo formula.****Landauer-Buttiker theory.****III. Magnetic ordered systems****III.1 Ferromagnetism in insulators****III.2 Ferrimagnetism and anti-ferromagnetism in insulating systems****III.3 Itinerant magnetism****IV Superconductivity****V Disordered systems. Effect of impurities. Annealed and quenched disorder. Localization.**

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

Os conteúdos

programáticos são os necessários no âmbito da unidade curricular para os estudantes desenvolverem as competências correspondentes aos objetivos curriculares estabelecidos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The contents of the course are the necessary ones with the purpose that the students develop their skills towards the understanding and accomplishment of the set goals.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

2 Testes ou Exame Final (2 datas) 70%**Trabalhos semanais 15%****Apresentação oral 15%**

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

2 Tests or Final Exam (2 dates) 70%**Weekly homework 15%****Oral presentation 15%**

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Solid State Physics, Ashcroft and Mermin, 1976, 0-03-083993-9; Introduction to Solid State Physics, O. Madelung, 1981, 3-540-08516-5

Mapa X - Reações Nucleares

6.2.1.1. Unidade curricular:

Reações Nucleares

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Maria Teresa Haderer de la Peña Stadler (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

UC de opção que não funcionou no semestre considerado

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Responder à questão: Como é que o conhecimento do núcleo e as medidas experimentais de reacções nucleares servem para estudar as interações fundamentais, bem como a origem, a composição em matéria visível e o destino do universo?

Tornar evidente a importância da tecnologia (ambiental, industrial e da saúde) recorrer a dados sobre reacções nucleares.

Fornecer a competência de consultar e utilizar a literatura sobre o tema. Introduzir tópicos de investigação e desenvolvimento actual.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

To give the tools to answer the question: How does the knowledge on the nucleus and nuclear reaction experimental measurements probe the fundamental interactions, and inform us also about the origin, the composition in visible matter, and the destiny of the universe?

To convey the importance of the (environment, industry and health care related) technological use of data on nuclear reactions.

To enable the skill of searching and using the literature on the subject. To introduce topics of current research and development.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

Estrutura e sub-estrutura nuclear. Quarks, glúons e nucleões. Força nuclear efectiva e troca de píões.

Cinemática e leis de Conservação nas reacções nucleares.

Reacções de núcleo composto e directas. Excitação de Coulomb por iões pesados.

Absorção resonante de neutrões e detecção de neutrões.

Dispersão de electrões por núcleos. Matriz T. Secção eficaz.

Simetrias e amplitudes de dispersão. Estatísticas dos projecteis e alvos e simetrias.

Modelo do potencial óptico. Aproximação clássica ou de Glauber.

Correlações de Pauli e movimento de Fermi.

Matéria nuclear a altas densidades. Reacções com iões pesados.

Reacções com píões. Constrangimentos da simetria quiral.

Nucleosíntese primordial e nucleosíntese estelar. Cadeia pp e ciclo CNO. Formação do ^{12}C .

6.2.1.5. Syllabus:

-Nuclear and sub-nuclear structure. Quarks, gluons and nucleons.

-Saturation and behavior at large distances of the nuclear effective force (pion exchange).

-Kinematics aspects of the nuclear reactions. Laws of conservation and examples of conservation violations.

-Composite nucleus and direct reactions. Coulomb excitation by heavy ions.

-Electron scattering off nuclei. T matrix. Cross-section.

-Symmetries and scattering amplitudes. The statistics of the projectiles and/targets and the symmetries in the angular distributions.

-Optical potential model. Classical or Glauber approximation. The diffraction term in the cross-section.

Pauli correlations and Fermi motion.

-Nuclear matter at high densities. Heavy ion reactions.

-Reactions with pions. Mandelstam variables. Pseudo-vector π NN coupling and constraints from chiral symmetry.

-Nuclear Astrophysics. Primordial and stellar nucleosynthesis. The pp chain and the CNO cycle. Formation of ^{12}C .

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

Os pontos dos conteúdos programáticos cobrem os vários assuntos principais que dão os alunos os conhecimentos e competências necessárias ao cumprimento dos objetivos.

São dados os principais instrumentos de cálculo no domínio.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The syllabus includes the main subjects that give the students the competences and the knowledge required by the objectives. It covers the main theoretical and calculational tools used in the subject.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Apresentação da Resolução de Exercícios (50%)

Síntese c/ apresentação oral e escrita de um tema de um dos capítulos do programa (60%) com cálculo numérico.

A UC desenvolve-se num ambiente que promove o trabalho com profissionais no domínio.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Written solution of problems 40%

Oral and written presentation on one theme of any of the chapters of the program 60% , with a numerical calculation.

The teaching proceeds within an environment that promotes individual and group work with professionals in the field.

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas teóricas e de problemas. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of theoretical and problem classes, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Nuclear Physics Principles and Applications, John Lilley, 2001, John Wiley & Sons

Mapa X - Complementos de Microtecnologias**6.2.1.1. Unidade curricular:**

Complementos de Microtecnologias

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Susana Isabel Pinheiro Cardoso de Freitas (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Introdução às tecnologias de micro e nanofabricação utilizadas no fabrico de memórias magnéticas MRAMs, circuitos integrados, biosensores, cabeças de gravação e microsistemas. Os tópicos abordados nas aulas são complementados com a realização de trabalhos na Sala Limpa do INESC MN (classe ISO 4/5).

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Introduction to micro and nanofabrication techniques used for magnetic memories MRAMs, integrated circuits, biosensors, magnetic read heads and MEMS. The topics are supported by experimental work at the INESC MN's Clean Room (ISO 4/5).

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

1) Salas Limpas: especificações técnicas, regras de segurança, classificação (ISO).

2) Técnicas de litografia: Resolução e dimensões mínimas. Escrita directa, alinhamento multinível, máscaras . Requisitos da indústria.

3) Técnicas de transferência de padrões: 1) Substractivas (Etching) e 2) Aditivas (Lift-off).

4) Técnicas de vácuo: princípios e tecnologias

5) Deposição de filmes finos metálicos e dieléctricos. Requisitos da indústria.

6) Micromaquinação de estruturas MEMS: aplicação em agulhas e microactuadores (MEMS).

7) Técnicas de planarização local e global. Aplicação a arquitecturas de memórias MRAM e CMOS.

8) Introdução às técnicas de caracterização de materiais e microestrutura.

9) Microsistemas para fluidos: fabrico de microcanais, materiais, técnicas para selagem irreversível entre superfícies.

10) Requisitos da indústria de gravação magnética, MRAMs, biosensores e microsistemas.

6.2.1.5. Syllabus:

1) Clean rooms: technical specifications, security rules, classification (ISO).

2) Lithography techniques. Resolution and minimum features. Direct write, multilevel alignment, hard masks, software masks. Industry requirements.

3) Techniques for pattern transfer: 1) Subtractive: (Etching), 2) Additive (Lift-off). Dimensions, materials, resist profiles, features profile.

- 4) *Metal and dielectric film deposition: sputtering (PVD), ion beam (IBD), chemical vapour deposition (CVD), evaporation, electrodeposition. Industry requirements.*
- 5) *Micromachining for microsystems definition: application for sharp probes, MEMS actuators.*
- 6) *Local and global planarization techniques: application to MRAM, CMOS architectures.*
- 7) *Introduction to the techniques for material and microstructures characterization.*
- 8) *Microsystems for fluidics: microchannel fabrication, materials, irreversible surface bonding.*
- 9) *Requirements of the magnetic recording, MRAM, biosensors, MEMS industries.*

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

Os conteúdos programáticos são os necessários no âmbito da unidade curricular para os estudantes desenvolverem as competências correspondentes aos objectivos curriculares estabelecidos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Os conteúdos programáticos são os necessários no âmbito da unidade curricular para os estudantes desenvolverem as competências correspondentes aos objectivos curriculares estabelecidos.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Nas primeiras semanas os alunos terão 3 sessões experimentais de treino sobre técnicas de sala limpa (presença obrigatória) (10%)

2 testes (20%+20%)

Realização de uma "Folha de Processo" para fabricar e testar um microdispositivo na Sala Limpa do INESC MN. (40%)

Discussão Oral – (10%)

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

3 introductory clean room sessions will be provided to the students (attendance is required) (10%).

2 tests (20%+20%)

Process a Run sheet for fabrication and testing a device at INESC MN clean room (40%)

Oral discussion – (10%)

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Principal

- **Título :** *Nanoelectronics and Information Technology*
- **Autor(es):** *Rainer Waser (Ed)*
- **Ano:** *2003*
- **Referência:** *Wiley-VCH*

Secundária

- **Título :** *VLSI technology*
- **Autor(es):** *S.M.Sze*
- **Ano:** *1994*
- **Referência:** *McGraw Hill International Editions*

Secundária

- **Título :** *Handbook of thin film deposition processes and techniques Principles, Methods, Equipment and Applications*
- **Autor(es):** *Krishna Seshan (Ed)*
- **Ano:** *2002*
- **Referência:** *Noyes Publications / William Andrew Publishing, ISBN: 0-8155-1442-5*

Mapa X - Laboratório de Raios Cósmicos

6.2.1.1. Unidade curricular:

Laboratório de Raios Cósmicos

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Fernando Barão (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Desenvolver a capacidade de compreensão e resolução de problemas na área da física dos raios cósmicos e da física experimental de partículas. Pretende-se familiarizar os alunos com as técnicas de detecção utilizadas em física de partículas e astropartículas.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Provide and develop the ability for understanding and solving current problems in Experimental High Energy Physics and Cosmic Ray Physics. During the course, experimental techniques will be explored to detect cosmic rays.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

***Radiação Cósmica; Produção e Propagação; Campo magnético terrestre; Cascatas atmosféricas; Detecção de Raios Cósmicos (Espectrómetros, Fluorescência, Cerenkov, Multiplicidade); Experiências de detecção; Fluxos de raios cósmicos; Matéria escura, antimatéria
Interação das partículas com matéria; Secção eficaz; Comprimento de interação; Mecanismos de interação; Perda de energia e múltipla scattering; Radiação de Cerenkov
Princípios de detecção de partículas; Detecção de fótons; Cintilação; Medida do Momento Linear: Detectores de traços; Medida da energia: Calorímetros; Medida da velocidade: Detectores de radiação de Cerenkov, TOF e TRD
Métodos estatísticos
Análise e Aquisição de Dados; Electrónica modular NIM e CAMAC; Digitalização, processamento e transmissão de sinais; Coincidência de sinais; curva de coincidências e acontecimentos fortuitos; Análise de dados: ROOT
Simulação de sistemas físicos e de detecção***

6.2.1.5. Syllabus:

***Cosmic radiation. Production and propagation. Earth magnetic field. Atmospheric showers. Detection of cosmic rays (spectrometers, multiplicity, fluorescence, cerenkov)
Experiments. Cosmic ray fluxes. Darkmatter and Antimatter
Interaction of particles with matter. Cross-section and interaction length. Interaction mechanisms. Energy loss and multiple scattering. Cerenkov radiation
Particles detection principles. Photon detection. Scintillation. Momentum measurement: tracking detectors. Energy measurement: calorimeters. Velocity measurement: cerenkov detectors, TOF and TRD
Statistical methods
Analysis and Data Acquisition. NIM and CAMAC electronics. Signal Processing and digitization. Signal coincidences: triggering. Data analysis: ROOT.
Simulation methods.***

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

O programa visa dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias inerentes aos objetivos da unidade curricular, na área científica de Física Experimental de Partículas e de Astropartículas.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The program covers the principal studies of the scientific activity in the area of the Experimental Particle and Astroparticle Physics, which corresponds to the goal of the course unit.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

O método de avaliação consiste na realização de trabalhos experimentais, com um relatório na forma de artigo científico e apresentação oral.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

It is made of experimental work to be reported in a scientific paper format (pagelimited) and an oral presentation.

6.2.1.8. Demonstração da coerência das metodologias de ensino com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular.
A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.
The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:
Cosmic Rays and Particle Physics, T. Gaisser, 1991, Cambridge Univ. Press; Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, W.R.Leo, 1994, Springer-Verlag; Statistics for Nuclear and Particle Physicists, L.Lyons, 1989, Cambridge Univ. Press

Mapa X - Lasers Ultra Intensos

6.2.1.1. Unidade curricular:
Lasers Ultra Intensos

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):
Gonçalo Figueira (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:
não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):
Nesta disciplina apresentam-se os conceitos fundamentais da física e tecnologia dos sistemas laser de alta intensidade. O programa percorre os principais passos envolvidos na geração, caracterização e aplicações destes sistemas. Pretende-se que os estudantes sejam capazes de dominar os aspectos essenciais do estado actual da tecnologia, com particular incidência nos sistemas laser de estado sólido de curta duração e alta potência. Os conhecimentos e capacidades adquiridos permitem a participação activa na investigação nesta área, ou em áreas em que este tipo de lasers tem um papel relevante.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:
In this course, the fundamental concepts of the physics and technology of high intensity laser systems will be presented. The program covers the main steps involved in the generation, characterization and application of these systems. The students are expected to acquire the essential knowledge on the technological state-of-the-art, with particular incidence in solid state, short pulse, high power laser systems. This will allow them to participate actively in the research in this area or other areas where these lasers play a relevant role.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

- 1. Fundamentos de lasers de alta intensidade. Propriedades dos materiais laser, amplificação e bombeamento.*
- 2. Geração e propagação de impulsos curtos. Descrição temporal e espectral. Propagação em meios dispersivos.*
- 3. Amplificação laser e arquitectura de sistemas laser. Amplificadores regenerativos e multi-passagens. Bombeamento e efeitos térmicos.*
- 4. Óptica não-linear. Descrição global da propagação de impulsos laser: a equação de Schrödinger não-linear. Efeito Kerr espacial e temporal. Conversão de frequência*
- 5. Propagação e transformação de feixes. Transporte de feixes, filtragem espacial, apodização. Isolamento óptico e integral-B. Amplificação de impulsos dispersos (CPA)*
- 6. Diagnósticos. Medição de energia, duração e perfil espacial.*
- 7. Aplicações de lasers de alta intensidade. Introdução à interacção laser-plasma.*
- 8. Sessões de formação prática no Laboratório de Lasers Intensos no IST*

6.2.1.5. Syllabus:

- 1. Fundamentals of high intensity lasers. Properties of laser materials, amplification and pumping.*
- 2. Short pulse generation and propagation. Temporal and spectral description. Propagation in dispersive media.*
- 3. Laser amplification and laser system architecture. Regenerative and multi-pass amplifiers. Pumping and thermal*

effects.

4. **Nonlinear optics. Global description of laser pulse propagation: the nonlinear Schrödinger equation. Spatial and temporal Kerr effects. Frequency conversion**

5. **Beam propagation and transformation. Beam transport, spatial filtering, apodization. Optical isolation and B-integral. Chirped pulse amplification**

6. **Diagnostics. Measurement of energy, duration and spatial profile.**

7. **Applications of high intensity lasers. Introduction to laser-plasma interaction.**

8. **Practical training sessions at the Laboratory for Intense Lasers, IST.**

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

Os conteúdos programáticos estão estruturados de modo a permitir a aquisição de conhecimentos, de um modo progressivo, conducente ao domínio dos principais conceitos relevantes para lasers de alta intensidade, principais parâmetros, diagnósticos e técnicas associadas. Contêm ainda sessões práticas em ambiente de laboratório laser de alta intensidade, permitindo uma aplicação prática dos conhecimentos.

6.2.1.6. **Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.**

The syllabus is structured in order to allow the gradual acquisition of know-how leading to the mastery of the main concepts relevant to high-intensity lasers, main parameters, diagnostics and associated techniques. It also contains training sessions in a high intensity laser laboratory environment, allowing for a practical application of the acquired knowledge.

6.2.1.7. **Metodologias de ensino (avaliação incluída):**

Ensino de base tutorial, adaptado ao plano de trabalho de cada estudante, e de acordo com os principais objetivos da sua tese. A avaliação é feita através das capacidades experimentais adquiridas na participação em experiências ou desenvolvimento de diagnósticos, ou através de um trabalho escrito e apresentação sobre um tópico.

6.2.1.7. **Teaching methodologies (including evaluation):**

Tutorial-based teaching, adequated to the work plan for each student, and according to the main objectives of the thesis. The evaluation takes place through a practical appreciation of the experimental skills acquired in the scope of a collaboration in an ongoing experiment or the development of a diagnostic, or through a written work and presentation about a topic.

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

A unidade curricular permite uma aquisição progressiva de conhecimentos, no âmbito do trabalho principal desenvolvido pelo aluno e conducente à sua tese, fortemente complementada com a integração em equipas experimentais e a participação em tarefas em curso no Laboratório de Lasers Intensos.

6.2.1.8. **Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.**

The curricular unit allows a gradual acquisition of knowledge, in the scope of the main work plan of the student leading to his thesis, strongly complemented with the integration into experimental teams and participation in ongoing tasks in the Laboratory for Intense Lasers.

6.2.1.9. **Bibliografia de consulta/existência obrigatória:**

*Lasers, A. E. SIEGMAN, 1986, University Science Books, Sausalito CA, 1986;
Principles of Lasers, O. SVELTO, 1998, Plenum Press, NY, 1998;
Quantum Electronics (3rd ed.), A. YARIV, 1989, John Wiley & Sons, 1989;
Solid-state Laser Engineering (5th ed.), W. KOECHNER, 1999, Springer Verlag, 1999*

Mapa X - Tópicos Avançados em Relatividade Geral, Astrofísica e Cosmologia I

6.2.1.1. **Unidade curricular:**

Tópicos Avançados em Relatividade Geral, Astrofísica e Cosmologia I

6.2.1.2. **Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):**

José Lemos (0.00)

6.2.1.3. **Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:**

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Este curso destina-se a familiarizar os estudantes com as descobertas mais importantes em cosmologia nas últimas décadas, e com a forma como estas alteraram a nossa percepção sobre a origem e estrutura do Universo. O curso cobre aspectos teóricos e observacionais relacionados com o Modelo Cosmológico Padrão, a termodinâmica do Universo primordial, a radiação cósmica de fundo, a teoria da inflação e formação de estruturas.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

This course is designed to acquaint students with the most important discoveries in cosmology in the last few decades, and how they have altered our perceptions of the origin and structure of the universe. The course covers both theoretical and observational aspects of Big Bang cosmology, thermodynamics of the early universe, the Cosmic Microwave Background, the theory of inflation and structure formation.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

- 1. Cosmologia Observacional*
- 2. O Modelo Cosmológico Padrão*
- 3. Radiação Cósmica de Fundo*
- 4. O Universo Inflacionário*
- 5. Formação de Estrutura em Modelos CDM*

6.2.1.5. Syllabus:

- 1. Observational Cosmology*
- 2. The Standard Cosmological Model*
- 3. The Cosmic Microwave Background Radiation*
- 4. The inflationary Universe*
- 5. Structure Formation in Cold Dark Matter (CDM) Models*

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Trabalho final sobre um tópico avançado (escrito e oral)

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Essay on advanced topic (written and oral presentation)

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Gravitation and Cosmology, Steven Weinberg, 1972, John Wiley & Sons; Cosmological Physics, J. Peacock, 1998,

Cambridge University Press; The Early Universe, Edward W. Kolb e Michael S. Turner , 1989, Addison-Wesley, Reading, Mass; Modern Cosmology, Scott Dodelson , 2003, Academic Press; Cosmological Inflation and Large-Scale Structure, A.R. Liddle and D.H. Lyth, 2000, Cambridge Univ. Press. 2000; Structure Formation in the Universe, T. Padmanabhan, 1993, Cambridge Univ. Press

Mapa X - Ondas e Instabilidades em Plasmas

6.2.1.1. Unidade curricular:

Ondas e Instabilidades em Plasmas

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Nuno Loureiro (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Aprender os conhecimentos de base da teoria cinética das ondas em plasmas. Ser capaz de utilizar as equações fundamentais da teoria cinética dos plasmas no estudo de diferentes tipos de ondas e instabilidades em plasmas.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

To learn basic knowledge on plasma wave kinetical theory. To be able to apply the fundamental equations of plasma wave kinetical theory to study diferent types of wave and instabilities in plasma systems.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

*Teoria hidrodinâmica das ondas em plasmas;
Plasmas magnetizados;
Ondas em plasmas finitos;
Acoplamento de modos;
Instabilidades de feixe;
Instabilidades de deriva;
Instabilidades paramétricas;
Resistividade anómala;
Aplicações à fusão magnética;
Aplicações à fusão por laser;
Aplicações à Astrofísica;
Novos aceleradores de partículas.
*

6.2.1.5. Syllabus:

*Hydrodynamic theory of waves in plasmas;
Magnetic plasmas;
Waves in finite plasmas;
Mode coupling;
Beam instabilities;
Drift instabilities;
Parametric instabilities;
Anomalous resistivity;
Applications to magnetic fusion;
Applications to laser fusion;
Applications to Astrophysics;
New particle accelerators.
*

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Exame Final

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Final Examination

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Waves in Plasmas, P. H. Stix, 1992, American Institute of Physics

Mapa X - Descargas em Gases**6.2.1.1. Unidade curricular:**

Descargas em Gases

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Luís Alves (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Introdução à Física das Descargas em Gases com o propósito de aplicar os fundamentos da teoria cinética às descargas em gases. A disciplina centra-se no estudo da equação cinética de Boltzmann para os electrões em diferentes situações e na determinação da função de distribuição da velocidade dos electrões, na presença de campos eléctricos contínuos e variáveis no tempo. Os efeitos produzidos pelas colisões elásticas e inelásticas são analisados em detalhe. Os efeitos produzidos pelas colisões coulombianas são igualmente analisados, usando neste caso a equação de Fokker-Planck.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Introduction to the Physics of Gas Discharges with the main purpose of applying the fundamentals of kinetic theory to the gas discharges. The course is focused on the study of the kinetic Boltzmann equation for the electrons in different situations, as well as in the determination of the electron velocity distribution function, in the presence of DC and time-varying electric fields. The effects produced by elastic and superelastic collisions are analyzed. The effects produced by coulomb collisions are analyzed as well using the Fokker-Planck equation.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

1 - Tópicos avançados sobre descargas

2 - Descrição cinética microscópica de um gás: Equação cinética de Boltzmann; Gás de Lorentz electrão-molécula; Acção de um campo eléctrico contínuo; Colisões elásticas, inelásticas e superelásticas; Difusão dos electrões; Efeito de campos de carga de espaço; Campo eléctrico variável; Presença de um campo magnético estacionário axial; Ressonância ciclotrónica dos electrões; Tensor de difusão.

3 - Descrição cinética macroscópica de um gás: Equações hidrodinâmicas de transporte; Difusão sob a acção de efeitos de campos de carga de espaço; Coluna de plasma controlada por difusão; Coluna de plasma em regime de

queda livre.

4 - Descrição de gás fortemente ionizado: Difusão num campo coulombiano; Secção eficaz de Rutherford; Equação de Fokker-Planck; Equação de Fokker Planck aplicada às colisões electrão-ião e electrão-electrão.

6.2.1.5. Syllabus:

1 - Advanced topics on gas discharges

2 - Kinetic microscopic description of an ionized gas: Boltzmann kinetic equation; Lorentz gas electron-molecule; Effect produced by a DC electric field; Elastic, inelastic and superelastic collisions; Electron diffusion; Space-charge field effects; Time-varying electric field; Presence of an axial stationary magnetic field; Electron cyclotron resonance; Electron diffusion tensor.

3 - Kinetic macroscopic description of an ionized gas: Hydrodynamic transport; Diffusion under the effects of space-charge fields; Plasma column controlled by diffusion; Plasma column in free-fall regime.

4 - Description of a highly ionized gas: Diffusion in a coulomb field; Rutherford cross section; Fokker-Planck equation; Fokker-Planck equation applied to electron-ion collisions and electron-electron collisions.

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Resolução de um problema integrado seguido por uma discussão oral.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Integrated problem solving followed by an oral discussion.

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Physique des Plasmas, Jean-Loup Delcroix e Abraham Bers, 1994, InterÉditions / CNRS Éditions; Gaseous Electronics and Gas Lasers, Blake E. Cherrington Oxford, 1979, Pergamon Press; Motions of Ions and Electrons, W. P. Allis, Handbuch der Physik, vol. 21, 1956, S. Flugge, Springer-Verlag – Berlin

Mapa X - Tópicos Avançados em Física Nuclear I

6.2.1.1. Unidade curricular:

Tópicos Avançados em Física Nuclear I

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Lídia Ferreira (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Obter conhecimentos em assuntos específicos de estrutura e reacções nucleares até ao nível dos conhecimentos actuais. Dar a possibilidade de conhecer topicos especializados de importância actual em Física Nuclear.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Understand specialised topics of nuclear structure and nuclear reactions, up to contemporary level of knowledge. To understand specialised aspects important in contemporary Nuclear Physics.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

Organizado em três módulos

I - Estrutura Nuclear

- 1- Teorias de campo médio.*
- 2- Teorias de campo médio com quebra de simetria.*
- 3- Matéria Nuclear e Equações de Estado*

II - Núcleos em condições extremas

- 1- Núcleos na região $N \approx Z$*
- 2- Núcleos nas drip-lines*
- 3- Reacções entre núcleos fora da estabilidade nuclear*

III - A Interação NN e os Potenciais Nucleares

- 1- A interação NN*
- 2- A região de curto alcance e QCD*
- 3- Aplicações*

6.2.1.5. Syllabus:

Organized in three topics

I - Nuclear Structure

- 1- Mean field theories.*
- 2- Mean field theories with symmetry breaking.*
- 3- Nuclear Matter and the Nuclear Equation of State*

II - Nuclei under extreme conditions

- 1- Nuclei in the $N \approx Z$ region*
- 2- Drip-line nuclei*
- 3- Nuclear reactions far from the stability region*

III - The NN interaction and Nuclear Potentials

- 1- The NN interaction*
- 2- QCD and the short range region*
- 3- Applications*

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Trabalhos trabalho final com apresentação oral de 30 m.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Final work with oral presentation of 30 m.

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Nuclear Structure, Bohr, A. and Mottelson, B.R., Benjamin, 1975; The Nuclear Many-Body Problem, Ring P. and Schuck P, Springer-Verlag, 1999; Quantum Many-Particle Systems, Negele J., Addison-Wesley, 1988; Elements of Nuclei: Many-Body Physics with the Strong Interaction, P.J. Siemens and A.S. Jensen, Addison-Wesley 1987; Theoretical Nuclear Physics Vol. I and II, Feschback H., Wiley-Interscience 1992; Direct Nuclear reactions, Satchler R, Oxford University Press 1983; Theoretical Nuclear and Subnuclear Physics, Walecka J.D., World Scientific 2004; The Nucleon Nucleon Interaction, Brown, G.E. and Jackson, A.D. , North-Holland, 1976; Pions and Nuclei, Ericson, T.E. and Weise, W., 1988, Clarendon Press, 1988.; Hadron Interactions, Collins C. and Martin A. D., Institute of Physics 1984; Advances in Nuclear Physics, selected Vols , J.W. Negele, Erich Vogt , 2003, Advances in Nuclear Physics; International Review of Nucl. Phys. Vols 1, 2, 8, vários, World Scientific 2000.

Mapa X - Laboratório de Física da Matéria Condensada**6.2.1.1. Unidade curricular:**

Laboratório de Física da Matéria Condensada

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Pedro José Oliveira Sebastião (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Desenvolvimento de competências na utilização de técnicas experimentais relevantes no domínio da Física da Matéria Condensada

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Development of expertise in the use of Experimental Techniques in the domain of Condensed Matter Physics.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

Realização de diferentes trabalhos experimentais com utilização de equipamentos disponibilizados pelos grupos de investigação associados à UC.

1-Ressonância Magnética Nuclear. Relaxação Magnética Nuclear. Dynamica Molecular

2-Microscopia Óptica polarizante em fases Líquido Cristalinas.

3-Técnicas de Calorimetria Diferencial. Transições de fase.

4-Difracção dos Raios X em fases cristalinas, líquido cristalinas e isotropas.

5-Técnicas de AFM

6-Espectroscopia de Raman

Interpretação quantitativa dos resultados experimentais sempre que possível.

6.2.1.5. Syllabus:

Perform different experimental works using the research equipment made available by the research groups collaborating with this CU.

1 - Nuclear Magnetic Resonance. Nuclear Magnetic Relaxation. Molecular Dynamics

2- Polarizing Optic Microscopic in Liquid crystal phase.

3 - Differential Colorimetry Techniques. Phase transitions

4 - X ray difraction in crystalline phase, isotropic liquid crystal.

5- AFM Techniques.

6- Raman Spectroscopy

Quantitative interpretation of the experimental results whenever possible.

Interpretação quantitativa dos resultados experimentais sempre que possível.

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

Os conteúdos programáticos desta unidade curricular (UC), permitem a aquisição e aprofundamento da capacidade de compreensão e utilização dos métodos experimentais no domínio do estudo de diferentes materiais líquidos e sólidos. Os alunos poderão visitar e aprofundar conhecimentos antecedentes, bem como adquirir novos conhecimentos úteis à sua formação em Física e fomentar a aprendizagem através de atividades de pesquisa autónoma. Procura da análise quantitativa dos resultados experimentais através do teste de modelos teóricos apropriados.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The syllabus of this curricular unit (CU) of experimental physics (EF) allow for the deepening and/or acquisition of the ability to understand and use different experimental methods for the study of different liquid and solid materials. The students are invited to remember previous knowledge on the subjects and to learn new skills useful for their training in Physics and promote the self-learning through autonomous research activity. The syllabus of this curricular unit (CU) also aims at promoting a qualitative analysis and interpretation of the experimental results.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Apresentação das técnicas experimentais, Discussão dos diferentes aspectos associados às medidas experimentais e aos estudos propostos. Trabalho autónomo na aquisição de dados e tratamento de resultados. Estudo de um sistema pelas diferentes técnicas experimentais.

Avaliação: Monografia e Discussão final individual

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Presentation of the different experimental methods and techniques. Discussion of the different aspects related with the measurements and studies to be made. Autonomous work in the data acquisition and data analysis. Study of a systems using the different experimental techniques.

Evaluation: Individual monograph and final discussion

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos e da utilização dos equipamentos disponíveis nos diferentes laboratórios de investigação disponibilizados pelos grupos de investigação. Aquisição de competências no desenvolvimento de actividades e métodos experimentais em contacto com equipamentos de utilizados em laboratórios de investigação.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental working close contact with the research facilities provided by the research laboratories associated with this CU.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

The Physics of Liquid Crystals, 2nd Edition, P.G. de Gennes, J. Prost, 1993, Oxford University Press; Introduction to Solid State Physics, vol. 1, C. Kittel, 1996, John Wiley and Sons; Nuclear Magnetic Resonance of Liquid Crystals, Ronald Y. Dong, 1994, Springer-Verlag; Abragam, A. The Principles of Nuclear Magnetism Oxford, University Press: Oxford, England, 1961; Kimmich, R. & Anardo, E. Field-cycling NMR relaxometry Progr. NMR Spectrosc., 2004, 44, 257-320; Sebastião, P. J.; Cruz, C. & Ribeiro, A. C. Dong, R. Y. (Ed.) Nuclear magnetic resonance spectroscopy of liquid crystals 5. Advances in Proton NMR Relaxometry in Thermotropic Liquid Crystals World Scientific Co., Ronald Y. Dong ed., 2009, 129-167

Mapa X - Física da Reentrada do Espaço

6.2.1.1. Unidade curricular:

Física da Reentrada do Espaço

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):
David Resendes (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:
não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):
Pretende-se levar os alunos à análise compreensiva dos processos fundamentais e das técnicas experimentais associadas ao estudo de escoamentos de reentrada atmosférica.

Objectivos Operacionais;

Adquirir uma visão multidisciplinar dos processos físico-químicos em desequilíbrio termodinâmico associados a escoamentos de reentrada atmosférica. Conhecer os diferentes meios de ensaio e as diferentes técnicas experimentais utilizadas para a simulação e o estudo de escoamentos de reentrada. O aluno terá adquirido a capacidade de iniciar estudos de investigação na área ou de trabalhar na indústria deste sector espacial.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:
Comprehensive approach to reentry aerothermodynamics focusing on fundamentals and techniques.

Operational Objectives;

To acquire a multidisciplinary vision of the nonequilibrium physical-chemical processes encountered during an atmospheric entry. To acquire a knowledge on the different ground-test facilities and diagnostics utilized for the study of atmospheric entry processes. Upon course completion, the student will be able to enter either specialized research in the field or work in industry in the space reentry sector.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:
O programa aborda os aspectos macroscópicos e microscópicos de escoamentos de reentrada atmosférica a altas temperaturas, baixas pressões, e forte desequilíbrio termodinâmico. Os tópicos abordados são os seguintes:

- 1. Noções básicas de trajectórias orbitais de reentrada.*
- 2. Características hidrodinâmicas de escoamentos hipersónicos.*
- 3. Termodinâmica estatística de escoamentos a alta temperatura e em desequilíbrio.*
- 4. Processos cinéticos e reactivos de troca de energia.*
- 5. Processos radiativos.*
- 6. Processos de relaxação atrás de uma onda de choque. Desenvolvimentos de modelos cinéticos. Efeitos plasma no escoamento.*
- 7. Processos de transporte em escoamentos de reentrada.*
- 8. Processos catalíticos e protecções térmicas de veículos de reentrada.*
- 9. Dimensionamento de veículos de reentrada.*
- 10. Diagnósticos e meios de ensaio para o estudo e a reprodução das condições de reentrada atmosférica.*

6.2.1.5. Syllabus:
This is a multidisciplinary course which bridges both macroscopic and microscopic aspects of high temperature, low pressure nonequilibrium flows. The main topics covered are as follows.

- 1. Fundamentals of reentry trajectories.*
- 2. Fluid description of hypersonic flows.*
- 3. Statistical thermodynamics of high temperature nonequilibrium flows.*
- 4. Non-reactive and reactive kinetic processes.*
- 5. Radiative processes.*
- 6. Relaxation processes behind a shock-wave. Plasma effects.*
- 7. Transport in reentry flows .*
- 8. Catalysis and thermal protection systems in reentry vehicles.*
- 9. Reentry vehicles.*
- 10. Diagnostics and ground-test facilities for the reproduction and study of atmospheric entry flows.*

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Trabalho final com discussão.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Final application work with discussion

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Hypersonic and High Temperature Gas Dynamics, John D. Anderson, 2000, AIAA General Publication Series, 2000.; Physics of Shock Waves and High Temperature Hydrodynamic Phenomena, Y. Zeldovich and Y. Raizer, Ed. Wallace Hayes and Ronald Probstein, 2002, Dover, 2002.; Nonequilibrium Hypersonic Aerothermodynamics, C. Park, 1989, John Wiley & Sons, 1989.

Mapa X - Teoria de Grupos em Física

6.2.1.1. Unidade curricular:

Teoria de Grupos em Física

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

David Emanuel da Costa (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Dar aos estudantes tópicos avançados de teoria de grupos, incluindo grupos discretos e contínuos, com especial ênfase na aplicação às várias áreas da Física Moderna.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Give the students an introduction to the basic notions of group theory, with special emphasis to applications to various areas of Modern Physics.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

1) Conceitos Básicos. Definição de grupo. Grupos discretos e grupo contínuos. Classes, subgrupos invariantes, cosets, homomorfismos e isomorfismos, factor groups. Produtos directos e semidirectos. 2) Grupos de Lie e Álgebras de Lie. Definições, propriedades. Geradores infinitesimais do grupo, exemplos. 3) Representações de Grupos de Lie e de Álgebras de Lie. Representações equivalentes, representações unitárias. Representações redutíveis e irredutíveis. Caracteres. Métodos para obter as representações irredutíveis de grupos importantes em Física. Raízes (roots), pesos (weights), diagramas de Dynkin. 4) Grupos Topológicos e suas aplicações 5) Aplicações à Física. Grupos de rotação e

de translação. Grupos em física molecular e em física do estado sólido. Grupo de Lorentz e de Poincaré. $SU(n)$ e métodos tensoriais. $SO(n)$, representações spinoriais. Simetrias globais e de gauge em física de partículas.

6.2.1.5. Syllabus:

1) Basic Concepts. Group definition. Discrete and continuous groups. Classes, invariant subgroups, cosets, homomorphic and isomorphic mappings, factor groups, direct and semi-direct product groups. 2) Lie groups and Lie Algebras. Definitions, properties. Infinitesimal group generators, examples. 3) Representations of Lie Groups and Lie Algebras
Equivalent representations, unitary representations. Reducible and irreducible representations. Characters. Methods for finding the irreducible representations of physically important groups. Roots, weights, Dynkin diagrams. Topological groups and their application. 5) Applications to Physics. Rotation and Translation Groups. Groups in molecular physics and in solid state physics. Lorentz and Poincare group. $SU(n)$ and tensor methods. $SO(n)$, spinor representations. Global and gauge symmetries in particle physics.

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos. A Teoria de Grupos é uma ferramenta fundamental para compreender as leis de simetria dos sistemas físicos. São abordados tópicos que permite a sua aplicação em Mecânica Quântica, Teoria de Campo, Física de Partículas e Cosmologia. Os diferentes módulos que leccionamos correspondem aos principais resultados da teoria de grupos e como tal são coerentes com os objetivos da unidade curricular.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4. Group Theory is a fundamental tool used to better understand the laws of symmetry in Physics. The covered subjects in the course can lead to diverse applications like in Quantum Mechanics, Quantum Field Theory, Particle Physics and Cosmology. The different modules we teach include the major results of Group Theory, and thus they are consistent with the objectives of the course.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Os módulos do programa são leccionados todas as semanas, onde um livro avançado ou um artigo científico de revisão são introduzidos. Os alunos deverão resolver cada semana um conjunto de problemas práticos condos no programa. No final do semestre os alunos deverão apresentar um trabalho científico. O trabalho consiste em entender artigos de revisão e os alunos são supostos fazerem um cálculo analítico, numérico e computacional. Apresentação da matéria em Aulas Teóricas e resolução de problemas. Apresentação de um trabalho final.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The modules are taught in weekly tutoring classes, where an advanced book or article of scientific review article is introduced. Each week the student gets a list of problems to solve in order to review and practice the studies of the week. At the end of the semester the students should present research work. The work may consist mostly in a literature review but must include at least an analytical calculation or a numerical computation, including a computer code.

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações. A cadeira de Teoria de grupos em Física é uma cadeira avançada com grande aplicação na investigação O trabalho final , num formato de trabalho científico, deve ser orientado para um tópico de Teoria de grupos que tenha relação com o tema da Tese de doutoramento do aluno.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations. The course on Group Theory for Physics is an advance course with many important applications including fundamental Physics and therefore relevant for scientific research. The final work, in a scientific paper format, should focused to one of Group Theory topics that are related to the objectives of the student's PhD thesis .

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

- Tung, W.K. (1985). Group Theory in Physics. World Scientific.*
Cornwall, J. F. (1984). Group theory in Physics. Academic Press.
Wybourne, B. G. (1974). Classical Groups for Physicists. John Wiley & Sons.
Georgi, H. (1982). Lie-Algebras in physics. The Benjamin/Cummings Publ. Comp., Reading Mass.
Cahn, R. (1984). Semi Simple Lie Algebras And Their Representations. The Benjamin/Cummings Publ. Comp.

Mapa X - Física Nuclear**6.2.1.1. Unidade curricular:**

Física Nuclear

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Maria Teresa Haderer de la Peña Stadler (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

A UC como objectivo dar conhecimentos em temas específicos de Física Nuclear. Como parte de conhecimento fundamental, a UC fornece bases sólidas para investigação e desenvolvimento em temas actuais e aplicações na medicina, na astrofísica, na energia, na indústria.
Pretende-se que além de compreender estrutura nuclear o estudante adquira as competências para resolver problemas,
-relacionando-a com aspectos quantitativos dos diferentes decaimentos radioactivos e reacções nucleares, ligados a energética, conservações de números quânticos e razões de ramificação, etc
-identificando a operacionalidade do conhecimento dessa estrutura nas aplicações, como imagiologia por ressonância magnética e PET, investigação ambiental, investigação sobre história da arte e património, produção de energia.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

To develop the knowledge in specific subjects of Nuclear Physics. As part of fundamental level training, the unit supplies solid basis for research and development in forefront problems and applications in medicine, astrophysics, industry and energy.
Beyond the understanding of nuclear structure, the student will acquire skills for problem solving, by
-connecting the features of nuclear structure to quantitative characteristics of the different radioactive decays and nuclear reactions, as energetics, conservation of quantum numbers, branching ratios, etc
-identifying the operational character of that knowledge in the development of applications as MRI and PET imaging, environmental research, history of art and patrimony, energy production.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

Núcleos e seus constituintes. Propriedades estáticas e dinâmicas. Raio e massa.
Densidade nuclear. Momentos electromagnéticos.
Estrutura nuclear. Fórmula semi-empírica de massa. Vale de estabilidade. Modelos e previsões das propriedades do estado fundamental dos núcleos; números mágicos e modelo em camadas (SM). Propriedades da força nuclear; a interação nucleão-nucleão e o deuterão.
Decaimento nuclear e radioactividade; radioactividade natural e datação. Teoria quântica dos decaimentos para os diferentes tipos de decaimento. Transições electromagnéticas e multipolos.
Reações nucleares e secções eficazes, dispersão nuclear, fissão nuclear, fusão nuclear, secções eficazes de absorção de neutrões; reactores nucleares, reactors de fusão; nucleosíntese nas estrelas.

6.2.1.5. Syllabus:

Nuclei and their constituents. Static and Dynamical Properties. Radius and mass. Nuclear Density. Electromagnetic moments.
Nuclear Structure. Semi-empirical mass formula.
The interaction between nucleons; properties of the nuclear force. Stability Valley. Modles and predictions of the fundamental state of nuclei; magic numbers and the shell-model (SM). Interaction between nucleons; propeerties of the nuclear force: a interação nucleão e o deuterão.
Nuclear decay and radioactivity; natural radioactivity and dating techniques. Quantum theory of decays for the different decays. Electromagnetic transitions and multipoles.
Nuclear Rections and cross-section; nuclear scattering, nucear fission; cross section for neutron absorption; nuclear

reactors, fusion reactors, nucleosynthesis in stars.

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

Os conteúdos programáticos abrangem os principais tópicos e aplicações de Física Nuclear, aprofundam conhecimentos importantes e preparam para atividades de pesquisa autónoma e de inovação.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The syllabus covers the main topics and practical applications of Nuclear Physics, and give advanced knowledge that is important for the training in Physics Engineering. It prepares the students to proceed autonomous research activities and innovation.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Trabalhos a realizar durante o semestre (40%) e teste/exame (60%)

Aulas teóricas, aulas de discussão de problemas, análise de artigos de referência da literatura, em certos temas, por exemplo, discussão de resultados recentes em Física Nuclear, como a nova determinação do raio do próton por espectroscopia laser, em contradição com os resultados de dispersão de electrões, bem como outros sobre forças de dois e três nucleões, astrofísica nuclear.

Foram ainda introduzidos na leccionação seminários por especialistas diferentes e externos à UC, teóricos e experimentalistas.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Works done during the semester (40%) and test/exam (60%)

Lectures, classes for discussion of problems, analysis of reference papers of the literature in some subjects.

Discussion of recent results in Nuclear Physics, e.g. the determination of the proton radius, from laser spectroscopy at odds with electron scattering data, and other papers (for instance on Nuclear Astrophysics, the NN interaction, two nucleon and three nucleon forces).

The teaching methodologies include as well seminars by different experts external to the UC, theoretical and experimentalist nuclear physicists.

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

A resolução de exercícios treina a aplicação dos conhecimentos dos conteúdos programáticos, e permite a sua relação e a sua consolidação.

Os métodos de ensino foram concebidos de modo a que os estudantes possam desenvolver um conhecimento abrangente das potencialidades da Física Nuclear, assegurando assim também a conformidade com os objetivos da unidade curricular.

A leccionação tem lugar em ambientes de aprendizagem que permitem o trabalho individual ou em grupo em contacto próximo com profissionais estabelecidos no domínio.

Foram incluídos na leccionação seminários com recurso a convidados exteriores à UC, para aprofundamento de temas e reflexão sobre extensões relevantes do programa, interessantes e actuais.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of calculations and analysis of papers, demand the application of knowledge of the topics of the syllabus, and enable their interconnection and consolidation.

The teaching process occurs in an environment where the individual or work group proceeds in contact with established professionals in the field.

The seminars of nuclear physicists outside the UC also reinforces skills for thinking on extensions of the syllabus, with relevant examples of today's great interest.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Introductory Nuclear Physics, Krane, K. S. 1987 J. Wiley

An introduction to Nuclear Physics

W. N. Cottingham and D.A. Greenwood 2001 Cambridge

Mapa X - Ensino e Divulgação Científica-Df

6.2.1.1. Unidade curricular:

Ensino e Divulgação Científica-Df

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Departamento de Física

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Desenvolver capacidade de comunicação útil em áreas como ensino, apresentações de trabalhos científicos e/ou técnicos, formação de carácter profissionalizante.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Develop useful communication skills for teaching, professional training, and scientific presentations.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

São abordados tópicos que incluem a preparação e leccionação de aulas, gestão do tempo, ensino em laboratório e/ou aulas práticas (resolução de problemas).

São ainda utilizados como elementos de formação a supervisão e a classificação de trabalhos de laboratório, a elaboração e classificação de trabalhos de casa e de testes e exames.

6.2.1.5. Syllabus:

Training topics include: preparing and delivering lectures; time management; teaching in the laboratory and in problem solving classes; supervising/grading laboratory projects, homework assignments, or tests.

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Os estudantes têm que submeter um relatório escrito sobre o seu trabalho de apoio ao ensino (relatório de ensino: experiências e resultados) o qual é avaliado por um júri composto no mínimo pelo supervisor da prática de apoio ao ensino e pelo coordenador do programa doutoral.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Students must submit a written report on their work as teaching assistants (teaching report: experiences and results). Each report will be evaluated by a committee including at least the supervisor of the students training program and the coordinator of the doctoral program.

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

A bibliografia adequada a cada caso.

Mapa X - Física Atómica e Molecular dos Plasmas

6.2.1.1. Unidade curricular:

Física Atómica e Molecular dos Plasmas

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Vasco Guerra (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Pretende-se dar ao estudante uma visão integrada e aprofundada dos processos elementares, atómicos e moleculares, existentes no meio activo gasoso fora do equilíbrio produzido por um plasma. Os alunos devem adquirir a capacidade de descrever quantitativamente os diversos aspectos da física atómica e molecular dos plasmas, ficando assim habilitados a desenvolver modelos colisionais-radiativos em plasmas.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

To give the student an integrated and detailed view of the atomic and molecular elementary processes occurring in the active gaseous medium out of equilibrium produced by plasma. Students should acquire the necessary skills to describe quantitatively the different aspects of atomic and molecular physics in plasmas, thus being able to develop detailed collisional-radiative models in plasmas.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

- 1.Processos radiativos atómicos e moleculares: noções elementares (emissão espontânea e induzida, absorção, radiação discreta e contínua, coeficientes de Einstein e forças de oscilador)*
- 2.Processos elementares electrónicos e iónicos*
- 3.Difusão elástica e inelástica dos electrões; secções eficazes de excitação e ionização*
- 4.Métodos experimentais de determinação de secções eficazes: medições da velocidade de deriva, da energia característica e do coeficiente de ionização de Townsend.*
- 5.Alargamento das riscas espectrais: alargamento colisional e Doppler*
- 6.Colisões entre espécies atómicas: excitação e ionização por colisão com outros átomos; transferência de carga; ionização e detachment electrónico*
- 7.Relaxação em gases: relaxação translacional, rotacional e vibracional*
- 8.Dissociação de moléculas diatómicas: dissociação térmica e equilíbrio dissociação-reassociação; predissociação de estados electrónicos*

6.2.1.5. Syllabus:

- 1.Atomic and molecular radiative processes: elementary notions (spontaneous emission, induced emission, absorption, discrete and continuous radiation, Einstein coefficients and oscillator strengths), radiation of atomic and molecular species.*
- 2.Electron and ion elementary processes.*
- 3.Electron elastic and inelastic diffusion; excitation and ionization cross sections.*
- 4.Experimental determination of electron impact cross sections: measurement of drift velocities, drift coefficients and Townsend ionization coefficients.*
- 5.Spectral line broadening: collisional and Doppler broadening.*
- 6.Collisions between atomic systems: excitation and ionization in collisions with other atoms; charge transfer; electron ionization and detachment.*
- 7.Relaxation in gases: translational, rotational and vibrational relaxation.*
- 8.Dissociation of diatomic molecules: thermal dissociation and dissociation-recombination equilibrium; predissociation of electronic states.*

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

As aulas estão divididas entre aulas teóricas e resolução de exercícios práticos sobre os conteúdos da UC, tendo sido desenvolvida documentação específica para o efeito. Existem ainda seminários de vários especialistas trabalhando na área, por forma a relacionar os alunos com trabalho no terreno and com os grandes projectos internacionais.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The course is divided in theoretical lectures and resolution of practical exercises on the contents of the UC. Specific documentation has been prepared to support this approach. In addition, there are several seminars along the semester, given by experts working in the field, so that the students can make the link with the field-work and with the large

international projects.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Trabalho final com discussão.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Final homework with discussion

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

Considerando o objectivo da UC, os métodos de ensino garantem uma sólida formação, sendo possível aos alunos identificar desafios, compreender os problemas e propor soluções usando diferentes técnicas. Diferentes tipos de metodologias de aprendizagem são utilizados na UC: seminários de especialistas, exercícios e teste final.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

Considering the aim of the course, the teaching methodology provides a solid formation, allowing the students identify challenges, understand the problems and propose better solutions using different techniques. Different types of teaching methodologies are explored: seminars from specialists, resolution of practical exercises and a final homework with discussion.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Atomic and Molecular Processes, D.R. Bates, 1962, Academic Press (Nova Iorque), 1962; Spectra of Atoms and Molecules, P. F. Bernath, 1995, Oxford University Press (Nova Iorque), 1995.; Kinetic Processes in Gases and Molecular Lasers, B.F. Gordiets, A.I. Osipov e L.A. Shelepin, 1988, Gordon and Breach (Nova Iorque), 1988.; Theory of Elementary Atomic and Molecular Processes in Gases, E.E. Nikitin, 1974, Clarendon (Oxford), 1974; Spectroscopie des Plasmas Moleculaires et Cinétiques des États Excités, A. Ricard, 1981, Laboratoire de Physique des Gaz et des Plasmas (Orsay), 1981; Spectra of Diatomic Molecules, G. Herzberg, 1965, D. van Nostrand Company Inc., vol I, 1965.; Radiative Transfer and Interactions with Conduction and Convection, M. N. Osizik, 1972, McGraw-Hill, 1972

Mapa X - Astropartículas

6.2.1.1. Unidade curricular:

Astropartículas

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Mário Pimenta (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Introduzir o aluno ao mundo da física das astropartículas.

Perceber os principais temas de investigação teóricos e experimentais neste campo.

Elaborar, num caso concreto, o esboço de uma proposta preliminar de uma experiência.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

A first introduction to the astroparticle world. Understand the main experimental and theoretical subjects of research in this field

Make, in a specific subject, a first preliminary draft of an experiment.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

O Modelo Padrão e suas extensões Um espaço-tempo curvo. Um gás de partículas relativistas e não relativistas.

Modelos Cosmológicos simples: Universos de radiação, matéria e vacuo. A expansão do Universo: SN cosmological Project.

Etapas do big-bang: Nucleosíntese e Recombinação A Formação de Estruturas

Universo Homogéneo/Heterogéneo CMB e Large Scale Structures. As sondas que vêm do Universo: Raios cósmicos hadrónicos, Astronomia gamma, Neutrinos, Ondas gravitacionais, A matéria Escura.

6.2.1.5. Syllabus:

The Standard Model of Particle Physics The curvature of space-time

Cosmological models The expansion of the Universe. SN cosmological Project. The big-bang, CMB e Large Scale Structures. The probes from the Universe: Charged cosmic rays, gamma rays, Neutrinos, gravitational waves. The Dark matter.

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Trabalho, com apresentação oral num seminário de 30 m.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

A 30m final seminar based in a specific individual work

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Cosmology and Particle Physica, Lars Bergstram and Ariel Goobar , 1999, ISBN 0471970425 ; Particle Astrophysics , Donald Perkins , 2003, ISBN 0198509529

Mapa X - Teorias de Unificação

6.2.1.1. Unidade curricular:

Teorias de Unificação

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Mário Joao Martins Pimenta (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Dar aos estudantes uma introdução ao Modelo Standard de Unificação das interações electromagnéticas, fracas e fortes, dando ênfase também às grandes questões em aberto.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Give the students an introduction to the Standard Model of Unification of the electromagnetic, weak and strong interactions, with emphasis also on the grand open questions.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

1. Introdução:

Simetrias globais, locais e a sua quebra espontânea. O teorema de Goldstone.

Mecanismo de Higgs. Teorias de gauge não-abelianas.

2. O Modelo Standard (MS):

O Lagrangeano MS. Correntes neutras e carregadas. O mecanismo de GIM.

Acoplamentos de Yukawa e massas de fermiões. A matriz CKM. Triângulos de unitariedade, testes experimentais e a procura de Nova Física.

As interações Fortes : cromodinâmica quântica, 3. Extensões do MS:

Massas de e oscilações de neutrinos. O mecanismo seesaw. A matriz PMNS: . Simetrias e o enigma do sabor. Sistemas multi-Higgs. Violação espontânea de CP. Quarks vectoriais.

4. Grande Unificacao:

Ideias básicas. Teoria de Grupos. Os modelos de grande unificação SU(5) e SO(10). Decaimento do próton, massas de neutrinos. supersimetria.

5. Ligações a Cosmologia:

Assimetria bariónica do Universo. Cenários para a bariogenese e a leptogenese.

Matéria escura. A constante cosmológica.

6.2.1.5. Syllabus:**1.Introduction:**

Global, local symmetries and their spontaneous breaking. The Goldstone theorem. The Higgs mechanism. Non-abelian gauge symmetries.

2. The Standard Model (SM):

The SM Lagrangian. Charged and Neutral Currents. The GIM mechanism.

Yukawa couplings and fermion masses. The CKM matrix.

The unitarity triangle, experimental tests, and search for New Physics.

Strong interactions :

3. Extensions of the SM:

Neutrino masses and oscillations. The seesaw mechanism. The PMNS

matrix. Flavour symmetries and

the flavour puzzle. Multi-Higgs systems. Spontaneous CP violation. Vector-like quarks.

4. Grand-unification:

Basic ideas. Elements of group theory. The SU(5) and SO(10) grand-unified

models. Proton-decay, neutrino masses. Brief introduction to supersymmetry.

5. Connections to Cosmology:

Baryon Asymmetry of the Universe. Scenarios for baryogenesis, leptogenesis.

Dark matter. The cosmological constant.

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, acima descritos, os conteúdos programáticos visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao cumprimento dos objectivos curriculares estabelecidos

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, the topics covered aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described above.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Exame final individual para ser feito em casa.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Individual take home final exam.

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

Os métodos de ensino foram concebidos de modo a que os alunos possam desenvolver um conhecimento abrangente das potencialidades neste domínio, assegurando simultaneamente a conformidade com os objectivos da unidade curricular. Assim considera-se fundamental que os alunos realizem trabalho autónomo nesta área para ficarem em condições de iniciarem o trabalho de investigação.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies were thought in such a way that the students can develop a broad knowledge in the field of Fundamental Interactions of Nature, in agreement with the goals and syllabus of the course. It is of fundamental importance that the students learn how to do autonomous work and start research in this area.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Gauge Theories of the Strong, Weak and Electromagnetic Interactions, Chris Quigg, 1997, The Benjamin/ Cummings Publishing Company; *CP Violation*, G.C. Branco, L. Lavoura, J. P. Silva., 1996, World Scientific; *Massive Neutrinos in Physics and Astrophysics*, R.N. Mohapatra and Palash Pal, 1991, World Scientific; *Grand-Unified Theories*, Graham Ross, 2003, The Benjamin/ Cummings Publishing Company.

Mapa X - Tópicos de Matéria Condensada**6.2.1.1. Unidade curricular:**

Tópicos de Matéria Condensada

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Vítor Vieira (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Consolidação e complementação da formação dos alunos em física da matéria condensada. Desenvolver a capacidade de resolução analítica, numérica ou computacional de problemas no âmbito da disciplina.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

To strengthen and consolidate the knowledge of the students in condensed matter physics. Development of the skills to solve analytically, numerically or computationally problems within the scope of the course.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

Estudo de sistemas com correlações fortes de sistemas electrónicos e de spin. Utilização da teoria de Landau de transições de fase. Cálculo do espectro de baixa energia e das suas excitações colectivas. Sistemas com impurezas. Estudo de sistemas quânticos abertos.

6.2.1.5. Syllabus:

Study of strongly correlated electronic and spin systems. Application of the Landau theory of phase transitions. Calculation of the low energy spectrum and of the collective excitations. Systems with impurities. Study of open quantum systems.

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

A disciplina de tópicos de física da matéria condensada visa a consolidação e complementação dos conhecimentos do aluno na área da física da matéria condensada. A escolha dos tópicos do programa toma assim em consideração as matérias das unidades curriculares anteriores desta área, bem como o desenvolvimento da própria física da matéria condensada e a importância desses desenvolvimentos, sendo a bibliografia escolhida pela sua relevância, actualidade e de acordo com o grau de dificuldade adequado.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The aim of this curricular unit is to strengthen and complement the formation of the student in the area of condensed matter physics. The choice of the programmatic topics takes into consideration the programs of the previous curricular units in this area, and also the development of condensed matter physics itself and the importance of those developments, with the bibliography having been chosen by its relevance, up to date and adequate degree of difficulty.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

As aulas são em regime teórico-prático, estimulando forte interacção com os alunos. É dada grande importância à realização de trabalhos de casa, tipo problemas de fim de capítulo, com discussão das dúvidas resultantes. Além dos trabalhos realizados ao longo do semestre, a avaliação final é feita através da apresentação oral de um tópico.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Classes are in a theoretical-practical regime, stimulating a strong interaction with the students. Great importance is given to home works, of the end of chapter type, with discussion of the resulting questions and doubts. Besides the

work performed during the semester, the final evaluation is done by an oral presentation.

6.2.1.8. Demonstração da coerência das metodologias de ensino com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular.
O regime teórico-prático das aulas permite uma forte interacção com os alunos, nomeadamente através da discussão das dúvidas decorrentes da realização dos problemas. Uma das componentes da formação consiste na apresentação e discussão dos fundamentos de alguns métodos computacionais e numéricos usados em física da matéria condensada. A abordagem seguinte permite o aluno adquirir uma formação sólida, de uma forma contínua, reforçando as suas capacidades analíticas, computacionais e numéricas.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.
The theoretical-practical regime of the classes promotes a strong interaction with the students, namely through the discussion of the questions and doubts resulting from solving the problems. One of the formation components consists in the presentation and discussion of some of the computational and numerical methods used in condensed matter physics. This approach allows the student acquiring a solid formation, in a continuous manner, reinforcing his analytic, computational and numerical capabilities.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:
Condensed Matter Physics, Marder M. P., 2000, John Wiley & Sons

A Quantum Approach to Condensed Matter Physics, Taylor P. L. and O. Heinonen, 2002, Cambridge University Press

Mapa X - Tópicos Avançados em Relatividade Geral, Astrofísica e Cosmologia II

6.2.1.1. Unidade curricular:
Tópicos Avançados em Relatividade Geral, Astrofísica e Cosmologia II

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):
José Lemos (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:
não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):
Este curso tem como objectivo familiarizar os estudantes com os principais desenvolvimentos da astrofísica contemporânea e como estes conduzem à visão de que o Universo é composto por componentes visíveis, associadas essencialmente à matéria bariónica, e componentes invisíveis, relativas à matéria escura e à energia escura.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:
The aim of this course is to acquaint students with the most relevant developments in modern astrophysics and show how it leads to a description where the Universe is made of visible components, essentially associated to the baryonic, and to invisible components, related to dark matter and dark energy.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

- 1. Astronomia Geral*
- 2. Galáxias*
- 3. Estrelas*
- 4. Objectos Compactos*
- 5. Explosões de Raios Gama*
- 6. Núcleos Activos de Galáxias*
- 7. Distribuição em Larga Escala da Matéria no Universo*
- 8. Matéria Escura*
- 9. Energia Escura*

6.2.1.5. Syllabus:

- 1. General Astronomy*
- 2. Galaxies*
- 3. Stars*
- 4. Compact Objects*
- 5. Gamma Ray Bursts*

- 6. Active Galactic Nuclei
- 7. Large Scale Matter Distribution in the Universe
- 8. Dark Matter
- 9. Dark Energy

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Trabalho final sobre um tópico avançado (escrito e oral)

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Essay on advanced topic (written and oral presentation)

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Gravitation and Cosmology, Steven Weinberg, 1973, John Wiley & Sons ; The Early Universe, Edward W. Kolb e Michael S. Turner, 1990, Addison- Wesley; Principles of Physical Cosmology, P.J.E. Peebles, 1993, Princeton University Press, Princeton ; Theoretical Astrophysics, T. Padmanabhan, 2000, Cambridge University Press ; Stellar Astrophysics, R.Q. Huang and K.N. Yu, (Springer-Verlag, 1998, Springer-Verlag, Sin- gapore; Stellar Structure and Evolution, R. Kippenhahn and A. Weigert, 1990, Springer- Verlag, Berlin Heidelberg; Astronomy and Astrophysics with Elements of Cosmology, V.B. Bhatia, 2001, Alpha Science International Ltd.

Mapa X - Espectroscopia da Matéria Condensada

6.2.1.1. Unidade curricular:

Espectroscopia da Matéria Condensada

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

A UC não foi oferecida.

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Fornecer ao estudante as bases teóricas e práticas da espectroscopia da matéria condensada, com ênfase na espectroscopia de ressonância nuclear no estado sólido, filmes finos e sistemas multicamada. Familiarizar o aluno com a aquisição de dados espectroscópicos a nível atômico e nuclear, a determinação dos parâmetros espectrais e a interpretação dos espectros em termos da estrutura e das propriedades da matéria condensada.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Provides the student with a theoretical and practical background for the condensed matter spectroscopy, with emphasis on nuclear resonance spectroscopy in the solid state, thin films and multilayers.

Guides the student across the spectral data acquisition at both the atomic and the nuclear level, determination of the spectral parameters and interpretation of spectra in terms of the condensed matter structure and properties.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

1. Radiação atómica e nuclear. Transições radiativas. Coeficientes de Einstein. Largura da linha. Radiação gamma nuclear. Largura da linha. Polarização e intensidade. Regras de selecção dipolo eléctrico. Polarização.

2. Interações hiperfinas, magnética e eléctrica. Hamiltoniano de spin.

3. Ressonância magnética, electrónica e nuclear. Parâmetros experimentais. Análise dos espectros no estado sólido.

4. Ressonância gamma nuclear. Espectroscopia de Mössbauer. Análise de fase em materiais cristalinos. Distribuição de campos hiperfinos.

5. Ressonância nuclear em filmes finos granulares e amorfos. Análise de fase, nanoestrutura, nanomagnetismo, interações de curto alcance e de longo alcance.

6. Ressonância nuclear em multicamadas metálicas. Estrutura local e propriedades magnéticas de superfície/interface.

7. Trabalhos práticos de espectroscopia em filmes finos metálicos/óxidos e sistemas multicamada.

6.2.1.5. Syllabus:

1. Atomic and nuclear radiation. Radiative transitions. The Einstein coefficients. Linewidth in atomic spectroscopy. Nuclear gamma radiation. Nuclear linewidth. Polarization and intensity. Selection rules for electric dipole transitions. Polarization state.

2. Hyperfine interactions. Magnetic interaction. Electric interaction. The spin Hamiltonian.

3. Magnetic resonance spectroscopy. Electron paramagnetic and nuclear magnetic resonance. Experimental parameters. Analysis of the magnetic resonance spectra in the solid state.

4. Nuclear gamma resonance spectroscopy. Conversion electron Mössbauer spectroscopy. Phase analysis in crystalline materials. Hyperfine field distribution in granular and amorphous materials.

5. Nuclear resonance spectroscopy in granular and amorphous thin films. Phase analysis, nanostructure, nanomagnetism, short-range and long-range order interactions.

6. Nuclear resonance in metallic multilayers. Surface/interface structure and local magnetic order.

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

A avaliação tem as componentes:

i) A avaliação contínua, efectuada durante as aulas práticas.

ii) Um relatório escrito de cerca de 25 000 caracteres sobre o estado de arte num tópico de espectroscopia relacionado com os trabalhos práticos. Nota mínima de 9 valores no relatório.

iii) Uma apresentação oral e discussão do relatório, que incluirá perguntas sobre a matéria teórica.

iv) A nota final será:

Nota final = 1/5(Avaliação contínua) + 3/5(Relatórios) + 1/5(Apresentação oral)

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Teacher-assessed Laboratory work (20%). Written report of about 5000 words (25000 characters), in a recognized scientific format, on the state of the art in a spectroscopy topic related to one experiment performed in the semester (60%). Oral presentation and discussion of the report in the frame of the material covered during the lectures (20%). To qualify to pass, students must obtain at least 45% (9 marks) for the written report.

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva

de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Mossbauer Spectroscopy: Principles and Applications of the Techniques, A. G. Maddock, 1997, Harwood Publishing, 1997; *Principles of Nuclear Magnetic Resonance in One and Two Dimensions*, R. R. Ernst, G. Bodenhausen, A. Wokaun, 1991, Clarendon Press, Oxford, 1991.

Mapa X - Tópicos Avançados em Física das Partículas e Astropartículas II

6.2.1.1. Unidade curricular:

Tópicos Avançados em Física das Partículas e Astropartículas II

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Como opção a UC não funcionou no semestre considerado. Mário Pimenta (0.00), Jorge Romão (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Dar ao aluno um conhecimento aprofundado e actual de alguns temas seleccionados, teóricos e experimentais, de física de partículas e astropartículas. Ser capaz de perceber ao nível de trabalho de investigação actual, alguns temas teóricos e experimentais.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

To obtain a deep and updated understanding of some selected, theoretical or experimental, subjects in particle and astroparticle physics. To understand, at the present research level some experimental and theoretical subjects.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

O programa está organizado por módulos que cobrem todas as áreas de investigação em Física de Partículas e Astropartículas e que é comum para os dois semestres. Cada aluno de acordo com o seu plano de estudos desenvolverá em cada semestre um sub-conjunto destes módulos.

A-Física Partículas

- 1) Violação de CP e bariogénese. Física de neutrinos e leptogénese.*
- 2) Cromodinâmica Quântica e a liberdade assintótica. Confinamento.*
- 3) Supersimetria. O modelo mínimo supersimétrico.*
- 4) Difusão inelástica profunda; electroprodução em eutrino-produção; funções de estrutura.*
- 5) Modelo dos partões; os partões como quarks; previsões experimentais. Partões em Cromodinâmica Quântica; comparação com os dados experimentais. Modelo dos partões e QCD na aniquilação electrão positrão. Funções de fragmentação.*

B-Astropartículas

- 6) Neutrinos solares e astrofísicos*
- 7) Raios gama*
- 8) Detecção de matéria escura*

6.2.1.5. Syllabus:

The program is organized in main subjects covering all research areas in the field. These topics are common to both semesters. Each student will follow, in each semester, a subset of these subjects according to his/her plan of study.

A- Particle Physics

- 1)-CP Violation and Baryogenesis. Neutrino Physics and Leptogenesis.
- 2)-Quantum Chromodynamics and asymptotic freedom. Quark confinement.
- 3)-Supersymmetry. The Minimal Supersymmetric Standard Model.
- 4)-Deep inelastic scattering; electroproduction and neutrino production; structure functions
- 5)-Parton model; quarks-partons; experimental predictions. Partons in QCD; comparison with experimental results. Parton model and QCD in e^+e^- annihilation. Fragmentation functions.

B-Astroparticle Physics

- 6)-Astrophysical and solar neutrinos
- 7)-Gamma rays
- 8)-Dark matter detection

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

Os métodos de ensino foram concebidos de modo a que os alunos possam desenvolver um conhecimento abrangente das potencialidades neste domínio, assegurando simultaneamente a conformidade com os objetivos da unidade curricular. Assim considera-se fundamental que os alunos realizem trabalho autónomo nesta área para ficarem em condições de iniciarem o trabalho de investigação.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, the topics covered aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described above, and to bring them to start research in the field.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Trabalho, com apresentação oral num seminário de 30 m

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

A 30 min final seminar based in a specific individual work

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

Os métodos de ensino foram concebidos de modo a que os alunos possam desenvolver um conhecimento abrangente das potencialidades neste domínio, assegurando simultaneamente a conformidade com os objetivos da unidade curricular. Assim considera-se fundamental que os alunos realizem trabalho autónomo nesta área para ficarem em condições de iniciarem o trabalho de investigação.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies were thought in such a way that the students can develop a broad knowledge in the fields of Particle and Astroparticle Physics, in agreement with the goals and syllabus of the course. It is of fundamental importance that the students learn how to do autonomous work and start research in this area.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

*Introduction to Supersymmetry, D. Bailin, A. Love, 1994, IOP Publishing, Bristol, 1994;
CP Violation, Gustavo Castelo Branco, Luís Lavoura and João Paulo Silva,, 1999, Oxford U. P., New York, 1999;
NuPECC REPORT on Neutrino Physics:, varios, 1997, http://www.nupecc.org/report97/report97_pre/report97_pre.html;
Folhas dos Tópicos, S. Ramos,, 2005, Edição do autor, IST, 2005;
Hadron Interactions, P. Collins, A. Martin, 1984, Adam Hilger, 1984;
Phenomenology of Neutrino Oscillations, S.M. Bilenky, C. Giunti and W. Grimus, 1999, Prog. Part. Nucl. Phys. 43 (1999) 1 (hep-ph/9812360)*

Outra bibliografia será escolhida conforme os sub-tópicos que forem seleccionados pelos alunos

Mapa X - Óptica Quântica e Lasers

6.2.1.1. Unidade curricular:

Óptica Quântica e Lasers

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Gonçalo Figueira (52.08)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:
não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):
O objectivo da cadeira de Lasers e Electrónica Quântica é proporcionar aos alunos uma formação teórica e experimental nos avanços mais recentes no domínio da fotónica, óptica não linear, e lasers assim como nas suas aplicações modernas.

Pretende-se que os alunos dominem os conceitos fundamentais envolvendo impulsos luminosos e a sua geração, caracterização e manipulação, e que identifiquem as potencialidades tecnológicas da fotónica para novos domínios da ciência e tecnologia, como por exemplo a metrologia e as telecomunicações.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

The main goal of the course on Lasers and Quantum Electronics is to give a solid theoretical and experimental background in the most recent advances in photonics, nonlinear optics and lasers, as well as in their modern applications.

After this course, the students will master the fundamental concepts associated with radiation pulses, their generation, characterization and manipulation. The students will be able to identify the technological consequences of photonics and optoelectronics in many science and technology fields, such as metrology and communications.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

- *Introdução aos lasers e tecnologias laser*
- *Óptica de traçado de raios: óptica paraxial, óptica de gradiente de índice, matrizes*
- *Óptica ondulatória: ondas monocromáticas, em meios transparentes, interferência*
- *Óptica de feixe: o feixe Gaussiano, propagação ABCD*
- *Óptica electromagnética: meios dieléctricos, intensidade luminosa*
- *Cavidades ressonantes: cavidade de Fabry-Perot, cavidade de espelhos esféricos*
- *Óptica de fotões: modos, propriedades, feixes de fotões*
- *Fotões e átomos: níveis de energia na matéria, interacção luz-matéria*
- *Amplificação laser: fundamentos, bombeamento, amplificadores laser, saturação*
- *Fundamentos de lasers: meios laser, oscilação laser, características da geração laser*
- *Lasers pulsados: Q-switching, bloqueio de modos, lasers ultra-rápidos*
- *Estrutura de impulsos laser*
- *Dispersão e óptica não linear*

6.2.1.5. Syllabus:

- *Introduction to lasers and laser technologies*
- *Ray optics: Paraxial optics, graded index optics and ray transfer matrix analysis*
- *Wave optics: monochromatic waves, waves in transparent media, interference*
- *Beam optics: the Gaussian beam, ABCD propagation*
- *Electromagnetic optics: waves in different dielectric media, intensity of light*
- *Optical resonators: Fabry-Perot resonator (lossless/lossy), spherical mirror resonator*
- *Photon optics: modes, photon properties, photon streams*
- *Photons and atoms: energy levels in matter, light-matter interaction*
- *Laser amplification: fundamentals, pumping, laser amplifiers, saturation*
- *Fundamentals of lasers: laser media, laser oscillation, characteristics of laser output*
- *Pulsed lasers: q-switching, mode-locking, ultrafast lasers*
- *The structure of laser pulses*
- *Dispersion and nonlinear optics*

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

O programa da unidade curricular divide-se em dois blocos principais:

Fundamentos de óptica – inclui os módulos desde o início até óptica de fotões. Apresentam-se quatro descrições de óptica em ordem crescente de complexidade: geométrica, ondulatória, electromagnética e quântica. Inclui ainda aspectos especificamente relevantes para os lasers, como óptica gaussiana e cavidades ressonantes.

Lasers – inclui os restantes módulos até ao final. Inicia-se com o estudo da interacção entre laser e material, seguindo com os princípios do funcionamento do laser, e tópicos seleccionados da ciência e tecnologia dos lasers modernos, como a fotónica e os impulsos de duração ultra-curta.

Esta organização permite que os alunos possam, a partir de bases teóricas compatíveis com o seu nível lectivo, adquirir ao longo do semestre uma formação abrangente em temas da óptica contemporânea e dos lasers, bem como das suas aplicações práticas.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The program of the curricular unit may be divided into two main blocks:

- *Fundamentals of Optics - including the modules from the start up to Photon Optics, and introduces four descriptions of optics in order of increasing complexity: geometrical optics, wave optics, electromagnetic optics and quantum optics. Also includes topics specifically relevant to lasers, such as Gaussian beams and optical resonators.*
- *Lasers – including the remaining topics up to the end. Beginning with the study of light-matter interaction, students are introduced to the principles of laser operation, followed by selected topics of modern laser science and technology, such as photonics and ultra-short laser pulses.*

Starting from a theoretical framework consistent with their academic level, this organization allows students to acquire a comprehensive training on topics of contemporary optics and lasers, as well as their practical applications, along the semester.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Duas aulas teóricas semanais de duas horas de duração, e duas aulas de exercícios práticos e revisões. A avaliação consiste em dois testes (50% + 50%) e uma prova de recuperação. Nessa prova possibilita-se a recuperação individual de cada teste ou a realização simultânea das duas componentes, pertencendo a escolha ao estudante.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Two weekly lectures of two hours, and two practical exercise / revision classes. The evaluation consists of two tests (50% + 50%) and a recovery exam. This exam allows the recovery of each individual test, or the evaluation of both components, depending on the student's choice.

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

A unidade curricular consiste quase exclusivamente em aulas teóricas, sendo a avaliação na forma de exercícios / problemas práticos e com ligação ao mundo real. Todas as aulas se iniciam com uma questão / desafio relacionados com a matéria dada. Uma vez que se trata de uma unidade curricular obrigatória, o número de estudantes é elevado, não permitindo a adopção de outras metodologias tais como aulas de laboratório. Por outro lado, sendo uma UC com um conjunto vasto de conteúdos, é essencial garantir que as bases teóricas em óptica clássica e quântica são sólidas, sendo plataformas para a compreensão de todos os fenómenos e aplicações estudados.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The course consists almost exclusively of theoretical lectures, and the assessment consists of exercises / practical real-world problems. Every lesson starts with a problem / challenge related to the contents addressed. Since this is a mandatory course, the number of students is high, making impracticable the adoption of other methodologies such as laboratory classes. On the other hand, being a CU with a wide range of contents, it is essential to ensure that the theoretical knowledge in classical and quantum optics are solid, being the foundations for understanding all the studied phenomena and applications.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:**BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL / MAIN BIBLIOGRAPHY**

- *Fundamentals of Photonics: B. Saleh & M. Teich 1991 Wiley*
- *Lasers: O. Svelto 4th ed. (1998) Plenum Press*

BIBLIOGRAFIA SECUNDÁRIA / SECONDARY BIBLIOGRAPHY

- *Lasers: E. Siegman 1986 Wiley-Interscience*
- *Óptica: E. Hecht 1991 Fundação Calouste Gulbekian*
- *Coherent Optics - Fundamentals and Applications: W. Lauterborn, T. Kurz, M. Wiesenfeldt 1995 Springer-Verlag*

Mapa X - Astrofísica**6.2.1.1. Unidade curricular:**

Astrofísica

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Vítor Cardoso (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Esta disciplina apresenta os princípios, conceitos e principais resultados (teóricos e observacionais) da astrofísica moderna nas áreas de “formação e evolução estelar” e “formação e evolução de galáxias” sendo dado maior ênfase ao primeiro tópico. Neste estudo será reforçado a compreensão dos fenómenos astrofísicos através da aplicação de conceitos fundamentais de física clássica e moderna. Os alunos para além de adquirirem os fundamentos da astrofísica, deverão ser capazes de interpretar os principais resultados recorrendo aos conceitos fundamentais de física moderna adquiridos em outras unidades curriculares da MEFT (tais como Termodinâmica, Mecânica Quântica, Eletromagnetismo e Mecânica Analítica), assim como devem saber aplicar estes conceitos à resolução de novos problemas em astrofísica. O ensino teórico será complementado com a realização de problemas em aulas teórico-práticas.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

This course presents the principles, concepts and main theoretical and observational results of modern astrophysics in the areas of "formation and stellar evolution" and "formation and evolution of galaxies", greater emphasis being given to the former topic. This study will enhance our understanding of astrophysical phenomena by applying fundamental concepts of classical and modern physics. In addition to acquiring an essential ground in astrophysics, students will be able to interpret the main results using the fundamental concepts of modern physics acquired in other courses of MEFT (such as thermodynamics, quantum mechanics, electromagnetism and Analytical Mechanics), They will also be able to apply these concepts to solve new problems in astrophysics. Theoretical training will be complemented with the resolution of problems in practical classes.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

*1 Introdução à Astrofísica: espectro contínuo da luz; interação matéria-luz
2 Atmosfera das estrelas: espectros estelares; linhas espectrais; diagrama Hertzsprung-Russell
3 Interior das estrelas: equações de estrutura, estado e opacidade; transporte de energia, nucleossíntese; equação de Lane-Emden; politrópicos; sequência principal
4 Sol: modelo standard solar, neutrinos solares, equação do dínamo solar, magnetismo em estrelas
5 Meio interestelar: poeira e gás, classificação das nuvens interestelares; formação de protoestrelas, critério de Jeans, teorema do virial
6 Pulsação estelar: classes de estrelas variáveis; equação de oscilações não radiais
7 Destino das estrelas: sub-gigantes, gigante vermelhas; enxames de estrelas
8 Final da evolução estelar: estrelas compactas: anãs brancas, estrelas de neutrões
9 Galáxias no Universo: Via Láctea, morfologia da galáxia, centro galáctico; natureza das galáxias, sequência de Hubble*

6.2.1.5. Syllabus:

*1)Introduction to Astrophysics: continuous spectrum of starlight; the interaction of matter and light
2)Atmosphere of the star: stellar spectra; formation of spectral lines; Hertzsprung-Russell diagram
3)Interior of the stars: equations of structure, equation of state and opacity; energy transport, nucleosynthesis, lane- emden equation; polytropes;main sequence
4)Sun: solar standard model; solar neutrinos, equation of solar dynamo, magnetism in stars
5)Interstellar medium: dust and gas of the interstellar medium, classification of interstellar clouds; formation of protostars, Jeans criterion, the virial theorem
6)Stellar pulsation: classification of variable stars; equation of non-linear radial stellar oscillations
7)Fate of stars: sub-giant, red giants; stellar clusters
8)End of stellar evolution - compact stars: white dwarfs, neutron stars
9)Galaxies in the universe: Milky Way, morphology of the galaxy, galactic center; nature of galaxies, Hubble sequence.*

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

As aulas baseiam-se numa exposição detalhada dos conceitos, princípios e teorias fundamentais de astrofísica. Estas aulas são do tipo expositivo, as quais estão focadas na apresentação dos principais resultados teóricos e observacionais. Especial atenção é dada à demonstração analítica dos principais resultados teóricos. O material de apoio do curso inclui slides, imagens e filmes. As aulas são acompanhadas com uma série de problemas para os

alunos resolverem, permitindo-lhes uma melhor assimilação dos conceitos físicos.

A componente teórico e prática do curso é avaliada por um exame final. Os alunos que obtenham uma classificação no exame entre 8 e 16 valores (em 20), têm uma bonificação até um máximo de 2 valores na classificação final caso tenham realizado com sucesso as séries de problemas propostos. Exige-se a nota mínima de 9,00 valores no exame final para aprovação na UC.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The classes are based on a detailed exposition of the concepts, principles and theories of astrophysics. These classes are focused on presenting the main theoretical and observational results. Special attention is given to the analytical derivation of the principal theoretical results. The supporting materials for the classes includes slides, images and movies. The lessons are accompanied with a series of problems for students to solve, allowing them to better assimilate and consolidate the physical concepts.

The theoretical and practical component of the course is assessed by a final exam. Students with a classification in the exam between 8 and 16 (out of 20) have a bonus to a maximum of 2 points in the final mark, if they have successfully performed the series of proposed problems. It requires a minimum grade of 9.00 in the Final Exam for approval at this UC.

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

An Introduction to Modern Astrophysics (second edition), Bradley W. Carroll and Dale A. Ostlie, 2007, ISBN: 0-321-44284-9

Mapa X - Técnicas Espectroscópicas

6.2.1.1. Unidade curricular:

Técnicas Espectroscópicas

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

António Ferraz (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Objectivos gerais

Fornecer ao estudante conhecimentos sobre as bases teóricas e práticas da espectroscopia, com ênfase nas técnicas de aquisição e interpretação de dados em espectroscopia nuclear.

Objectivos operacionais

Familiarizar o estudante com os parâmetros dos espectros atômicos e nucleares, programas de ajuste e interpretação dos espectros em termos da estrutura e da dinâmica da matéria.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

General purpose

To provide the student with a theoretical and practical background on spectroscopic techniques, with emphasis on data acquisition and interpretation in nuclear spectroscopy.

Operational purpose

To provide the student with a good knowledge on the spectral parameters and their interpretation in terms of the structure and dynamics of the matter.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

- 1. Estrutura fina e magnética dos níveis atômicos. Modelo nuclear em camadas. Aproximação harmónica da interação nuclear. O spin nuclear.**
- 2. Radiação e.m.. Emissão espontânea. Largura das linhas espectrais. Interação da radiação com a matéria. Transições radiativas. Regras de seleção. Polarização e intensidade das linhas espectrais.**
- 3. Interação hiperfina. Estrutura hiperfina elétrica e magnética. Hamiltoniano de spin.**
- 4. Espectros de difração de RX e de neutrões (introdução).**
- 5. Espectros, parâmetros e espectrómetros de RES e RMN.**
- 6. Transformação de Fourier. Espectroscopia de RMN. Técnica de eco de spin. RM do protão e do deutério. Interpretação de espectros de RMN de cristais líquidos.**
- 7. Espectrómetros de Mössbauer. Parâmetros dos espectros de ^{57}Fe . Mössbauer com eletrões de conversão. Análise estrutural de filmes finos magnéticos.**
- 8. Técnicas de análise de dados. Simulação e ajuste.**

6.2.1.5. Syllabus:

- 1. Fine and magnetic structure of the atomic levels. Shell model of the nucleus. Harmonic approximation of the nuclear interaction. The nuclear spin.**
- 2. Electromagnetic radiation. Spontaneous emission. Atomic and nuclear spectroscopy interpretation of linewidth. Interaction of radiation with atoms and nuclei. Radiative transitions. Selection rules. Polarization and intensity of the spectral lines.**
- 3. Hyperfine interactions. Electric and magnetic hyperfine structure of the atomic and nuclear levels. The spin Hamiltonian.**
- 4. X-ray and neutron diffraction spectra (overview)**
- 5. ESR and NMR spectra and spectrometers.**
- 6. NMR spectrometers. Fourier transforms. 1H e 1D NMR spectroscopy. NMR spectra interpretation in liquid crystals.**
- 7. Mössbauer spectrometers. Parameters of ^{57}Fe Mössbauer spectra. Conversion electron Mössbauer spectroscopy. Structural analysis of thin magnetic films.**
- 8. Data analysis techniques. Spectra simulation and fitting.**

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

Esta UC apresenta os princípios básicos de algumas técnicas de espectroscopia, reforçando a sua compreensão através de aplicações laboratoriais. O programa contempla os conceitos necessários à compreensão e utilização dessas técnicas. O ensino teórico e prático é complementado com a realização de trabalhos laboratoriais.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

This course presents the basic principles of some spectroscopic techniques, enhancing their understanding through experimental applications. It is intended that students can manipulate these concepts and apply them to the laboratory use of those techniques. To achieve this, we show the principles of physics applied to experimental work.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Avaliação contínua de conhecimentos, efectuada pelo docente durante as aulas laboratoriais. Relatório escrito (com apresentação e discussão) sobre um tópico relacionado com o programa.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Teacher-assessed Laboratory work. Written report about one topic of the material covered during the lectures, including an oral presentation and discussion.

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

A metodologia baseia-se no ensino teórico e na utilização laboratorial de técnicas de espectroscopia. Esta metodologia é coerente com os objetivos desta unidade curricular, que consistem exatamente na aprendizagem dos conceitos e princípios básicos de várias técnicas de espectroscopia e na capacidade de os aplicar à realização de questões práticas.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies includes theoretical and laboratory classes about several spectroscopic techniques. This is consistent with the unit's objectives of learning the basic theory and experimental procedures of those techniques.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Ressonância Magnética Nuclear - Fundamentos, Métodos e Aplicações, V. M. S. Gil, C. F. G. C. Gerales, 1987, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1987.; Mossbauer Spectroscopy, D. E. Dickson, F. J. Berry, 1987, Cambridge University Press, 1987; Quantum Physics, M. S. Rogalski, S. B. Palmer, 1999, Gordon and Breach Publishers, 1999

Mapa X - Teoria do Campo Avançada

6.2.1.1. Unidade curricular:

Teoria do Campo Avançada

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Jorge Romão (28.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Formação avançada em teoria quântica dos campos. Introduzir os métodos funcionais e a quantificação das teorias de gauge não abelianas via integral de caminho.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Advanced training in quantum field theory. Introduction to functional methods and to the quantization of non abelian gauge theories using path integrals.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

1. Quantificação de campos livres Campos escalares reais e complexos. Campo spinorial e vectorial. 2. Fórmulas de Redução LSZ. 3. Teoria das Perturbações Covariante. A matriz U. Expansão perturbativa das funções de Green. Teorema de Wick. Regras de Feymann. 4. Correções Radiativas a 1 loop. As identidades de Ward-Takahashi. Contratermos e contagem de potências. 5. Métodos Funcionais. Funcionais geradores (FG) para as Funções de Green. Representação dos FG em termos de integrais de caminho. Mudanças de variável em integrais de caminho. Identidades de Ward- Takahashi em QED. 6. Quantificação das Teorias de Gauge não Abelianas. Teoria clássica. Quantificação. Identidades de Ward. Unitariedade e identidades de Ward. 7. Grupo de Renormalização. Equação de Callan-Symanzik. Esquema de subtracção mínima. Constantes de acoplamento efectivas. Aplicações do grupo de renormalização.

6.2.1.5. Syllabus:

1. Free field quantization. Real and complex scalar fields. Spin 1/2 field. Vector fields. 2. LSZ Reduction formulas. 3. Covariant perturbation theory. U matrix. Perturbative expansion of Green's functions. Wick theorem. Feymann rules. 4. Radiative corrections. One loop renormalization. Ward-Takahashi identities. Counterterms and power counting. Examples: anomalous magnetic moment of the electron; radiative corrections to Coulomb scattering. 5. Functionals Generating functionals for the Green functions. Path integrals. Representation of the generating functionals in terms of path integrals. Ward-Takahashi identities in QED. 6. Quantization of non abelian gauge theories. Classical theory. Quantization. Ward identities. Unitarity and Ward identities. 7. Renormalization group Callan-Symanzik equation. Minimal subtraction. The running of the effective gauge couplings. Applications of the renormalization group equations.

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

Os conteúdos programáticos abrangem os principais tópicos e aplicações teórico-práticos da Teoria Quântica dos Campos a um nível avançado permitindo ao aluno adquirir uma sólida base para iniciar trabalho de investigação na área.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The program of Advanced Quantum Field theory covers the main topics and applications at an advanced level, giving a solid basis to the student and to his learning trajectory leading to start research in the field.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

A componente lectiva desta disciplina é ministrada em duas aulas teóricas semanais. Os alunos são supostos terem uma componente de estudo autónomo importante. A avaliação final será feita através dum trabalho final e respetiva defesa oral.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The teaching component of this course is given in two theoretical classes per week. The students are supposed to have a large component of autonomous study. The evaluation consists in a final written individual homework followed by its

oral defense.

6.2.1.8. Demonstração da coerência das metodologias de ensino com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular.
Os métodos de ensino foram concebidos de modo a que os alunos possam desenvolver um conhecimento abrangente das potencialidades neste domínio, assegurando simultaneamente a conformidade com os objetivos da unidade curricular. Assim considera-se fundamental que os alunos realizem trabalho autónomo e desenvolvam a capacidade de calcular em Teoria Quântica dos Campos,

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.
The teaching methodologies were thought in such a way that the students can develop a broad knowledge in the field of Quantum Field Theory, in agreement with the goals and syllabus of the course. It is of fundamental importance that the students learn how to do autonomous work and develop the capacity of doing calculations in Quantum Field Theory

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:
Advanced Quantum Field Theory,
Jorge C. Romão,
2015, Edição do Autor
disponível online: <http://porthos.ist.utl.pt/Public/textos/tca.pdf>;

Quantum Field Theory,
C. Itzykson and J.-B. Zuber,
Ano 1980,
McGraw-Hill, New York, 1980;

Introduction to Gauge Field Theory,
D. Bailin, A. Love,
Ano: 1986,
Adam Hilger, Bristol, 1986

Mapa X - Sistemas de Muitas Partículas e Fenómenos Críticos

6.2.1.1. Unidade curricular:
Sistemas de Muitas Partículas e Fenómenos Críticos

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):
Pedro José Gonçalves Ribeiro (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:
não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):
Este é um curso teórico que fornece um conjunto de ferramentas e técnicas para uma visão moderna de diferentes fases da matéria, das sua estabilidade e propriedades.
O estudante será dotado de um conjunto de técnicas standard de teoria de campo.
Os exemplos, exercícios e aplicações são orientados para problemas de Matéria Condensada. Um aluno motivado para estudar teoria de campo no contexto de física das altas energias ou física de partículas poderá achar o curso interessante e útil devido às similaridades dos tópicos e técnicas.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:
This is a theoretical course that provides the tools and techniques underlying the modern understanding of phases of matter, their stability and their properties.
The student will be endowed with a set of standard techniques of field theory. Examples, exercises and applications will be oriented towards Condensed Matter.
A student motivated to study field theory in the context of Hight-Energy or Particle Physics may find the course useful due to the similarities between the topics and techniques.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:
0. Introdução
Logística do curso
O que se vai aprender e para que serve

1. Partículas e campos**Quantização****Conjuntos estatísticos****2. Funções de Green****Representações****Resposta Linear****Funções de Green****Formalismo Canónico****3. Integrais de caminho****Integrais Gaussianos****Transformações de Bogoliubov****Integral de caminho para uma partícula****Propagador de uma partícula****Aproximação semi-clássica e WKB****Potencial poço-duplo - instantões****Estados coerentes****Integral de caminho para muitos corpos****4. Teoria de perturbações****Expansão diagramática****Equação de Dyson****5. Aplicações I - líquido de Bose****Superfluidez****6. Aplicações II - líquido de Fermi****Introdução****Teoria do líquido de Fermi****Instabilidades****Non-Fermi liquids****7. Métodos numéricos****Diagonalização exacta, métodos de Lanczos e Monte Carlo.****6.2.1.5. Syllabus:****0. Introduction****Course logistics****What are you going to learn? What is it useful for?****1. Particles and fields****Quantization****Statistical ensembles****2. Green's functions****Representation of quantum mechanics****Linear Response I****Green's functions****Canonical Formalism****3. Path Integrals****Gaussian integrals****Bogoliubov transformations****Single particle path integral****Propagator of a single particle****Semi-classics and WKB****Wick's rotation****Double well potential - instantons****Coherent states****Bosonic****Fermionic****Many body path integral****Sources****4. Perturbation theory****Diagrammatic expansion****Re-summation - Dyson equation****5. Applications I - Bose Liquid****Superfluidity****6. Application II - Fermi-Liquid****Introduction****Fermi-Liquid theory****Instabilities****Non-Fermi liquids****7. Numerical methods.****Exact diagonalization. Lanczos method. Monte Carlo method.**

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

Atendendo aos objetivos de aprendizagem da UC, descritos em 6.2.1.4, qualquer especialista na matéria poderá constatar que todos os pontos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, visam dotar os alunos com os conhecimentos e competências necessárias ao seu cumprimento e à aquisição dos referidos objetivos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Exame e problemas ou exame.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Evaluation: examination and problems sets or examination.

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

Field theory techniques such as the concept of Green's function are crucial to the way many-body theory is used to compute observables and make experimental verifiable predictions. Experimental measurements can be related to correlation functions of fields that are then computed within some models. However, even for very simple models, computations can seldom be done exactly and one has to rely on some kind of approximation that can capture the main physical picture. The course is aimed to guide the student though this process while understanding the properties of Fermi and Bose liquids.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Main bibliography:

- 1. Condensed Matter Field Theory. Alexander Altland and Ben Simons Cambridge University Press Modern textbook emphasizing functional integrals techniques.*
- 2. Many-Particle Physics Gerald D. Mahan Plenum Press Classical textbook. Response functions: Green's function and Kubo formalism.*
- 3. Quantum Thoery of Many-Particle Systems A.L. Fetter and J.D. Walecka McGraw-Hill Another classical textbook.*

Additional bibliography:

- 1. Green's Function in Solid State Physics Doniach and Sondheimer*
- 2. Quantum Many-Particle Systems Negele and Orland*
- 3. Methods of Quantum Field Theory in Statistical Physics Abrikosov, Gorkov and Dzyaloshinski*
- 4. Quantum Condensed Matter Field Theory, lecture notes Ben Simons <http://www.tcm.phy.cam.ac.uk/~bds10/tp3/lectures.pdf>*
- 5. Many-Body Quantum Theory in Condensed Matter Physics H. Bruus and K. Flensberg*

Mapa X - Sistemas Dinâmicos

6.2.1.1. Unidade curricular:

Sistemas Dinâmicos

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Rui Dilão (0,0)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

O objectivo deste curso é introduzir as técnicas da teoria dos sistemas dinâmicos de dimensão finita. É estudada a teoria qualitativa das equações diferenciais ordinárias e das equações às diferenças (iteração de funções) e a teoria ergódica. São abordados os vários aspectos da teoria nas vertentes geométrica e computacional, onde se inclui o conceito de caos. Desenvolvem-se algumas aplicações da teoria dos sistemas dinâmicos à física, à biologia e à mecânica celeste.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

The objective of this course is to introduce the techniques of the theory of finite dimensional dynamical. We study the qualitative theory of ordinary differential equations and of difference equations and ergodic theory. We analyse the geometric and computational aspects of the theory including the concept of chaos. We apply the techniques of the theory of dynamical systems to physics, biology and celestial mechanics.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

1 Introdução aos sistemas dinâmicos. 1.1 Equações diferenciais como sistemas dinâmicos. 1.2 Equações às diferenças como sistemas dinâmicos. 1.3 Classificação dos pontos fixos. 1.4 Sistemas hamiltonianos. 1.5 Métodos numéricos. 1.6 Atractores estranhos e mapas do intervalo. 1.7 As variedades estável, instável e central. 2 Teoria qualitativa dos sistemas dinâmicos. 2.1 Conjuntos limite. 2.2 Funções de Poincaré. 2.3 O teorema de Poincaré-Bendixon. 2.4 Dinâmica na variedade central. 2.5 Bifurcações. 3 Caos. 3.1 A ferradura de Smale. 3.2 Expoentes de Liapunov e teorema de Oseledec. 4 Aplicações. 4.1 Mecânica celeste 4.2 Sistemas biológicos. 5 Introdução à teoria ergódica. 5.1 Medidas Invariantes e operador de Frobenius-Perron. 5.2 Ergodicidade. 5.3 Mixing. 5.4 A hipótese ergódica de Boltzmann.

6.2.1.5. Syllabus:

1 Introduction to dynamical systems (DS). 1.1 Finite dimensional dynamical systems. 1.2 Differential equations as DS. 1.3 Difference equations as DS. 1.4 Classification of fixed points. 1.5 Hamiltonian dynamical systems. 1.6 Numerical methods. 1.7 Maps of an interval and strange attractors. 1.8 The stable, center and unstable manifolds. 2 Qualitative theory of DS. 2.1 Limit sets. 2.2 Poincaré maps. 2.3 The Poincaré-Bendixon theorem. 2.4 Dynamics in the centre manifold. 2.5 Bifurcations. Chaos. 3.1 The Smale horseshoe. 3.2 Cantor sets. 3.3 Chaos and sensitivity to initial conditions. 3.4 Liapunov exponents and the Oseledec theorem. 4 Applications. 4.1 Celestial mechanics. 4.2 Biological systems. 5 Introduction to ergodic theory. 5.1 Invariant measures and the Frobenius-Perron operator. 5.2 Ergodicity. 5.3 Mixing. 5.4 The Boltzmann ergodic hypothesis.

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

A coerência dos objectivos programáticos da unidade curricular está assegurado pelo facto de termos um curso construtivo, com o desenvolvimento de técnicas computacionais e de análise geométrica, sem se exigir um conhecimento demasiado técnico de análise. O curso está dirigido para a aplicação de técnicas de análise qualitativa aplicadas a sistemas concretos não lineares da física e da biologia.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The program objectives are achieved through a constructive course, based on computational techniques and geometric analysis, without requiring a specialized knowledge of analysis. We emphasise the course on the applications of techniques of qualitative analysis of concrete physical and biological non-linear problems.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

A cadeira tem uma componente de avaliação contínua, com séries de exercícios entregues de três em três semanas (60%), um teste individual (20%), e um seminário sobre um assunto da teoria dos sistemas dinâmicos (20%).

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The course is continuously evaluated through three groups of exercises, done every three weeks (60%), one individual examination (20%), and a seminar about a theoretical topic on dynamical systems (20%).

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

A coerência dos objectivos da avaliação da unidade curricular está assegurada pelo componente de avaliação contínua, estimulando o acompanhamento das aulas ao longo do semestre.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The evaluation objectives of the course unit are consistent because the continuous evaluation base of the course,

stimulating the attendance to the lectures.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

- J. Guckenheimer e P. Holmes, Nonlinear Oscillation, Dynamical systems and bifurcations of vector fields, Springer 1983.*
B. Hasselblatt e A. Katok, A First Course in Dynamics, Cambridge University Press 2003.
M. W. Hirsch, S. Smale e R. L. Devaney, Differential Equations, Dynamical Systems and an Introduction to Chaos, Academic Press 2004.
R. Dilão e R. Alves-Pires, Nonlinear Dynamics in Particle Accelerators, World Scientific 1996.
J. Cascais, R. Dilão e A. Noronha da Costa, Chaos and reverse bifurcations in a RCL circuit, Phys. Lett. 93A (1983) 213-216.

Mapa X - Spintronics

6.2.1.1. Unidade curricular:

Spintronics

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Susana Isabel Pinheiro Cardoso de Freitas (49.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Introdução aos materiais magnéticos usados em nanoelectrónica. Introdução às propriedades de transporte em ferromagnetes 3d. Válvulas de spin e junções de efeito túnel de spin. Armazenamento magnético de dados. Memórias magnéticas MRAMS. O transistor de spin e o diodo de spin. Dinâmica de spin. Nano-osciladores.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Introduction to ferromagnetic materials. Transport properties in 3d ferromagnets. Spin valves and magnetic tunnel junctions. Magnetic data storage. Magnetic memories MRAMS. Spin transistors and spin diodes. Spin dynamics. Spin transfer and nano-oscillators.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

- I. Materiais ferromagnéticos. O modelo de campo médio e a temperatura de Curie. A curva de Slater Pauling. O critério de Stoner e ferromagnetismo itinerante. Modelo de banda unica /separada. Anisotropia magnetocristalina. O modelo de Stoner Wolfarth e o ciclo de histerese.*
- II. Materiais antiferromagnéticos. Temperatura de Néel. Acoplamento de troca e temperatura de bloqueio.*
- III. Transporte em metais ferromagnéticos 3d. Magnetoresistência . Acumulação de spin.*
- IV. Campos desmagnetizantes. Barras/ filmes magnetizados (rectangulos, elipses).*
- V. Armazenamento magnético de dados. O disco duro. Meios magnéticos. Cabeças indutivas de filme fino. Cabeças de leitura magnetoresistivas.*
- VI. Memórias magnéticas MRAM. Inversão de magnetização com linhas de corrente, termicamente, ou transferência de spin.*
- VII. Nano-osciladores (GHz) controlados por correntes DC-emissão de ondas de spin em nanocontactos magnéticos.*

6.2.1.5. Syllabus:

- I. Ferromagnetic materials. Mean free model and Curie temperature. Ferromagnetism in 3d transition metals. The Slater Pauling curve. The Stoner criterion for itinerant ferromagnetism. Ferromagnetic 3d alloys. The common /spit band models. Magnetocrystalline anisotropy. The Stoner Wolfarth model, hysteresis cycle. Magnetic domains and domain walls.*
- II. Antiferromagnetic alloys. Neel temperature. Exchange coupling. The exchange field and blocking temperature.*
- III. Transport in 3d ferromagnets . Magnetoresistance. Ballistic/diffusive transport in magnetic nanoconstrictions. Spin accumulation.*
- IV. Demagnetizing fields. Magnetized thin film elements (rectangular, ellipsoid).*
- V. Magnetic data storage. Hard disk. Magnetic thin film media. Inductive thin film heads. Magnetoresistive read heads.*
- VI. MRAM memories. Architecture. Magnetic/current writing and thermally assisted writing or spin transfer writing.*
- VII. Nano-oscillators and spin transfer effects in nano-contacts.*

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

Os conteúdos programáticos são os necessários no âmbito da unidade curricular para os estudantes desenvolverem as competências correspondentes aos objectivos curriculares estabelecidos.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, any expert in the field can reach to the conclusion that all the syllabus points (point 6.2.1.5) aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Serie de problemas incidindo sobre os diversos tópicos abordados nas aulas teóricas. (80%)

Teste Oral (20%)

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Series of homeworks based on the topics covered in the lectures. (80%)

Oral Test (20%)

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos através da utilização intensiva de aulas de demonstração e trabalhos experimentais. Esta abordagem permitirá não só cumprir os objetivos como auxiliará o nivelamento do conhecimento de estudantes com diferentes proveniências e formações.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work, will allow to fulfill the intended learning outcomes, as well as to level the knowledge of students with different backgrounds and formations.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Principal/Main

• Robert C O'Handley, Modern magnetic materials, principles and applications, John Wiley and Sons, 2000

• Mark Johnson (ed), Magnetolectronics, Elsevier Academic Press, 2003

Secundária/Secondary

• Sellmyer and Skomski, Advanced Magnetic Nanostructures, Springer, 2006

Mapa X - Física de Interação Forte/Qcd

6.2.1.1. Unidade curricular:

Física de Interação Forte/Qcd

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Pedro Bicudo (0.0)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

não aplicável

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

O objectivo desta Unidade Curricular é abordar os conceitos teóricos, as ferramentas de cálculo básicas e estado-da-arte relativos à interação forte, e treinar as competências para a investigação na área. Pretende-se que o estudante de doutoramento se familiarize com o Modelo de Quarks, secções eficazes para a dispersão prótão-prótão e para a dispersão electrão-prótão profunda com grande momento transferido, factores de forma e funções de estrutura dos bariões e mesões, Cromodinâmica Quântica, (Lagrangeano, constante de acoplamento, QCD perturbativa e QCD na rede).

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

The aim of the course is to address the theoretical concepts, the tools for basic computations and the state-of-the-art concerning the strong interaction, and to develop the necessary skills for research in the area. Our goal is that the PhD

student to becomes familiar with the quark model, the scattering cross sections for proton-proton scattering and the electron-proton deep inelastic scattering with large momentum transfer, he form factors and structure functions of baryons and mesons and with quantum chromodynamics (Lagrangian, coupling constant, QCD perturbative and Lattice QCD).

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

ESPECTRO DOS HADRÕES

- *Equação de Dirac, simetrias e números quânticos de quarks e gluões*
- *Variação da constante de acoplamento de QCD, renormalização*
- *Modelos de quarks, potencial confinante, potenciais tensoriais*
- *Simetria quiral nos modelos de quarks*
- *Cálculos do espectro de mesões, bariões e glueballs*

ESTRUTURA DOS HADRÕES

- *Cinemática e variáveis da dispersão electrão-protão*
- *Factores de Forma*
- *Funções de estrutura e distribuições de partões*
- *Quarks no protão*
- *QCD e papel dual dos gluões*
- *Violação de scaling em dispersão inelástica profunda*
- *Introdução à QCD perturbativa*

QCD NA REDE

- *Introdução ao formalismo do Integral de caminho*
- *Acção da plaquette para os gluões*
- *Acção de Wilson para os fermiões*
- *Integração no grupo da cor*
- *Medindo a plaquette média com o Método de Monte Carlo*
- *Medindo a tensão da string com o loop de Wilson*

6.2.1.5. Syllabus:

SPECTRUM OF HADRONS

- *Dirac equation, symmetries and quantum numbers of quarks, antiquarks and gluons*
- *Running the coupling constant of QCD, renormalization*
- *Quark models, confining potential and tensor potentials*
- *The chiral symmetry in quark models*
- *Calculations of the spectrum of mesons, baryons and glueballs*

HADRON STRUCTURE FUNCTIONS

- *Kinematic variables and the electron-proton scattering*
- *Form Factors*
- *Parton structure functions and distributions*
- *Quarks in the proton*
- *QCD and the dual role of gluons*
- *Violation of scaling in deep inelastic scattering*
- *Introduction to perturbative QCD*

LATTICE QCD

- *Introduction to the path integral formalism*
- *Plaquette action for gluons, gauge invariance*
- *Wilson action for fermions, and the doubling problem*
- *Integrals in the color group*
- *Measuring the average plaquette with the Monte Carlo Method*
- *Measuring the string tension with the Wilson loop*

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

A Cromodinâmica Quântica (QCD) é uma teoria muito rica, que apesar de ter uma base teórica simples – o Lagrangeano da QCD – em virtude de ser intrinsecamente não-linear, quântica, e impossível de resolver perturbativamente, tem muitos fenómenos diferentes, que são endereçados com diferentes técnicas analíticas e numéricas. Os diferentes módulos dos conteúdos programáticos, descritos em 6.2.1.5, correspondem às principais facetas da QCD e como tal são coerentes com os objectivos da unidade curricular, descritos em 6.2.1.4.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Quantum Chromodynamics (QCD) is a very rich theory. Despite having a simple theoretical basis - the Lagrangian of QCD – because it is inherently non-linear , quantum , and impossible to solve perturbatively , it encompasses many different phenomena, which are addressed with different analytical and numerical techniques . The different modules

we teach in all the syllabus points (point 6.2.1.5), include the major aspects of QCD, and thus they are consistent with the learning outcomes of the course described in point 6.2.1.4.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Os módulos são leccionados em aulas tutoriais semanais, sendo introduzido um livro avançado ou artigo de revisão científica por módulo. Em cada semana o aluno fica com uma lista de problemas a resolver afim de rever e de treinar a matéria.

A avaliação consiste num trabalho escrito em formato de artigo científico e uma apresentação oral com discussão referente a um dos módulos leccionados. O trabalho pode corresponder a uma revisão da literatura mas tem de incluir pelo menos um cálculo analítico ou obtido com programação numérica.

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The modules are taught in weekly tutoring classes, where an advanced book or article of scientific review article is introduced. Each week the student gets a list of problems to solve in order to review and practice the studies of the week.

The assessment consists of a written work in scientific paper format and of an oral presentation with discussion, corresponding to one of the taught modules. The work may consist mostly in a literature review but must include at least an analytical calculation or a numerical computation, including a computer code.

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

A cadeira Física da Interação Forte / QCD é uma cadeira avançada, com muitos tópicos que ainda são assunto de investigação. Para apreender os seus conceitos e as suas técnicas, o ideal são aulas tutoriais semanais, em que o aluno discute directamente com o professor os conceitos que estudou e, principalmente as técnicas que testou para calcular resultados em QCD.

O trabalho final , num formato de trabalho científico, deve ser orientado para um assunto de QCD que tenha relação com o tema da Tese de doutoramento do aluno.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The course Physics of the Strong Interaction/ QCD is an advanced course, with many topics that are still research topics. To teach its concepts and techniques, the ideal format are weekly tutorial classes , where the student directly discusses with the professor the concepts he studied and the techniques he tested to compute results in QCD.

The final work, in a scientific paper format, should be focused to one of QCD topics that is related to the objective of the student's PhD thesis .

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Quarks and Leptons, F. Halzen and A. D. Martin, 1984, John Wiley and Sons; ISBN-13: 978-0471887416

Hadron Interactions, P. D. B. Collins and A. D. Martin, 1984, Bristol; ISBN: 0-85274-768-3;

Quantum Field Theory, L. H. Ryder, 1996, Cambridge University Press, ISBN: 9780521478144;

Quantum Chromodynamics on the Lattice, C.Gattringer and C.B. Lang, 2010, Springer, ISBN: 978-3-642-01850-3

The Review of Particle Physics, K. A. Olive et al. (Particle Data Group), Chin. Phys. C, 38, 090001 (2014) and 2015 update;

Mapa X - Tópicos Avançados em Física das Partículas e Astropartículas I

6.2.1.1. Unidade curricular:

Tópicos Avançados em Física das Partículas e Astropartículas I

6.2.1.2. Docente responsável e respetiva carga letiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Mário Pimenta (0.00), Jorge Romão (0.00)

6.2.1.3. Outros docentes e respetiva carga letiva na unidade curricular:

Ricardo Jorge Gonzalez Felipe (0.00)

6.2.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Dar ao aluno um conhecimento aprofundado e actual de alguns temas seleccionados, teóricos e experimentais, de física de partículas e astropartículas. Ser capaz de perceber, ao nível de trabalho de investigação actual, alguns temas

teóricos e experimentais.

6.2.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

To obtain a deep and updated understanding of some selected, theoretical or experimental, subjects in particle and astroparticle physics. To understand, at the present research level some experimental and theoretical subjects.

6.2.1.5. Conteúdos programáticos:

O programa está organizado por módulos que cobrem todas as áreas de investigação em Física de Partículas e Astropartículas e que é comum para os dois semestres. Cada aluno de acordo com o seu plano de estudos desenvolverá em cada semestre um sub-conjunto destes módulos.

A-Física Partículas

- 1) *Violação de CP e bariogénese. Física de neutrinos e leptogénese.*
- 2) *Cromodinâmica Quântica e a liberdade assintótica. Confinamento.*
- 3) *Supersimetria. O modelo mínimo supersimétrico.*
- 4) *Difusão inelástica profunda; electroprodução em neutrinoprodução; funções de estrutura.*
- 5) *Modelo dos partões; os partões como quarks; previsões experimentais. Partões em Cromodinâmica Quântica; comparação com os dados experimentais. Modelo dos partões e QCD na aniquilação electrão positrão. Funções de fragmentação.*

B-Astropartículas

- 6) *Neutrinos solares e astrofísicos*
- 7) *Raios gama*
- 8) *Detecção de matéria escura*

6.2.1.5. Syllabus:

The program is organized in main subjects covering all research areas in the field. These topics are common to both semesters. Each student will follow, in each semester, a subset of these subjects according to his/her plan of study.

A- Particle Physics

- 1)-*CP Violation and Baryogenesis. Neutrino Physics and Leptogenesis.*
- 2)-*Quantum Chromodynamics and asymptotic freedom. Quark confinement.*
- 3)-*Supersymmetry. The Minimal Supersymmetric Standard Model.*
- 4)-*Deep inelastic scattering; electroproduction and neutrinoproduction; structure functions*
- 5)-*Parton model; quarks-partons; experimental predictions. Partons in QCD; comparison with experimental results. Parton model and QCD in e+e- annihilation. Fragmentation functions.*

B-Astroparticle Physics

- 6)-*Astrophysical and solar neutrinos*
- 7)-*Gamma rays*
- 8)-*Dark matter detection*

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

Os conteúdos programáticos são os necessários no âmbito da unidade curricular para os estudantes desenvolverem as competências correspondentes aos objectivos curriculares estabelecidos e ficarem com a formação necessária para iniciarem trabalho de investigação na área.

6.2.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Considering the objectives of this the UC, the topics covered aim to give students the competences and the required knowledge and skills to reach the learning outcomes described above, and to bring them to start research in the field.

6.2.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Trabalho individual escrito com apresentação oral de 30 min

6.2.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

A 30 min final seminar based in a specific individual written work

6.2.1.8. Demonstração da coerência das metodologias de ensino com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular.
Os métodos de ensino foram concebidos de modo a que os alunos possam desenvolver um conhecimento abrangente das potencialidades neste domínio, assegurando simultaneamente a conformidade com os objectivos da unidade curricular. Assim considera-se fundamental que os alunos realizem trabalho autónomo nesta área para ficarem em condições de iniciarem o trabalho de investigação.

6.2.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.
The teaching methodologies were thought in such a way that the students can develop a broad knowledge in the fields of Particle and Astroparticle Physics, in agreement with the goals and syllabus of the course. It is of fundamental importance that the students learn how to do autonomous work and start research in this area.

6.2.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Introduction to Supersymmetry, D. Bailin, A. Love, 1994, IOP Publishing, Bristol, 1994;
CP Violation, Gustavo Castelo Branco, Luís Lavoura and João Paulo Silva,, 1999, Oxford U. P., New York, 1999;
NuPECC REPORT on Neutrino Physics:, varios, 1997, http://www.nupecc.org/report97/report97_pre/report97_pre.html;
Folhas dos Tópicos, S. Ramos,, 2005, Edição do autor, IST, 2005;
Hadron Interactions, P. Collins, A. Martin, 1984, Adam Hilger, 1984;
Phenomenology of Neutrino Oscillations, S.M. Bilenky, C. Giunti and W. Grimus, 1999, Prog. Part. Nucl. Phys. 43 (1999) 1 (hep-ph/9812360)

Outra bibliografia será escolhida conforme os sub-tópicos que forem seleccionados pelos alunos

6.3. Metodologias de Ensino/Aprendizagem

6.3.1. Adequação das metodologias de ensino e das didáticas aos objetivos de aprendizagem das unidades curriculares.
As metodologias de ensino são definidas pelos professores responsáveis pelas UCs de modo a serem coerentes com os objetivos da aprendizagem de cada unidade curricular.
Em geral, estas metodologias envolvem trabalho autónomo de pesquisa em literatura especializada, o debate de problemas específicos no âmbito de cada unidade curricular e a apresentação de seminários.
A grande maioria das unidades curriculares apresenta uma combinação apropriada de aulas teóricas, práticas, teórico/práticas, tutoriais e de laboratório.
A avaliação nas UCs consiste em geral numa combinação de testes e/ou exames, por vezes com inclusão de trabalhos práticos/laboratoriais, projetos ou seminários.
A unidade curricular específica Seminário de Física envolve uma apresentação com discussão oral.

6.3.1. Suitability of methodologies and didactics to the learning outcomes of the curricular units.
The teaching methodologies for the different CUs are defined by the respective responsible teacher in order to be consistent with the learning objectives for each curricular unit.
In general, these methodologies include autonomous research work into the specialized literature, analysis and discussion of specific problems in the area of each curricular unit and also the presentation of topical seminars.
Most curricular units are organized as appropriate combinations of theoretical, practical, theoretic-practical, tutorial and laboratory classes.
The performance evaluation in the CUs is in general based on a combination of tests and/or exams, eventually including practical/laboratory work, special projects or seminar presentations.
The specific curricular unit entitled "Physics Seminar" consists in the preparation, presentation and discussion of a seminar on a chosen topic.

6.3.2. Formas de verificação de que a carga média de trabalho necessária aos estudantes corresponde ao estimado em ECTS.
No QUC aquando da recolha do inquérito aos estudantes, é-lhes apresentado um quadro com a informação sobre a carga de trabalho ao longo do semestre, sendo-lhes pedido que apresentem uma estimativa média de horas de trabalho autónomo, a % aulas assistidas por semana, a distribuição de trabalho autónomo pelas várias UC e o nº de dias de estudo para exame. Com base nestes elementos é calculada e comparada a carga média de trabalho de uma UC com a carga de trabalho prevista (ECTS), e classificada como: Abaixo do Previsto; Acima do Previsto; De acordo com o previsto. Estes resultados são facultados aos responsáveis pela gestão académica para análise e adequações futuras. Para as UC do 3º está prevista para breve uma reflexão sobre esta temática, com o objetivo de criar um instrumento de avaliação alternativo.

6.3.2. Means to check that the required students' average work load corresponds the estimated in ECTS.
Under the QUC, at the time the student survey is conducted, students are given information on the workload assigned to the several units in which they were enrolled. Students are required to provide an average estimate of independent work hours and the percentage of classes attended, as well as the allocation of independent work to the several course

units and the number of study days for exam. Based on these elements, the average workload of a course unit is calculated and compared with the estimated workload (ECTS), and ranked in 3 possible categories: Lower than Expected; Above Expectations; In line with Expectations. These results are unveiled to the person in charge of academic management for analysis and future action. For 3rd cycle course units, a reflection with the purpose of creating an alternative assessment tool is expected shortly.

6.3.3. Formas de garantir que a avaliação da aprendizagem dos estudantes é feita em função dos objetivos de aprendizagem da unidade curricular.

O QUC prevê a avaliação do processo de ensino e aprendizagem em 5 dimensões: Carga de Trabalho, Organização, Avaliação, Competências e Corpo Docente, as quais refletem a relação entre a aprendizagem dos estudantes e os objetivos de aprendizagem previstos para a UC.

Com base nas respostas dos alunos, estas dimensões, vêm o seu funcionamento classificado como “Inadequado”, “A melhorar” ou “Regular”, sendo que nos 2 primeiros casos existem mecanismos de recolha de informação mais detalhados sobre as causas destes resultados. Em casos mais graves (várias dimensões com resultados inadequados ou a melhorar) está previsto um processo de auditoria, do qual resulta uma síntese das causas apuradas para o problema, e um conjunto de conclusões e recomendações para o futuro.

Para as UC de 3º ciclo está agendada para breve uma reflexão sobre esta temática, com o objetivo de criar um modelo de avaliação alternativo.

6.3.3. Means to ensure that the students learning assessment is adequate to the curricular unit's learning outcomes. The QUC includes the assessment of the teaching and learning process in 5 dimensions: Workload, Organisation, Assessment, Competences and Teaching Body, which reflect the student learning and learning objectives ratio provided for the course unit.

Based on the students' responses, these dimensions are ranked as “Inadequate”, “To be improved” or “Regular”. In the 2 first cases there are improved information collection mechanisms about the causes for these results. Where results are inadequate or to be improved, an auditing process is foreseen which summarizes the causes for the problem and a number of conclusions and recommendations for the future.

For 3rd cycle course units, a reflection with the purpose of creating an alternative assessment tool is expected shortly.

6.3.4. Metodologias de ensino que facilitam a participação dos estudantes em atividades científicas.

Os alunos participam em projetos de investigação em curso nos centros de investigação e laboratórios associados aos programas de doutoramento do Departamento de Física.

Em geral é requerido que os alunos participem em conferências, workshops e seminários através da apresentação de comunicações.

Durante a aprendizagem os alunos são conduzidos a elaborar artigos científicos resultantes da investigação que realizam para submissão em revistas internacionais com mérito reconhecido.

6.3.4. Teaching methodologies that promote the participation of students in scientific activities.

Students usually participate in ongoing research projects at the research centers and laboratories that are associated with the Physics Department and the doctoral program.

Also, in general students are required to participate in conferences, workshops and seminars, oftentimes with the submission of communications.

Throughout the learning process students are led to elaborate scientific papers as a result of their investigations and submit them for publication in international, refereed and acknowledged journals.

7. Resultados

7.1. Resultados Académicos

7.1.1. Eficiência formativa.

7.1.1. Eficiência formativa / Graduation efficiency

	Antepenúltimo ano / Two before the last year	Penúltimo ano / One before the last year	Último ano / Last year
N.º diplomados / No. of graduates	8	10	7
N.º diplomados em N anos / No. of graduates in N years*	6	8	4
N.º diplomados em N+1 anos / No. of graduates in N+1 years	1	2	2

N.º diplomados em N+2 anos / No. of graduates in N+2 years	0	0	1
N.º diplomados em mais de N+2 anos / No. of graduates in more than N+2 years	1	0	0

Perguntas 7.1.2. a 7.1.3.

7.1.2. Comparação do sucesso escolar nas diferentes áreas científicas do ciclo de estudos e respetivas unidades curriculares.

Ainda no âmbito do QUC está prevista a apresentação dos resultados semestrais de cada UC não só ao coordenador de curso, como também aos presidentes de departamento responsáveis pelas várias UC, em particular os resultados da componente de avaliação da UC que engloba o sucesso escolar. Paralelamente, o coordenador de curso tem ao seu dispor no sistema de informação um conjunto de ferramentas analíticas que permitem analisar e acompanhar o sucesso escolar nas várias UC ao longo do ano letivo.

Nas UC do 3º ciclo, este instrumento tem-se revelado ineficiente, devido à dispersão de alunos pelas diversas opções de UC de 3º ciclo, o nº reduzido de respostas, tem originado falta de representatividade. Está prevista para breve uma reflexão sobre esta temática com o objetivo de criar um instrumento de avaliação alternativo.

7.1.2. Comparison of the academic success in the different scientific areas of the study programme and related curricular units.

Under the QUC, the results for each course unit will be reported on a half-yearly basis to the programme coordinator and to the presidents of department responsible for the course units, particularly the results of the course unit assessment component that comprises academic achievement. Concurrently, through a number analytical tools embedded in the information system, the programme coordinator may analyze and follow up academic achievement in the different course units along the academic year.

For 3rd cycle course units, this tool has appeared inefficient due to the dispersion of 3rd cycle course units and the low response rate. A reflection with the purpose of creating an alternative assessment tool is expected shortly.

7.1.3. Forma como os resultados da monitorização do sucesso escolar são utilizados para a definição de ações de melhoria do mesmo.

De acordo com 6.3.3 o QUC prevê a realização de auditorias a UC que apresentem resultados inadequados ou a melhorar em várias dimensões de análise, das quais decorrem recomendações para melhoria dos processos associados que devem ser seguidas pelos departamentos responsáveis, pelo coordenador de curso, e o pelo conselho pedagógico. Paralelamente, anualmente é produzido o relatório anual de autoavaliação (R3A) que engloba um conjunto de indicadores sobre o sucesso escolar do curso, entre outros; é pedido aos coordenadores de curso uma análise do R3A, bem como propostas de atuação futura. Periodicamente são também desenvolvidos alguns estudos sobre o abandono e sucesso escolar que permitem analisar esta dimensão. Por ora, tanto o QUC como o R3A, para o 3º ciclo, ainda estão em reflexão com o objetivo de criar um instrumento de avaliação alternativo.

7.1.3. Use of the results of monitoring academic success to define improvement actions.

According to 6.3.3 the QUC provides for course unit audits which reflect inadequate results or results to be improved in several dimensions of analysis that result from recommendations for improvement of related processes. These recommendations must be followed by the departments-in-charge, by the programme coordinator and the Pedagogical Council. Concurrently, the self-assessment report (R3A) is produced on an annual basis, which comprises a number of indicators about academic achievement, among others; the programme coordinators are asked to analyze the R3A, as well as proposals for future action. Some studies about dropouts and academic achievement are periodically produced, which make it possible to analyze this dimension. For the time being, both the QUC and the R3A, for the 3rd cycle are not yet in line with the purpose of creating an alternative assessment tool.

7.1.4. Empregabilidade.

7.1.4. Empregabilidade / Employability

	%
Percentagem de diplomados que obtiveram emprego em sectores de atividade relacionados com a área do ciclo de estudos / Percentage of graduates that obtained employment in areas of activity related with the study programme's area.	0
Percentagem de diplomados que obtiveram emprego em outros sectores de atividade / Percentage of graduates that obtained employment in other areas of activity	0
Percentagem de diplomados que obtiveram emprego até um ano depois de concluído o ciclo de estudos / Percentage of graduates that obtained employment until one year after graduating	0

7.2. Resultados das atividades científicas, tecnológicas e artísticas.

Pergunta 7.2.1. a 7.2.6.

7.2.1. Indicação do(s) Centro(s) de Investigação devidamente reconhecido(s), na área científica predominante do ciclo de estudos e respetiva classificação (quando aplicável).

Centro de Física e Engenharia de Materiais Avançados (CeFEMA) (<http://cefema.tecnico.ulisboa.pt/>) - Muito Bom
Centro de Física Teórica das Partículas (CFTP) (<http://cftp.ist.utl.pt/>) - Muito Bom
Centro Multidisciplinar de Astrofísica (CENTRA) (<http://centra.tecnico.ulisboa.pt/>) - Muito Bom
Laboratório de Instrumentação e Física de Partículas (LIP) (<http://www.lip.pt/>) - Muito Bom
Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear (IPFN) (<http://www.ipfn.ist.utl.pt/portal>) - Excepcional
Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C²TN) (<http://c2tn.tecnico.ulisboa.pt/>) - Excelente
Instituto de Engenharia de Computadores e Sistemas em Lisboa (INESC-MN) (<http://www.inesc-id.pt>) - Muito Bom
Centro de Recursos Naturais e Ambiente (CERENA) (<http://cerena.ist.utl.pt/>) - Muito Bom

7.2.1. Research centre(s) duly recognized in the main scientific area of the study programme and its mark (if applicable).

Center of Physics and Engineering of Advanced Materials (CeFEMA) (<http://cefema.tecnico.ulisboa.pt/>) - Very Good
Center of Theoretical Particle Physics (CFTP) (<http://cftp.ist.utl.pt/>) - Very Good
Multidisciplinary Center of Astrophysics (CENTRA) (<http://centra.tecnico.ulisboa.pt/>) - Very Good
Laboratory of Particle Physics and Instrumentation (LIP) (<http://www.lip.pt/>) - Very Good
Institute of Plasma and Nuclear Fusion (IPFN) (<http://www.ipfn.ist.utl.pt/portal>) - Exceptional
Nuclear Science and Technology Center (C²TN) (<http://c2tn.tecnico.ulisboa.pt/>) - Excellent
Institute of Computer Engineering and Systems in Lisbon (INESC-MN) (<http://www.inesc-id.pt>) - Very Good
Center of Natural Resources and Environment (CERENA) (<http://cerena.ist.utl.pt/>) - Very Good

7.2.2. Mapa-resumo de publicações científicas do corpo docente do ciclo de estudos em revistas internacionais com revisão por pares, livros ou capítulos de livros, relevantes para o ciclo de estudos.

<http://www.a3es.pt/si/iportal.php/cv/scientific-publication/formId/80180ece-9b8d-3d0a-19b8-56250b4e9dfc>

7.2.3. Mapa-resumo de outras publicações relevantes, designadamente de natureza pedagógica:

<http://www.a3es.pt/si/iportal.php/cv/other-scientific-publication/formId/80180ece-9b8d-3d0a-19b8-56250b4e9dfc>

7.2.4. Impacto real das atividades científicas, tecnológicas e artísticas na valorização e no desenvolvimento económico.

Valorização e atualização de empresas e do setor público pela incorporação dos doutorados formados por este programa. Criação de novas empresas e spin-offs.
Desenvolvimento de patentes e modernização da sociedade em geral como resultado da atividade dos doutorados do programa.

7.2.4. Real impact of scientific, technological and artistic activities on economic enhancement and development.

By incorporating the graduates formed by this doctoral program, private companies and public administration receive valuable, up-to-date expertise and knowledge.
The program also leads to the production of new enterprises and spin-offs.
Patented developments and a modernization of the larger society results from the activities of the program's graduates.

7.2.5. Integração das atividades científicas, tecnológicas e artísticas em projectos e/ou parcerias nacionais e internacionais.

Integração em experiências de grandes laboratórios internacionais, tais como CERN, JET, ITER, ESA, ESO.
Colaborações com outros laboratórios internacionais, tais como o Laboratório Ibérico de Nanotecnologia (INL), redes universitárias europeias e redes de equipamentos integrados no Roteiro Nacional de Infraestruturas da FCT.
Colaboração com Universidades, Centros e Grupos de Investigação internacionais em cada área científica por recurso a vários instrumentos tais como: FP7, Marie Curie, ERC, Mobility. As colaborações com Universidades e Institutos estrangeiros excedem 94 no total, e adicionalmente contam-se pelo menos 11 colaborações com empresas estrangeiras.

7.2.5. Integration of scientific, technological and artistic activities in national and international projects and/or partnerships.

The program integrates experiments in major international laboratories and organization, such as CERN, JET, ITER, ESA and ESO. There are also collaborations with other international laboratories, such as the Iberian Nanotechnology Laboratory (INL), european university networks and equipment networks as part of the FCT's National Infrastructure Guide. Using several instruments such as FP7, Marie Curie, ERC and Mobility the program also fosters collaborative work in each scientific area with international universities, centers and research groups. Collaborations with foreign Universities and Institutes exceeds 94 in total, and also at least 11 collaborations with foreign companies.

7.2.6. Utilização da monitorização das atividades científicas, tecnológicas e artísticas para a sua melhoria.

Anualmente é analisada a produção científica referenciada na WoS – Web of Science. Estudos mais profundos são efetuados quinquenalmente para coincidirem com a avaliação da FCT. A informação é organizada segundo a área

cientificade cada Unidade de Investigação (UI), e disponibilizados dados bibliométricos e financeiros das UI, comparando-os com as congéneres nacionais e posicionando-as face a alguns indicadores que permitem perceber o posicionamento internacional relativo nas áreas de publicação. Como resultado do esforço continuado efetuado pelos órgãos da escola desde 2011, nomeadamente após a criação do sistema interno dediagnóstico/planeamento estratégico das UI, a reflexão já conduziu a fusões e extinções de UI (de mais de 30 para 22 unidades próprias e associadas), dando ênfase particular ao aumento da capacidade crítica instalada e da competitividade científica e financeira nas unidades fundidas.

7.2.6. Use of scientific, technological and artistic activities' monitoring for its improvement.

Every year, an analysis of the scientific output identified in the WoS–Web of Science is carried out. More in depth studies, focused on five year slots, are also conducted to match FCT evaluation cycle. Information is organized according to the scientific area of each Research Unit (RU), and it is provided bibliometric and financial data, comparing them to their national counterparts and positioning them in view of some indicators that allow for understanding the relative international positioning in the publication areas. As a result of the continued effort carried out by IST institutional bodies since 2011, namely through the creation of the internal strategic diagnosis/planning of the RU, the ongoing reflection has already led to unit mergers and closures (from more than 30 RU to 22) focusing particularly on the increase in the installed critical capacity and the scientific and financial competitiveness of merged units.

7.3. Outros Resultados

Perguntas 7.3.1 a 7.3.3

7.3.1. Atividades de desenvolvimento tecnológico e artístico, prestação de serviços à comunidade e formação avançada na(s) área(s) científica(s) fundamental(ais) do ciclo de estudos.

Desenvolvimento de tecnologias e equipamentos no âmbito da investigação do programa doutoral.

Ações de formação técnica específicas associadas a equipamentos e técnicas desenvolvidas ou aplicadas no programa doutoral.

Participação em atividades de Outreach (Ciência Viva, Seminários abertos, entrevistas aos meios de comunicação).

Publicação de livros científicos e de divulgação por membros do corpo docente em editoras reconhecidas (World Scientific, Springer, IST Press, Gradiva , etc.)

7.3.1. Activities of technological and artistic development, consultancy and advanced training in the main scientific area(s) of the study programme.

A consequence of the research developed in the doctoral program is the development of new techniques, technologies and equipments.

Advanced training in specific techniques associated with these developments or methods applied in the doctoral program also ensues.

Participation in Outreach activities (Ciência Viva, open seminars, media consulting and interviews).

The faculty involved in the program also participates by publishing science books and publicizing their work through renowned editors (World Scientific, Springer, IST Press, Gradiva , etc.)

7.3.2. Contributo real dessas atividades para o desenvolvimento nacional, regional e local, a cultura científica, e a ação cultural, desportiva e artística.

Para além das suas funções de Ensino e I&D, o Programa Doutoral em Física do IST desenvolve atividades de ligação à Sociedade, contribuindo para o desenvolvimento económico e social do País em áreas relacionadas com a sua vocação no domínio da Ciência, Engenharia e Tecnologia.

Procura-se estimular a integração de alunos e docentes nos grandes projetos científicos europeus e mundiais, tais como o CERN, ITER, ESA, etc., assim como noutras unidades de I&D de menor dimensão nacionais e estrangeiras.

Procura-se que os alunos assim formados contribuam para o desenvolvimento nacional através das suas competências específicas na sua área de formação, como também contribuam para a renovação cultural e científica da sociedade através de atividades culturais de âmbito mais geral.

7.3.2. Real contribution for national, regional and local development, scientific culture, and cultural, sports and artistic activities.

Beyond its role in Education and R&D, the Doctoral Program in Physics of the IST fosters activities that connect it to the Society, making contributions to the economic and social development of the country in areas related to its vocation in the domain of Science, Engineering and Technology.

The program encourages the integration of students and faculty in great science projects in Europe and the World, such as CERN, ITER, ESA, etc, and in other R&D units of smaller dimension, both national and foreign.

The goal is that the students formed in the program will contribute to the national development through their acquired specific competences and area of expertise, and also contribute to cultural and scientific renewal of society via their participation in other cultural activities of a general nature.

7.3.3. Adequação do conteúdo das informações divulgadas ao exterior sobre a Instituição, o ciclo de estudos e o ensino ministrado.

O IST assume total responsabilidade sobre a adequação de toda a informação divulgada ao exterior pelos seus serviços, relativa aos ciclos de estudo ministrados sob sua responsabilidade.

7.3.3. Suitability of the information made available about the institution, the study programme and the education given to students.

The IST is fully responsible for the adequacy of all the information reported externally by its services, regarding the study cycles taught under its responsibility.

7.3.4. Nível de internacionalização

7.3.4. Nível de internacionalização / Internationalisation level

	%
Percentagem de alunos estrangeiros matriculados no ciclo de estudos / Percentage of foreign students enrolled in the study programme	36
Percentagem de alunos em programas internacionais de mobilidade (in) / Percentage of students in international mobility programs (in)	0
Percentagem de alunos em programas internacionais de mobilidade (out) / Percentage of students in international mobility programs (out)	0
Percentagem de docentes estrangeiros, incluindo docentes em mobilidade (in) / Percentage of foreign teaching staff (in)	4
Mobilidade de docentes na área científica do ciclo de estudos (out) / Percentage of teaching staff in mobility (out)	71

8. Análise SWOT do ciclo de estudos

8.1 Análise SWOT global do ciclo de estudos

8.1.1. Pontos fortes

- *O alto prestígio da instituição IST e dos centros e laboratórios de investigação associados.*
- *A excelente qualidade dos alunos que ingressam no programa de doutoramento.*
- *A elevada qualidade do corpo docente proporcionando uma formação de base sólida e atualizada, numa componente letiva de excelente qualidade.*
- *A possibilidade de desenvolvimento da investigação em unidades de investigação de elevada qualidade.*
- *O acesso a meios laboratoriais e computacionais de grande qualidade e atualidade.*
- *A existência de elevado número de Seminários e Workshops regularmente realizados no IST a que os alunos podem ter acesso.*
- *Acesso a bases referenciais de revistas, nomeadamente as revistas da American Physical Society (APS) que continuam a ser assinadas pelo IST.*
- *Enquadramento institucional de vários programas doutorais da FCT, com bolsas próprias providenciando alunos de doutoramento.*
- *A excelente aceitação dos doutorados quer a nível nacional quer internacional.*
- *O espectro muito amplo e diversificado das áreas científicas existentes no DF.*
- *O alto nível e o elevado número de publicações em revistas científicas internacionais dos docentes que participam nos programas doutorais.*
- *O nível de reconhecimento no país e em instituições universitárias e laboratórios estrangeiros da qualidade da investigação realizada no DF.*
- *A disponibilidade dos investigadores na lecionação de unidades curriculares e orientação de teses como professores convidados.*

8.1.1. Strengths

- *The excellent prestige of IST as an institution and its associated centres and laboratories.*
- *The excellent quality of the students that enrol in the doctoral programme.*
- *An highly qualified faculty providing a strong and up-to-date fundamental training, integrating an excellent academic component.*
- *The possibility of developing research in high-quality research units.*
- *Access to great state-of-the-art computational and laboratory resources.*
- *The existence of numerous Seminars and Workshops organized on a regular basis at the IST, which the students can attend and profit from.*
- *Access to reference journal databases, including in particular journals from the American Physical Society (APS) which the IST continues to subscribe.*
- *An institutional framing for several doctoral programmes from FCT which, with its own scholarship endowments,*

attracts doctoral students of the highest quality.

- *Excellent placement of its graduates both nationally and internationally.*
- *The large and diversified spectrum of scientific areas within the Physics Department.*
- *The high quality and numbers of publications in scientific international journals by the faculty of the doctoral program.*
- *The reconnaissance of the excellence of research taking place in the Physics Department, in the country and in foreign university and laboratory institutions.*
- *The possibility of engaging researchers as invited professors for teaching curricular units.*

8.1.2. Pontos fracos

Ensino experimental fortemente baseado nas infraestruturas cedidas pelas unidades de investigação.

Um curriculum demasiadamente extenso, não otimizando o conteúdo das unidades curriculares.

Unidades curriculares formativas, incluídas no plano de estudos, semelhantes a unidades do curso de mestrado .

8.1.2. Weaknesses

There is a lack of specific experimental laboratories to assist in the teaching of advanced curricular units.

An oversized curriculum that does not optimize the content of its curricular units.

Propaedeutic curricular units, similar to units from the Master's level courses, are included in the study plan.

8.1.3. Oportunidades

Estabelecer parcerias (nacionais e internacionais) com universidades de grande prestígio conducentes à realização de doutoramentos em cotutela e à atribuição de graus duais ou em rede.

8.1.3. Opportunities

To establish national and international partnerships with highly prestigious universities that lead to shared tutelage doctoral degrees or dual networked degrees.

8.1.4. Constrangimentos

Dificuldade na obtenção de bolsas de doutoramento em áreas não cobertas pelos programas de doutoramento da FCT.

Ausência de financiamento por parte das Universidades dos centros de investigação que suportam as infraestruturas

afetas ao programa de doutoramento. Redução de verbas e funcionamento irregular por parte das agências de

financiamento científico, dificultando o normal funcionamento das infraestruturas afetas ao programa de doutoramento.

8.1.4. Threats

There is an increased difficulty in obtaining PhD scholarships in areas that are not covered by the FCT's doctoral programs.

Universities lack in funding research centers that carry the infrastructures supporting the doctoral program.

Budget restrictions and irregular operation of the scientific financing agencies from which the doctoral program depends.

9. Proposta de ações de melhoria

9.1. Ações de melhoria do ciclo de estudos

9.1.1. Ação de melhoria

Adaptação ao desenvolvimento de tecnologia e conhecimento.

Adaptação e articulação com os novos doutoramentos FCT.

Revisão do conjunto de unidades curriculares e seus conteúdos, aumentando a coerência do conjunto das unidades curriculares oferecidas em cada área científica.

Eliminação das unidades formativas anteriormente incluídas no plano de estudos semelhantes a unidades do curso de mestrado, tendo-se optado por passar a incluir, se necessário, unidades curriculares do mestrado (MEFT) no plano de estudos dos alunos como unidades propedêuticas.

9.1.1. Improvement measure

Adaptation to new knowledge and technological development.

Adaptation and articulation with new FCT doctoral programs.

Revision of the ensemble of curricular units and their contents, thus raising the coherence of the curricular units that are offered in each scientific area.

Elimination of formative units, previously included in the study plan, that were similar to units in the Master's degree

and, if necessary, the inclusion of curricular units of the MEFT degree as propaedeutical units in the students study plan.

9.1.2. Prioridade (alta, média, baixa) e tempo de implementação da medida
Alta prioridade. Implementação no ano letivo 2016-2017.

9.1.2. Priority (High, Medium, Low) and implementation timeline.
High-priority. Implementation starting in academic year 2016-2017.

9.1.3. Indicadores de implementação
Melhoria da formação dos alunos resultante do seu plano curricular, com benefícios para a realização das teses de doutoramento. Concentração dos alunos num número inferior de unidades curriculares.

9.1.3. Implementation indicators
Improvements in student preparation as a consequence of their curricular plan, with benefits for the production of the doctoral thesis. Student concentration in smaller number of curricular units.

10. Proposta de reestruturação curricular (facultativo)

10.1. Alterações à estrutura curricular

10.1. Alterações à estrutura curricular

10.1.1. Síntese das alterações pretendidas
A reestruturação do curso teve como base os seguintes dois aspectos:
1) A apresentação de unidades curriculares que refletissem o estado da arte da ciência e da tecnologia em cada uma das áreas científicas do programa de doutoramento, dada a rapidez da evolução do conhecimento em cada uma delas.
2) Uma melhor racionalização dos recursos humanos de professores e investigadores disponíveis para a leccionação. Em resultado da reestruturação conseguiu-se a eliminação de algumas das unidades curriculares existentes e a actualização e introdução de outras, permitindo uma redução de 45% no total das unidades oferecidas.

10.1.1. Synthesis of the intended changes
The program restructuring was based in the two following aspects:
1) The ability to offer curricular units that reflect the state-of-the-art in science and technology for each of the scientific areas of the doctoral program, thus accounting for the fast pace of evolution of knowledge in each.
2) An improved rationalization of human resources among professors and researchers available for teaching. As a result of the restructuring we have been able to eliminate some of the existing curricular units and update and introduce others, which allowed for a 45% reduction in total offered units.

10.1.2. Nova estrutura curricular pretendida (apenas os percursos em que são propostas alterações)

Mapa Tronco Comum

10.1.2.1. Ciclo de Estudos:
Física

10.1.2.1. Study programme:
Physics

10.1.2.2. Grau:
Doutor

10.1.2.3. Ramo, variante, área de especialização do mestrado ou especialidade do doutoramento (se aplicável):
Tronco Comum

10.1.2.3. Branch, option, specialization area of the master or speciality of the PhD (if applicable):***Common Branch*****10.1.2.4 Nova estrutura curricular pretendida / New intended curricular structure**

Área Científica / Scientific Area	Sigla / Acronym	ECTS Obrigatórios / Mandatory ECTS	ECTS Optativos / Optional ECTS*
Astrofísica e Gravitação (Opções-15 ECTS)/ Astrophysics and Gravitation (Optional-15 ECTS)	AG	0	0
Competências Transversais (Opções-7.5 ECTS)/ Crosscutting Skills (Optional-7.5 ECTS)	CT	0	0
Física Interdisciplinar (Opções-15 ECTS)/ Interdisciplinary Physics (Optional-15 ECTS)	FI	3	0
Física da Matéria Condensada e Nanotecnologia (Opções-67.5 ECTS)/ Condensed Matter and Nanotechnology (Optional-67.5 ECTS)	FMCN	0	0
Física de Partículas e Física Nuclear (Opções-75 ECTS)/ Particle and Nuclear Physics (Optional-75 ECTS)	FPFN	0	0
Física dos Plasmas, Lasers e Fusão Nuclear (Opções-30 ECTS)/ Plasma Physics, Lasers and Nuclear Fusion (Optional-30 ECTS)	FPLFN	0	0
Físicas e Tecnologias Básicas (Opções-7.5 ECTS)/ Basic Physics and Technologies (Optional-7.5 ECTS)	FTB	0	0
Outras áreas científicas do IST (Opções-30 ECTS)/ Other scientific areas of IST (Optional-30 ECTS)	OL	0	0
Opções - Qualquer área científica desta tabela/Options - any scientific area of this table	OP	0	27
(9 Items)		3	27

10.2. Novo plano de estudos**Mapa XII - Tronco Comum - 1º Ano****10.2.1. Ciclo de Estudos:*****Física*****10.2.1. Study programme:*****Physics*****10.2.2. Grau:*****Doutor*****10.2.3. Ramo, variante, área de especialização do mestrado ou especialidade do doutoramento (se aplicável):*****Tronco Comum*****10.2.3. Branch, option, specialization area of the master or speciality of the PhD (if applicable):*****Common Branch*****10.2.4. Ano/semestre/trimestre curricular:*****1º Ano*****10.2.4. Curricular year/semester/trimester:*****1st Year*****10.2.5 Novo plano de estudos / New study plan**

Unidades Curriculares / Curricular Units	Área Científica / Scientific Area (1)	Duração / Duration (2)	Horas Trabalho / Working Hours (3)	Horas Contacto / Contact Hours (4)	ECTS	Observações / Observations (5)
Tópicos Avançados em Relatividade Geral, Astrofísica e Cosmologia I / Advanced Topics in General Relativity, Astrophysics and Cosmology I	AG	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Tópicos Avançados em Relatividade Geral, Astrofísica e Cosmologia II / Advanced Topics in General Relativity, Astrophysics and Cosmology II	AG	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Competências Transversais/Soft Skills	CT	Semestral	42	OT-14;	1.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Ensino e Divulgação Científica - DF / Outreach and Teaching Skills - DF	CT	Semestral	168	OT-42;	6	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Física da Informação Clássica e Quântica / Physics of Classical and Quantum Information	FI	Semestral	210	TP-56;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Seminário de Física / Physics Seminar	FI	Semestral	84	S-14;	3	Obrigatória
Tecnologias Quânticas da Informação / Quantum Information Technologies	FI	Semestral	210	TP-56;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Física da Matéria Condensada Avançada / Advanced Condensed Matter Physics	FMCN	Semestral	210	OT-42;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Física da Matéria Condensada e Informação Quântica / Condensed Matter Physics and Quantum Information	FMCN	Semestral	210	OT-42;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Física das Nanoestruturas de Semicondutores / Physics of Semiconductor Nanostructures	FMCN	Semestral	210	T-42;PL-28;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Sistemas de Muitas Partículas e Fenómenos Críticos / Multiparticle Systems and Critical Phenomena	FMCN	Semestral	210	OT-42;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Spintrónica / Spintronics	FMCN	Semestral	210	T-28; TP-56	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Tópicos Avançados em Física da Matéria Condensada / Advanced Topics in Condensed Matter Physics	FMCN	Semestral	210	OT-42;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Tópicos Avançados em Magnetismo / Topics in Advanced Magnetism	FMCN	Semestral	210	T-28;TP-56;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Tópicos de Física Experimental da Matéria Condensada/Topics of Experimental Condensed Matter Physics	FMCN	Semestral	210	T-28;PL-56;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Tópicos de Física dos Cristais Líquidos / Topics of Physics of Liquid Crystals	FMCN	Semestral	210	TP-63;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Astropartículas / Astroparticles	PPFN	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Física de Interação Forte/QCD / Physics of the Strong/QCD Interaction	PPFN	Semestral	210	S-21;OT-42;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Métodos Experimentais Avançados em Física de Partículas I / Advanced Experimental Methods in Particle Physics I	PPFN	Semestral	210	PL-28;OT-14;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Métodos Experimentais Avançados em Física de Partículas II / Advanced Experimental Methods in Particle Physics II	PPFN	Semestral	210	PL-28;OT-14;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS

Teoria do Campo Avançada / Advanced Field Theory	FPFN	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Tópicos Avançados em Física Nuclear I / Advanced Topics in Nuclear Physics I	FPFN	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Tópicos Avançados em Física Nuclear II / Advanced Topics in Nuclear Physics II	FPFN	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Tópicos Avançados em Física das Partículas e Astropartículas I / Advanced Topics in Particle and Astroparticle Physics I	FPFN	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Tópicos Avançados em Física das Partículas e Astropartículas II / Advanced Topics in Particle and Astroparticle Physics II	FPFN	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Tópicos em Física de Partículas / Topics in Particle Physics	FPFN	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Computação Avançada em Física e Engenharia / Advanced Computation in Physics and Engineering	FPLFN	Semestral	210	TP-28;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Fundamentos de Física dos Plasmas, Fusão Nuclear e Lasers / Fundamentals of Plasma Physics, Nuclear Fusion and Lasers	FPLFN	Semestral	210	T-42;TP-28;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Métodos de Diagnóstico de Plasmas / Plasma Diagnostic Methods	FPLFN	Semestral	210	T-28;PL-42;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Tópicos Avançados em Física dos Plasmas, Fusão Nuclear e Lasers / Advanced Topics in Plasma Physics, Nuclear Fusion and Lasers	FPLFN	Semestral	210	T-42;TP-28;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Métodos de Física Nuclear em Ciência e Tecnologia / Nuclear Physics Methods in Science and Technology	FTB	Semestral	210	OT-14;	7.5	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS
Unidades curriculares de opção / Free option units	OL	Semestral	840	n.a.	30	Opcional - Deverão ser escolhidos pelo menos 27 ECTS Opções Livres: UCs do IST com acordo prévio do coordenador do DEAF no âmbito do regulamento dos PDs

(32 Items)

10.3. Fichas curriculares dos docentes

Mapa XIII

10.3.1. Nome do docente (preencher o nome completo):

<sem resposta>

10.3.2. Instituição de ensino superior (preencher apenas quando diferente da Instituição proponente mencionada em A1):

<sem resposta>

10.3.3 Unidade Orgânica (preencher apenas quando diferente da unidade orgânica mencionada em A2.):

<sem resposta>

10.3.4. Categoria:

<sem resposta>

10.3.5. Regime de tempo na Instituição que submete a proposta (%):

<sem resposta>

10.3.6. Ficha curricular de docente:

<sem resposta>

10.4. Organização das Unidades Curriculares (apenas para as unidades curriculares novas)

Mapa XIV - Física da Matéria Condensada Avançada / Advanced Condensed Matter Physics**10.4.1.1. Unidade curricular:**

Física da Matéria Condensada Avançada / Advanced Condensed Matter Physics

10.4.1.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Pedro Domingos Santos do Sacramento

10.4.1.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

<sem resposta>

10.4.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Contacto com temas avançados e próximos de temas de investigação.

10.4.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Contact with advanced topics and methods close to research topics.

10.4.1.5. Conteúdos programáticos:

I. Teoria do Líquido de Fermi. Renormalização do gás de Fermi. Teoria de Landau.

II. Condutores uni-dimensionais. Modelo de Luttinger. Bosonização. Líquidos de Luttinger.

III. Efeito de Hall quântico. Efeito de Hall inteiro. Invariância de gauge. Topologia. Efeito de Hall fracionário. Cargas fracionárias.

IV. Transição de Kosterlitz-Thouless. O modelo XY. Vórtices. Supercondutores do tipo-II.

V. Sistemas Desordenados Efeito de impurezas. Desordem annealed e quenched. Localização.

10.4.1.5. Syllabus:

I. Fermi-liquid theory. Renormalization of the Fermi gas. Landau theory.

II. Unidimensional conductors. Luttinger model. Bosonization. Luttinger liquids.

III. Quantum Hall effect. Integer quantum Hall effect. Gauge invariance. Topology. Fractional Hall effect. Fractional charges.

IV. Kosterlitz-Thouless transition. XY model. Vortices. Type-II superconductors.

V. Disordered systems. Effect of impurities. Annealed and quenched disorders. Localization.

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

Nesta unidade curricular introduzem-se e discutem-se temas avançados, sendo vários deles tópicos de investigação atual.

10.4.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

In this course advanced topics are introduced and discussed, and several of them remain topics of current research activity.

10.4.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Trabalhos de casa semanais e Exame final ou Trabalho.

10.4.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Weekly homework problems and final exam or special presentation.

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

Os temas avançados desta disciplina exigem um acompanhamento regular da evolução do processo de aprendizagem e são complementados com a apresentação e discussão de um tema avançado.

10.4.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The advanced topics of this course require a close monitoring of the learning process of the students and are complemented by the presentation and discussion of an advanced topic.

10.4.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Many-Particle Physics: G.D. Mahan 1990 Plenum Press, 1990

Quantum Theory of Many-Particle Systems: A.L. Fetter and J.D. Walecka 1971 McGraw-Hill, 1971.

The theory of Quantum Liquids: D. Pines and Ph. Nozières 1989 Addison-Wesley, 1989.

Superconductivity of Metals and Alloys: P.G. de Gennes 1989 Addison-Wesley, 1989.

Green's Functions for Solid State Physicists: S. Doniach and E.H. Sondheimer 1974 Benjamin, 1974.

Mapa XIV - Tópicos de Física dos Cristais Líquidos / Topics of Physics of Liquid Crystals**10.4.1.1. Unidade curricular:**

Tópicos de Física dos Cristais Líquidos / Topics of Physics of Liquid Crystals

10.4.1.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

João Luís Maia Figueirinhas

10.4.1.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

<sem resposta>

10.4.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Desenvolvimento de competências avançadas no domínio da Física dos Cristais Líquidos (CLs) com introdução a técnicas e temas atuais de investigação neste domínio. Aprofundamento da formação obtida na UC introdutória ao tema, de modo a alargar e consolidar os conhecimentos de carácter fundamental sobre os CLs assim como das técnicas experimentais usadas no seu estudo. Introdução a tópicos atuais de investigação em CLs, incluindo nemáticos não usuais como a fase nemática biaxial e a fase nemática "twist-bend". Estudo das técnicas experimentais principais usadas nos diferentes tópicos de investigação, incluindo técnicas de ressonância magnética nuclear (RMN) e técnicas de electro-ótica (EO).

10.4.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Development of advanced skills in Physics of Liquid Crystals (LCs) with introduction to techniques and current research topics in this field. Expansion of the training obtained at the introductory CU in the subject, to extend and consolidate the knowledge of fundamental character on LCs as well as the experimental techniques used in their study. Introduction to current research topics in LCs including unusual nematics as the biaxial nematic phase and the twist-bend nematic phase. Study of the main experimental techniques used in the different research topics, including nuclear magnetic resonance (NMR) techniques and electro-optic (EO) techniques.

10.4.1.5. Conteúdos programáticos:

1. Revisão de conceitos físicos associados aos CLs.

2. Modelos para as fases nemáticas (N) uniaxial e biaxial; modelos de Fraiser, Straley, e Luckhurts. Diagramas de fase.

3. Ótica de meios anisótropos. Técnicas de EO no estudo dos CLs N, obtenção de grandezas físicas usando transições de Freedericksz. Medição de índices de refração na fase N por interferometria e conoscopia laser.

4. Ordem orientacional nos CLs obtida por RMN do protão/deutério. Simulação de espectros de RMN em CLs estáticos e em rotação. Medição dos parâmetros de ordem.

5. Dinâmica molecular em CLs analisada por relaxometria. Modos coletivos em CLs. Difusão molecular. Movimentos locais de reorientação/rotação.

6. A fase nemática twist-bend, dados e modelos.

Trabalhos práticos:

1-Índices de refração num CL N obtidos por interferometria e conoscopia laser.

2-A ordem orientacional num CL N obtida por simulação de espectros de RMN protão/deutério

3-A dinâmica molecular num CL N obtida por relaxometria.

10.4.1.5. Syllabus:

1. Review of physical concepts associated to LCs.

2. Models for uniaxial and biaxial nematic phases; Fraiser, Straley and Luckhurts models. Phase diagrams.

3. Optics of anisotropic media. EO techniques used in the study of nematic LCs, obtaining physical constants through Freedericksz transitions. Measurement of refractive indices in nematics by laser interferometry and conoscopy.

4. The LCs' orientational order obtained by proton and deuterium NMR. Simulation of NMR spectra in static and rotating

LCs. Determination of order parameters.

5. Molecular Dynamics in LCs studied by relaxometry. Collective modes in LCs. Molecular diffusion. Local movements of rotation/reorientation.

6. The twist-bend nematic phase, data and models.

Laboratory work:

1-Refractive indices of a nematic film obtained by laser interferometry and conoscopy.

2-Orientalational order in a nematic through simulation of the proton/deuterium NMR spectra

3-Characterization of molecular dynamics in a nematic by relaxometry.

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

Os objetivos da UC incluem um aprofundamento do conhecimento da física dos Cristais Líquidos acompanhado da introdução a temas de investigação atual nesta área e do reforço das competências ao nível das técnicas experimentais em uso no estudo desses temas. O programa é coerente com estes objetivos ao focar um conjunto de tópicos relevantes para os temas em estudo assim como um conjunto de técnicas experimentais que incluem a electro-ótica, a relaxometria e a espectroscopia de RMN que suportam a investigação experimental em curso nesses temas. A existência de uma componente laboratorial associada a essas técnicas constitui uma significativa mais valia para o reforço de competências ao nível dessas técnicas como incluído nos objetivos da UC.

10.4.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The course objectives include a deepening of the knowledge on physics of Liquid Crystals, accompanied by the introduction to current research topics in this area and the enhancing of skills at the level of the experimental techniques used in the study of these topics. The program is consistent with these goals by focusing on a range of topics relevant to the issues under study as well as a set of experimental techniques that include electro-optics, NMR relaxometry and spectroscopy that support the experimental research in progress on those topics. The existence of a laboratory component associated with these techniques is a significant added value for the reinforcement of the skills in these techniques as included in the objectives of the course.

10.4.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

A atividade letiva inclui aulas teóricas e de laboratório. Nas aulas teóricas é feita a exposição detalhada da matéria com auxílio da projeção do material a apresentar na aula, que é previamente disponibilizado aos alunos na página da UC. Esta exposição é complementada pela resolução na aula de alguns problemas de ilustração da matéria onde são desenvolvidos os tópicos mais relevantes apresentados. As aulas de laboratório decorrem nas instalações do grupo do CeFEMA, Fluidos Complexos, NMR e Superfícies onde estão instalados os equipamentos a usar nos trabalhos de laboratório. A avaliação de conhecimentos inclui uma componente de avaliação contínua baseada nos relatórios dos trabalhos de laboratório realizados com um peso de 40% da nota final e a realização de um exame escrito no final do semestre com um peso de 60% da nota final.

10.4.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The teaching activity includes lectures and laboratory sessions. In the lectures a detailed exposition of the subjects is made, supported by the projection of the material to be presented in class. This material is previously made available to the students through the CU web page. The exposition is complemented by the resolution in class of some illustrative problems where the most relevant topics presented are developed. The laboratory classes take place in CeFEMA's, Complex Fluids, NMR and Surfaces group facilities, where the equipment to be used in the laboratory work is installed. The grading includes a continuous grading component based on the reports from the laboratory work performed with a weight of 40% of the final grade and the completion of a written exam at the end of the semester with a weight of 60% of the final grade.

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

A metodologia de ensino inclui aulas teóricas de exposição das matérias e aulas de laboratório onde os conhecimentos adquiridos são utilizados na análise e interpretação dos resultados experimentais obtidos. A estrutura de ensino da UC incluindo as vertentes teórica e de laboratório, é um fator importante no equilíbrio entre as competências de índole teórica e experimental que são adquiridas com a UC, promovendo os objetivos da UC. Esta estrutura complementar permite aprofundar o estudo dos sistemas em análise, constituindo um fator extra de promoção dos objetivos da UC.

10.4.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodology includes lectures and laboratory classes where the acquired knowledge is used in the analysis and interpretation of experimental results. The CU teaching structure including theoretical and laboratory aspects, is an important factor in balancing the skills of theoretical and experimental nature that are acquired with the CU, promoting the CU objectives. This complementary structure allows a deeper study of the systems under consideration, and constitutes an additional factor promoting the CU objectives.

10.4.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

- Liquid Crystals: S. Chandrasekhar 1992 Cambridge University Press, 1992.*
- The Physics of Liquid Crystals: P.G. de Gennes, J. Prost 1993 Clarendon Press, Oxford, 1993.*
- Thermotropic Liquid Crystals, Fundamentals: G. Vertogen, W.H. de Jeu 1988 Springer-Verlag, New York, 1988*
- Physical Properties of Liquid Crystals: D. Demus, J. Goodby, G. Gray, H.-W. Spiess, V. Vill, (Eds.) 1999 Wiley VCH, Weinheim, New York, Chichester, Brisbane, Singapore, Toronto, 1999.*
- Electrooptic Effects in Liquid Crystal Materials: L. M. Blinov and V. G. Chigrinov 1996 Springer-Verlag, 1996*
- Ressonância Magnética Nuclear. Fundamentos, Métodos e Aplicações: V.M.S. Gil, C.F.G.C. Geraldes 1987 Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa (1987)*
- Nuclear Magnetic Resonance of Liquid Crystals, 2nd Ed: R. Y. Dong 1997 Springer-Verlag, New York, 1997.*

Mapa XIV - Tópicos Avançados em Física da Matéria Condensada / Advanced Topics in Condensed Matter Physics**10.4.1.1. Unidade curricular:**

Tópicos Avançados em Física da Matéria Condensada / Advanced Topics in Condensed Matter Physics

10.4.1.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Eduardo Filipe Vieira de Castro

10.4.1.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Variável

10.4.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Discussão de assuntos de física da matéria condensada e sua aplicação a materiais e sistemas com utilizações modernas.

10.4.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Discussion of subjects of condensed matter physics and their application to materials and systems with modern applications.

10.4.1.5. Conteúdos programáticos:

- I. Sistemas electrónicos e suas aplicações: metais, isolantes, semicondutores, grafeno e outros sistemas de baixa dimensão*
- II. Fundamentos e aplicações de sistemas magnéticos e de sistemas supercondutores. Heteroestruturas e propriedades de transporte.*
- III- Física de sistemas contínuos: correlações, ordem de longo alcance e suas aplicações.*
- IV- Transições de fase em sistemas clássicos e quânticos e suas aplicações*

10.4.1.5. Syllabus:

- I. Electronic systems and their applications: metals, insulators, semiconductors, graphene and other low-dimensional materials.*
- II. Fundamentals and applications of magnetic systems and superconducting systems. Heterostructures and transport properties.*
- III- Physics of continuous systems: correlations, long-range order and their applications.*
- IV- Classical and quantum phase transitions and their applications.*

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

Vários sistemas de física da matéria condensada são discutidos desde os seus fundamentos a aplicações, de acordo com os objectivos da unidade curricular.

10.4.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Several systems of condensed matter are discussed from fundamentals to applications. In line with the goals of this course.

10.4.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Apresentação e revisão de temas pelo docente complementados por uma participação ativa dos alunos no processo de aprendizagem com apresentação por parte dos alunos de assuntos específicos com ênfase em aplicações. A avaliação

compõe-se da apresentação dos alunos em seminários variados sobre os vários tópicos em discussão e da realização de trabalhos de casa sobre os assuntos discutidos.

10.4.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The presentation and revision of topics by the faculty member are complemented by an active participation of the students in the learning process through presentation by the students of specific themes with emphasis on applications. The evaluation of the students is composed by the presentation by the students through various seminars on the various topics being discussed and by regular homework on the topics discussed.

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

Nesta unidade curricular pretende-se um estudo independente dos alunos sendo por isso dada preferência a uma avaliação contínua e muito participada por parte dos alunos.

10.4.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

In this course the students are assumed to carry out independent study and therefore preference is given to a weekly evaluation of the students.

10.4.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

***Lecture Notes on Electron Correlation and Magnetism
P. Fazekas, World Scientific (1999)***

***Quantum Phase transitions
S. Sachdev, Cambridge University Press (2011)***

***Principles of Condensed Matter Physics
P. M. Chaikin and T.C. Lubensky, Cambridge University Press (2000)***

Mapa XIV - Sistemas de Muitas Partículas e Fenómenos Críticos / Multiparticle Systems and Critical Phenomena

10.4.1.1. Unidade curricular:

Sistemas de Muitas Partículas e Fenómenos Críticos / Multiparticle Systems and Critical Phenomena

10.4.1.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Pedro José Gonçalves Ribeiro

10.4.1.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

<sem resposta>

10.4.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Este é um curso teórico que fornece um conjunto de ferramentas e técnicas para uma visão moderna de diferentes fases da matéria, da sua estabilidade e propriedades. O estudante será dotado de um conjunto de técnicas standard de teoria de campo. Os exemplos, exercícios e aplicações são orientados para problemas de Matéria Condensada. Um aluno motivado para estudar teoria de campo no contexto de Física das Altas Energias ou Física de Partículas poderá achar o curso interessante e útil devido às similaridades dos tópicos e técnicas.

10.4.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

This is a theoretical course that provides the tools and techniques underlying the modern understanding of phases of matter, their stability and their properties. The student will be endowed with a set of standard techniques of field theory. Examples, exercises and applications will be oriented towards Condensed Matter. A student motivated to study field theory in the context of High Energy or Particle Physics may find the course useful due to the similarities between the topics and techniques.

10.4.1.5. Conteúdos programáticos:

***1. Partículas e campos
Modelos e variáveis, teorias efetivas de baixa energia***

***2. Funções de Green
Funções de resposta e de correlação, funções de Green e suas propriedades, formalismo canónico, formalismo de***

tempo imaginário**3. Integrais de Caminho de Feynman***Integral de caminho de uma partícula, propagador de uma partícula**Métodos não perturbativos, ponto em sela e expansão no número de loops, potencial de poço duplo, instantões**Integral de caminho de muitas partículas**Estados coerentes bosónicos e fermiónicos**Construção do integral de caminho**Bosões e fermiões livres***4. Teoria de perturbações***Expansão diagramática, equação de Dyson, aproximação das fases aleatórias***5. Métodos não-perturbativos methods. Aplicações***Propagadores anómalos**Superfluidez**Teoria do Líquido de Fermi**Magnetismo itinerant magnetism - ladders and bubbles**Teoria BCS, representação de Nambu***6. Métodos numéricos***Diagonalização exacta. Método de Lanczos. Método de Monte Carlo***10.4.1.5. Syllabus:****1. Particles and fields***Models and variables, low energy effective theories***2. Green's functions***Response and correlation functions, Green's functions and their properties, canonical formalism, imaginary time formalism***3. Feynman Path Integrals***Single particle path integral, propagator of a single particle**Non-perturbative methods - Saddle point and loop expansion, double well potential, instantons**Many body path integral**Coherent states, bosonic and fermionic**Construction of the path integral**Free bosons and fermions***4. Perturbation theory***Diagrammatic expansion, Dyson equation, Random Phase approximation***5. Non-perturbative methods - Applications***Anomalous propagators**Superfluidity**Fermi-Liquid theory**Itinerant magnetism - ladders and bubbles**BCS theory, Nambu representation***6. Numerical methods.***Exact diagonalization. Lanczos method. Monte Carlo method***10.4.1.6. Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular**

Os conteúdos programáticos foram escolhidos no sentido de facultar ao aluno um conjunto de ferramentas para a análise de sistemas a muitos corpos. No capítulo 1 são apresentadas as motivações e é feita a ligação com os conhecimentos anteriores. Nos capítulos 2, 3 e 4 são dadas um conjunto de técnicas de análise. O capítulos 5 é voltado para as aplicações a sistemas físicos. No capítulo 6 é facultado um conjunto de métodos numéricos complementares.

10.4.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The programmatic content was chosen such as to endow the student with a set of tools for the analysis of many body systems. Chapter 1 is devoted to the motivation and links with previous knowledge. In chapters 2, 3 and 4 a number of different techniques and methods are introduced. Chapters 5 is devoted to applications to physical systems. In chapter 5 a number of complementary numerical techniques are introduced.

10.4.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Avaliação: Exame e problemas ou exame.

10.4.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Evaluation: Examination and problems sets or examination.

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

A metodologia de ensino baseia-se na transferência de conhecimento através de aulas teóricas e sessões de resolução de exercícios. O primeiro capítulo permite um nivelamento do conhecimentos dos alunos com diferentes backgrounds. As técnicas de teoria de campo tais como o conceito funções de Green são cruciais para o modo como a teoria de campo é usada para calcular quantidades físicas e fazer previsões experimentais. Grandezas experimentalmente determinadas podem ser relacionadas com funções de correlação de campos calculadas com um modelo teórico. Mesmo para modelos simples este cálculo pode raramente ser feito exatamente e tem de recorrer-se a aproximações que capturem o principal fenómeno físico. O curso visa guiar o estudante através deste processo enquanto explora as propriedades dos líquidos de Bose e de Fermi.

10.4.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies are based on the transfer of knowledge through plenary and exercise solving courses. The first chapter allows to level the knowledge of students with different backgrounds and formations. Field theory techniques such as the concept of Green's function are crucial to the way many-body theory is used to compute physical quantities and make experimental verifiable predictions. Experimental measurements can be related to correlation functions of fields that are then computed within some models. However, even for very simple models, computations can seldom be done exactly and one has to rely on some kind of approximation that can capture the main physical picture. The course is aimed to guide the student though this process while understanding the properties of Fermi and Bose liquids.

10.4.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Main bibliography:

1. *Condensed Matter Field Theory*, A. Altland and B. Simons, Cambridge University Press (2010).
2. *Many-Particle Physics*, G. D. Mahan, Plenum Press (1990).
3. *Quantum Theory of Many-Particle Systems*, A.L. Fetter and J.D. Walecka, McGraw-Hill (1971).
5. *Many-Body Quantum Theory in Condensed Matter Physics: An Introduction*, H. Bruus and K. Flensberg, Oxford University Press (2004).

Additional bibliography:

1. *Green's Function in Solid State Physics*, Doniach and Sondheimer, Imperial College Press (1998).
2. *Quantum Many-Particle Systems*, J. W. Negele and H. Orland, Westview Press (2008).
3. *Methods of Quantum Field Theory in Statistical Physics*, A. A. Abrikosov, L. P. Gorkov and I. E. Dzyaloshinski, Courier Corporation (1975).
4. *Quantum Condensed Matter Field Theory, Lecture Notes Ben Simons*, <http://www.tcm.phy.cam.ac.uk/~bds10/tp3/lectures.pdf>

Mapa XIV - Spintrónica / Spintronics**10.4.1.1. Unidade curricular:**

Spintrónica / Spintronics

10.4.1.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Susana Isabel Pinheiro Cardoso de Freitas

10.4.1.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

<sem resposta>

10.4.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Apresentar aos alunos uma perspectiva sobre os dispositivos spintrónicos avançados, incluindo os desafios relativos ao controlo do magnetismo à nanoescala e funcionalidade com consumo mínimo de potência. Os alunos ficarão familiarizados com os avanços mais recentes no armazenamento magnético de dados, memórias MRAM e nano-osciladores.

10.4.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

To provide the students with a state-of-the-art view of advanced spintronic devices, including the challenging mechanisms for magnetization control at the nanoscale and high performance at minimum power. The students will be familiar with the state-of-the-art advances in magnetic data storage, MRAM memories and nano-oscillators.

10.4.1.5. Conteúdos programáticos:

- I. Transporte em metais ferromagnéticos 3d. Magnetoresistência anisotrópica, gigante, efeito túnel, transporte balístico e difuso em nanoconstricções. Transporte coerente em estruturas cristalinas. Acumulação de spin em interfaces.*
- II. Elementos padronizados : campo desmagnetizante em retangulos, elipses e efeitos na magnetização global.*
- III. Micromagnetismo em multicamadas. Interações em interfaces e inter-camadas. Simulação micromagnética de dispositivos com magnetização no plano ou perpendicular ao plano.*
- IV. Armazenamento magnético de dados. O disco duro. Meios magnéticos. Cabeças indutivas de filme fino. Cabeças de leitura magnetoresistivas.*
- V. Memórias magnéticas MRAM. Inversão de magnetização utilizando linhas de corrente, termicamente assistida ou transferência de spin. FPGA magnéticas (MTJ-FPGA).*
- VI. Sincronização de nano-osciladores (GHz) -emissão de ondas de spin em nanocontactos magnéticos.*

10.4.1.5. Syllabus:

- I. Transport in 3d ferromagnets and multilayers. Anisotropic, giant and tunneling magnetoresistance. Ballistic and diffusive transport in magnetic nanoconstrictions. Coherent tunneling through crystalline barriers. Spin accumulation at semiconductor/ferromagnetic interfaces.*
- II. Patterned structures: demagnetizing fields in rectangular, ellipsoid elements and effects on the global magnetization.*
- III. Micromagnetic interactions in multilayers. Interface and interlayer interaction couplings. Micromagnetic simulation models for devices with in-plane and perpendicular magnetization.*
- IV. Magnetic data storage. The hard disk. Magnetic thin film media (perpendicular vs longitudinal recording). Inductive thin film heads. Magnetoresistive read heads.*
- V. MRAM memories: Architectures. Magnetic/current, thermally assisted or spin transfer writing. Magnetic FPGAs and magnetic logic.*
- VI. Synchronization of nano-oscillators (GHz) and spin transfer effects in magnetic nano-contacts.*

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

A unidade curricular (Spi) dota os alunos dos principais aspetos dos dispositivos e materiais usados em spintrónica. A UC aborda vários tópicos em eletrónica de spin, que serão explorados para explicar e compreender o funcionamento de elementos tecnológicos da atualidade.

Exploram-se as propriedades físicas dos materiais, princípios de funcionamento de estruturas micro e nano-fabricadas utilizando materiais magnéticos e filmes finos. Pretende-se dar uma perspetiva sobre os desafios e estado-da-arte em eletrónica de spin. Solicita-se aos alunos a resolução de exercícios de aplicação com cálculo analítico e numérico.

Abordam-se algumas das técnicas que permitem validar e caracterizar os dispositivos spintrónicos estudados.

Explora-se áreas multidisciplinares, onde nano-dispositivos spintrónicos têm sido usados com sucesso.

Os conhecimentos desta UC abrem perspetivas de investigação nas áreas relacionadas com física aplicada.

10.4.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The curricular unit (Spi) provides the students with the main aspects of materials and spintronic devices. The UC focus on several spintronics advanced topics and aims to understand the working principles and/or explore their applicability in modern technological devices.

The physical properties of materials, functional mechanisms of micro-nanofabricated structures based on magnetic materials and thin films are explored. One objective is to provide a view of the challenges and state-of-the-art in spintronics. The students are asked to use the concepts while solving problems in analytical and numerical basis. Some of the techniques used for spintronic device validation are presented. Multidisciplinary of spintronic device application is demonstrated. Spi offers the students a unique perspective for research in areas related with applied physics.

10.4.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Esta UC envolve metodologias de ensino cobrindo áreas de desenvolvimento pedagógico essenciais ao doutoramento. Nas aulas é feita a análise de casos de estudo reais das temáticas da UC.

Para dispositivos spintrónicos são definidos os princípios de funcionamento, descritos os processos de fabrico e metodologias para implementação de uma solução funcional/viável. Os alunos antecipam problemas de implementação dos modelos, e familiarizam-se com soluções e estratégias para ultrapassar barreiras experimentais aquando da implementação dos modelos teóricos.

Resolução de exercícios práticos relacionados com os conteúdos da UC, baseados em situações reais;

Apresentação de um caso-estudo, onde o aluno descreve o processo de implementação, desde os cálculos teóricos até dimensionamento e validação. A discussão oral permite ao aluno antecipar o esquema organizativo e as questões que lhe serão postas quando apresentar os resultados do seu próprio trabalho de investigação de tese de doutoramento.

10.4.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

This CU involves teaching methodologies covering areas of educational development crucial to the doctoral program. Classes include a regular analysis of real case studies based on the CU contents.

Spintronic devices will be described, including the physical principles of operation, nanofabrication processes and methodologies for realizing the device through a functional/viable solution. This allows students to anticipate issues related with practical realization, learn tools for problem solving and methods for solution providing while implementing theoretical models.

Resolution of practical exercises related to the contents of the CU, using realistic parameters;

Presentation of a case-study where the student describes the steps from theoretical calculations to device sizing and characterization. The oral discussion prepares the student for the organization of the ideas and questions to be raised when his/her own PhD research results would be presented to public.

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

Com esta UC é possível aos alunos reconhecer conceitos, identificar desafios e propor aplicações tecnológicas baseadas em electrónica de spin. Os alunos são expostos aos desafios em implementar os princípios fundamentais estudados, do ponto de vista de operacionalidade. As metodologias de aprendizagem utilizadas na UC incluem a discussão de dispositivos realistas, exercícios e apresentação final.

A interpretação de dispositivos spintrónicos funcionais permite que os alunos assimilem os conteúdos programáticos, aplicados à tecnologia que encontramos no dia-a dia, identificando as dificuldades em realizar os modelos teóricos e atingir especificações realistas necessárias à sua implementação. A resolução de exercícios práticos permite a aplicação dos conteúdos programáticos na resolução de exemplos concretos. Os elementos de avaliação são individuais para testar a capacidade do aluno, de forma individual e integrada, de interpretar e resolver problemas.

10.4.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

With this CU the students should be able to identify concepts, challenges, and propose better solutions using spintronics for technological applications. The students are introduced to the operational and nano-fabrication challenges related with the application of the fundamental concepts.

The teaching methodologies will be explored from the use of case-studies, passing through the resolution of practical exercises and a oral presentation.

The study of functional devices allows students to understand the syllabus, applied to daily technologies, resulting in a critical analysis of the practical implementation and realization with realistic specifications. Additionally the use of practical exercises, also allows the application of the syllabus in several examples illustrative of the spintronics concept. The cumulative evaluation elements are individual tests of the student's ability for integrated interpretation and problem resolution.

10.4.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Principal/Main

Handbook of Magnetism and Advanced Magnetic Materials. Ed. Helmut Kronmuller and Stuart Parkin. 2007 JohnWiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-02217-7.

Mark Johnson (ed), Magnetolectronics, Elsevier Academic Press, 2003

Secundária/Secondary

Sellmyer and Skomski, Advanced Magnetic Nanostructures, Springer, 2006

Robert C O Handley, Modern magnetic materials, principles and applications, John Wiley and Sons, 2000

Mapa XIV - Astropartículas / Astroparticles**10.4.1.1. Unidade curricular:**

Astropartículas / Astroparticles

10.4.1.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Mário João Martins Pimenta

10.4.1.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

<sem resposta>

10.4.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Introduzir o aluno ao mundo da física das astropartículas. Perceber os principais temas de investigação teóricos e experimentais neste campo. Elaborar, num caso concreto, o esboço de uma proposta preliminar de uma experiência.

10.4.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

A first introduction to the astroparticle world. Understand the main experimental and theoretical subjects of research in this field. To make, in a specific subject, a first preliminary draft of an experiment.

10.4.1.5. Conteúdos programáticos:

O Modelo Padrão e suas extensões Um espaço-tempo curvo. Um gás de partículas relativistas e não relativistas. Modelos Cosmológicos simples: Universos de radiação, matéria e vacuo. A expansão do Universo: SN cosmological Project. Etapas do big-bang: Nucleosíntese e Recombinação A Formação de Estruturas Universo Homogéneo/Heterogéneo CMB e Large Scale Structures. As sondas que vêm do Universo: Raios cósmicos hadrónicos, Astronomia gamma, Neutrinos, Ondas gravitacionais, a Matéria Escura.

10.4.1.5. Syllabus:

The Standard Model of Particle Physics The curvature of space-time Cosmological models. The expansion of the Universe. SN cosmological Project. The big-bang, CMB e Large Scale Structures. The probes from the Universe: Charged cosmic rays, gamma rays, Neutrinos, gravitational waves. The Dark matter.

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

O programa cobre os estudos principais da atividade científica da área das Astropartículas, o que corresponde ao objetivo da unidade curricular.

10.4.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The program covers the principal studies of the scientific activity in the area of Astroparticles, which corresponds to the goal of the course unit.

10.4.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Dependendo do número de alunos inscritos, esta cadeira tem uma componente lectiva clássica correspondente às aulas de introdução geral, seguida por uma componente tutorial em que o aluno é confrontado com alguns artigos que deve estudar e posteriormente discutir. A meio do semestre é escolhido um tópico de desenvolvimento que será apresentado pelo aluno, no final do semestre num seminário de 30 minutos, constituindo também a avaliação da unidade curricular.

10.4.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Depending on the number of students enrolled, this course has a classical teaching component corresponding to general introductory classes, followed by a tutorial component in which the student is faced with some articles that he needs to study and discuss later. At midterm, the student choose a topic to develop and to be presented in a 30 minute seminar at the end of the semester, which is also part of the course unit evaluation.

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

Esta cadeira dada a sua especificidade exige um acompanhamento individual dos alunos, pelo que um seguimento semi-tutorial se afigura como o mais adequado. A avaliação enquadra-se no contexto deste ensino

10.4.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

Due to its specificity, this course requires an individual monitoring of students, thus we consider that a semi-tutorial follow-up is the most appropriate. The evaluation fits into the context of this teaching.

10.4.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

*Cosmology and Particle Physics: Lars Bergstram and Ariel Goobar 1999 ISBN 0471970425
Particle Astrophysics : Donald Perkins 2003 ISBN 0198509529*

Mapa XIV - Tópicos em Física das Partículas / Topics in Particle Physics**10.4.1.1. Unidade curricular:**

Tópicos em Física das Partículas / Topics in Particle Physics

10.4.1.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Jorge Manuel Rodrigues Crispim Romão, Mário João Martins Pimenta

10.4.1.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

<sem resposta>

10.4.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Formação avançada em Física de Partículas nas suas componentes teórica e experimental em temas na fronteira da investigação.

10.4.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Advanced training in Particle Physics to obtain a deep understanding of some selected, theoretical or experimental, topics at the frontier of research.

10.4.1.5. Conteúdos programáticos:

O programa está organizado por módulos. Cada aluno, de acordo com o seu plano de estudos desenvolverá um sub-conjunto destes módulos cobrindo os temas seguintes, quer do lado da teoria quer do lado da experiência ou mesmo dos dois lados,

- 1) A Física do Bosão de Higgs. Violação de CP. As massas dos fermiões.*
- 2) A Física dos neutrinos.*
- 3) Física para além do Modelo Standard.*
- 4) Física Hadrónica incluindo QCD.*

10.4.1.5. Syllabus:

The program is organized in main subjects. Each student will follow a subset of these subjects according to his/her plan of study. The topics will cover, either from the theoretical or experimental side or both,

- 1) The Physics of the Higgs boson. CP Violation. The masses of the fermions.*
- 2) Neutrino Physics.*
- 3) Beyond the Standard Model Physics.*
- 4) Hadronic Physics including QCD.*

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

Esta unidade curricular tem como objetivo o aprofundamento de tópicos selecionados de acordo com o programa de doutoramento do estudante. Permite ainda complementar a formação obtida pelo aluno no Master. A organização do programa em módulos possibilita plenamente a prossecução dos objetivos.

10.4.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

This course aims at deepening selected topics according to the student's PhD program. It will also allow to complement the previous training of the student. The organization of the program in modules fully enables the achievement of the goals.

10.4.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Dependendo do número de alunos inscritos e dos tópicos escolhidos, esta cadeira tem uma componente lectiva clássica correspondente às aulas de introdução geral, seguida por uma componente tutorial em que o aluno é confrontado com alguns artigos que deve estudar e posteriormente discutir. A meio do semestre é escolhido um tópico de desenvolvimento que será apresentado pelo aluno, num seminário de 30 minutos, no final do semestre, constituindo também a avaliação da unidade curricular.

10.4.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Depending on the number of students enrolled and the chosen topics, this course has a classical teaching component corresponding to general introductory classes, followed by a tutorial component in which the student is faced with some articles that he needs to study and discuss later. At midterm, the student choose a topic to develop and to be presented in a 30 minute seminar at the end of the semester, which is also part of the course unit evaluation.

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

Esta cadeira dada a sua especificidade exige um acompanhamento individual dos alunos, pelo que um seguimento semi-tutorial se afigura como o mais adequado. A avaliação enquadra-se no contexto desta metodologia de ensino.

10.4.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

Due to its specificity, this course requires an individual monitoring of students, so we consider that a semi-tutorial follow-up is the most appropriate. The evaluation fits into the context of this methodology of teaching.

10.4.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Gauge Theories of the Strong, Weak and Electromagnetic Interactions, Chris Quigg, 1997, The Benjamin/ Cummings Publishing Company
CP Violation: Gustavo Castelo Branco, Luís Lavoura and João Paulo Silva, 1999 Oxford U. P., New York, 1999
Neutrinos in High Energy and Astroparticle Physics, J.W.F. Valle and J. C. Romão, Wiley-VCH, 2015.
Introduction to Particle and Astroparticle Physics, A. De Angelis, M. Pimenta, Springer, 2015.
Theory and phenomenology of two-Higgs-doublet models, G. Branco, P. Ferreira, L. Lavoura, M. Rebelo, M. Sher and J. P. Silva, Phys.Rept. 516 (2012) 1-102.
Supersymmetry in Particle Physics, I. Aitchison, Cambridge University Press, 2007.

Mapa XIV - Física da Matéria Condensada e Informação Quântica/Condensed Matter Physics and Quantum Information**10.4.1.1. Unidade curricular:**

Física da Matéria Condensada e Informação Quântica/Condensed Matter Physics and Quantum Information

10.4.1.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Pedro José Gonçalves Ribeiro, Vítor João Rocha Vieira

10.4.1.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Pedro Domingos Santos do Sacramento

10.4.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Novos métodos e técnicas desenvolvidos no âmbito da Informação e Computação Quânticas têm vindo a ser introduzidas em Física da Matéria Condensada nos últimos 10 a 15 anos. Uma vez que estes métodos têm permitindo novas abordagens a problemas existentes este tópico tem ganho uma grande importância. Por outro lado, a Física da Matéria Condensada fornece naturalmente à Informação e própria Computação Quânticas os dispositivos necessários à sua implementação física. O objectivo desta Unidade Curricular é dotar os alunos de conhecimentos integrados das duas áreas, de modo a facilmente poderem integrar e acompanhar o seu rápido desenvolvimento.

10.4.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

New methods and techniques developed in the context of quantum information and computation have been introduced in Condensed Matter Physics during the last 10 to 15 years. As they often allow for a fresh approach and shine a new light on long-standing problems the topic is of growing importance. On the other hand, Condensed Matter Physics naturally provides quantum information and even quantum computation the physical devices for their implementation. The purpose of this unit is to provide the students with an integrated knowledge of both areas to easily integrate and follow their rapid development.

10.4.1.5. Conteúdos programáticos:

Correlações, Emaranhamento, Informação
Entropia de von Neuman, informação mútua, concorrência, negatividade, desacordo quântico, espectro de emaranhamento
Fidelidade, suscetibilidade, fidelidade de estados parciais, espectro da fidelidade.
Purificação
Fase de Berry e de Uhlman
Mecânica Quântica no espaço de fase
Estados coerentes e squeezed
Função de Wigner
Representações P e Q
Produto de Moyal
Representação de Majorana
Dinâmica quântica de sistemas abertos e fechados
Eco de Loschmidt, funções de distribuição do trabalho, igualdade de Jarzynski
Acoplamento ao ambiente, modelo de Caldeira e Leggett
Equações mestra e de Lindblad
Dissipação e descoerência
Fases da Matéria e Ordem Topológica
Paradigma de Landau
Fases com e sem hiato, entropia de emaranhamento
Para além do paradigma de Landau
Isoladores topológicos e supercondutores
Modelos de Kitaev

Entropia de emaranhamento topológico**Métodos numéricos****Método grupo renormalização matrizes densidade. Estados de produtos de matrizes, PEPS.****10.4.1.5. Syllabus:****Correlations, Entanglement, Information****von Neuman entropy, mutual information, concurrence, negativity, quantum discord, entanglement spectrum****Fidelity, fidelity susceptibility and correlation functions, partial state fidelity, fidelity spectrum****Purification****Berry and Uhlman phase****Quantum mechanics in phase space****Coherent and squeezed states****Wigner function****P, Q representations****Moyal product****Majorana representation****Quantum dynamics of closed and open systems****Loschmidt echo, work distributions, Jarzynski equality****Coupling to Environment****Caldeira and Leggett model****Master, Lindblad equations****Dissipation and decoherence****Phases of matter and Topological Order****Landau's paradigm, order parameters****Gapped and gapless phases, entanglement entropy****Beyond the Landau's paradigm****Topological insulator and superconductors****Kitaev models****Topological entanglement entropy****Quantum information numerical methods for many-body systems****Density matrix renormalization group method, Matrix product states, PEPS****10.4.1.6. Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular**

A escolha dos tópicos reflecte o actual e rápido desenvolvimento e importância das abordagens e métodos usados na interface entre a Informação Quântica e a Física da Matéria Condensada, bem como o do estudo de vários problemas e sistemas. A escolha da bibliografia reflecte naturalmente a sua relevância e actualidade, tomando em conta o seu grau de dificuldade.

10.4.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The selection of the topics reflects the current and fast growth and importance of the approaches and methods used in the interface between quantum information and condensed matter physics, as well as the study of the various problems and systems. The choice of the bibliography also reflects its relevance and timeliness.

10.4.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Será usada uma combinação de um regime de aulas teórico-práticas com um regime tutorial, em função do número de alunos. Particular atenção será dada a problemas concretos, de modo a assegurar uma aprendizagem contínua por parte do aluno. Será também feita a análise do fundamento de alguns métodos numéricos, usados no estudo desses problemas. Além dos trabalhos realizados ao longo do semestre, a avaliação final será feita através da realização de um exame final ou uma apresentação oral.

10.4.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

A mixed system of theoretical-practical classes with a tutorial regime, as a function of the number of students will be used. Particular attention will be given to specific problems, in such a way as to ensure a continuous learning from the students. As a support of the methods used attention will also be put on numerical methods that allow the study of some more complex problems. In addition to the homework problems, the final evaluation will be done through a final exam or an oral presentation.

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

A análise e discussão de problemas ao longo do semestre permitirá uma maior interacção com os alunos, de modo a acompanhar de uma forma contínua a sua formação. As diferentes abordagens usadas, incluindo a análise do fundamento dos métodos numéricos, permitirá dotar os alunos da capacidade de resolução analítica, numérica e

computacional de problemas no âmbito da disciplina.

10.4.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The analysis and discussion of the problems will allow a greater interaction with the students. The different approaches used, including numerical methods, will allow the students analytical, numerical and computational skills throughout the course.

10.4.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Yehuda B. Band, Yshai Avishai, Quantum Mechanics with Applications to Nanotechnology and Information Science, Academic Press, 2012

Bei Zeng, Xie Chen, Duan-Lu Zhou, Xiao-Gang Wen, Quantum Information Meets Quantum Matter - From Quantum Entanglement to Topological Phase in Many-Body Systems, <http://arxiv.org/abs/1508.02595>

M.A. Nielsen and I.L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information (Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2000)

L. Amico, R. Fazio, A. Osterloh and V. Vedral, Reviews of Modern Physics 80, 517 (2008)

S.J. Gu, International Journal of Modern Physics B 24, 4371 (2010).

Preskill's notes on Quantum Information

John Preskill

<http://www.theory.caltech.edu/people/preskill/ph229/> [www.theory.caltech.edu]

Mapa XIV - Física das Nanoestruturas de Semicondutores / Physics of Semiconductor Nanostructures

10.4.1.1. Unidade curricular:

Física das Nanoestruturas de Semicondutores / Physics of Semiconductor Nanostructures

10.4.1.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Reinhard Horst Schwarz

10.4.1.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

<sem resposta>

10.4.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Baseado nos conhecimentos em Física do Estado Sólido, os alunos recebem uma introdução geral sobre materiais semicondutores, as propriedades óticas e elétricas e as características dos dispositivos como díodos, lasers e transístores a efeito de campo. Nas aulas laboratoriais os alunos podem analisar, experimentar, até brincar com dispositivos modernos. Incluem-se apresentações de descobertas importantes, galardoados com prémio Nobel, como o método de dopagem remota (2000), o efeito Hall quântico (1998), e os LEDs azuis (2014).

10.4.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Based on previous lectures on Solid State Physics, the students will receive a general introduction on semiconductor materials, optical and electrical properties and device characteristics of diodes, semiconductor lasers and field-effect transistors. In laboratory classes modern semiconductor devices are analyzed and integrated into simple circuits. The theoretical classes include the presentation of important discoveries, all rewarded by the Nobel prize, on remote doping (2000), the integer and fractional quantum Hall effect (1998), and blue LEDs (2014).

10.4.1.5. Conteúdos programáticos:

<sem resposta>

10.4.1.5. Syllabus:

<no answer>

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

Os alunos vão apreender o tópico de Física das Nanoestruturas de Semicondutores nas aulas teóricas. Durante todo o semestre os alunos participam em aulas de laboratórios para efetuar medidas de espectroscopia ótica, de características elétricas e de estudo de dispositivos. São pedidos dois relatórios sobre estes trabalhos.

10.4.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The students will receive an overview of Physics of Semiconductor Nanostructures during the theoretical lectures.

Practical aspects will accompany the classes throughout the semester with laboratory classes on optical spectroscopy, electrical characterization, device studies which will result in two extensive reports.

10.4.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

A cadeira de Física das Nanoestruturas de Semicondutores faz parte do programa doutoral em Engenharia de Física Tecnológica do IST. São apresentados os aspetos de física do estado sólido nos materiais semicondutores. Os conteúdos teóricos são acompanhados por trabalhos experimentais com diferentes tipos de dispositivos semicondutores. Há três aspetos na base da metodologia de ensino desta cadeira. Primeiro, as aulas teóricas, com literatura associada, fornecem uma profunda análise e compreensão do tópico. Segundo, as aulas laboratoriais complementam a matéria das aulas teóricas com trabalhos de verificação experimental da teoria de dispositivos reais. Terceiro, os alunos devem redigir dois relatórios extensos sobre os trabalhos experimentais. No fim do semestre, a matéria abordada nas aulas teóricas será verificada num exame escrito com duração de 3 horas. Trabalhos para casa: 3 relatórios 30 %; Laboratórios: 2 relatórios 20 %; Exame: 50 %

10.4.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The course in Physics of Semiconductor Nanostructures is part of the Curriculum of the PhD program in Engineering of Technological Physics at IST. Based on relevant aspects of Solid State Physics in semiconductor materials, the course will give provide basic understanding of semiconductor physics and experimental work with semiconductor materials and devices. There are 3 aspects underlying the methodology of teaching of this class: One, the theoretical lectures and the accompanying literature give a deeper understanding of the topic. Second, the experimental classes are intended to motivate the interested students and to complement the theoretical classes by actual verification in real devices. Third, the students will deliver two extensive reports on experimental work. At the end of the semester, the course material will be verified in a written exam of 3 hours duration. Homework: 3 reports 30 %; Laboratories: 2 reports 20 %; Exam: 50 %

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

Os conteúdos programáticos são os necessários no âmbito da unidade curricular para os estudantes desenvolverem as competências na análise teórica e na aplicação experimental do domínio da física de dispositivos semicondutores.

10.4.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The list of topics of the semiconductor lecture will give the students the possibility to develop competence for theoretical analysis and for experimental application in the field of semiconductor devices physics.

10.4.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Principal:

***1. P. Yu and M. Cardona
Fundamentals of Semiconductors
Springer 2010***

***2. C. Weissbuch and B. Vinter
Quantum Semiconductor Structures
Academic Press 1991***

Secundária:

***1. S. L. Chuang
Physics of Optoelectronic Devices
Wiley 2009***

***2. S.M. Sze
Physics of Semiconductor Devices
John Wiley and Sons 2006***

***3. N.W. Ashcroft and N.D. Mermin
Solid State Physics
Holt-Saunders, New York 1976***

***4. Y. Fu and M. Willander
Physical Models of Semiconductor Quantum Devices
Springer 1999***

5. J. H. Davies

The physics of low-dimensional semiconductors: An introduction
Cambridge University Press 1998

Mapa XIV - Tópicos avançados em Magnetismo / Advanced Topics in Magnetism

10.4.1.1. Unidade curricular:

Tópicos avançados em Magnetismo / Advanced Topics in Magnetism

10.4.1.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Susana Isabel Pinheiro Cardoso de Freitas

10.4.1.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

<sem resposta>

10.4.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Especializar os alunos na física dos filmes finos e heteroestruturas magnéticas. Fornecer-lhe os conceitos necessários para a integração de materiais e nanoestruturas magnéticas em nanoelectrónica. Identificar os desafios da magnetoelectrónica moderna.

10.4.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

To gain expertise in the physics of magnetic thin films and heterostructures. To provide the students with the key concepts for the integration of magnetic materials and nanostructures in nanoelectronics. To identify the challenges of modern magnetoelectronics.

10.4.1.5. Conteúdos programáticos:

I. Revisão de conceitos em magnetismo: Magnetismo itinerante e propriedades intrínsecas de elementos e ligas binárias.

II. Física e características funcionais de materiais magnetoresistivos, magnetoestrutivos, magnetocalóricos e magneto-ópticos.

III. Transferência de momento angular de spin em nano-junções magnetoresistivas.

IV. Micromagnetismo, domínios e histerese: Energia micromagnética. Teoria de domínios magnéticos. Modelos de simulação 2D e 3D.

V. Nanoestruturas magnéticas: comprimentos característicos. Heteroestruturas baseadas em filme fino. Nanopartículas magnéticas.

VI. Fenómenos magnetodinâmicos ultra-rápidos: dispositivos, caracterização e aplicações.

VII. Tecnologias baseadas em materiais magnéticos: dimensionamento e integração em dispositivos funcionais.

VIII. Aplicação de sistemas magnéticos em nanoelectrónica, biologia e medicina.

10.4.1.5. Syllabus:

I. Revision of concepts in magnetism. Itinerant magnetism and material properties of magnetic elements and their binary alloys.

II. Physics and functionality of magnetoresistive, magnetostrictive, magnetocaloric and magneto-optical materials.

III. Spin Angular Momentum Transfer in magnetoresistive nanojunctions.

IV. Micromagnetism, domains and hysteresis: Micromagnetic energy. Domain theory. 2D and 3D simulation models.

V. Magnetic nanostructures: Characteristic length scales, Thin-film heterostructures. Magnetic nanoparticles.

VI. Ultrafast Magnetodynamics: devices, characterization and applications.

VII. Technology of magnetic materials: design and integration in functional devices.

VIII. Application of magnetism in nanoelectronics, biology and medicine.

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

A unidade curricular (TAM) apresenta aos alunos os conceitos relacionados com materiais e heteroestruturas magnéticas avançadas.

Abordam-se princípios físicos mais relevantes que permitem fabricar e caracterizar nanoestruturas magnéticas.

Solicita-se aos alunos a análise de dispositivos avançados cujo funcionamento se baseia em princípios magnéticos, sendo uma oportunidade única para aplicarem os conteúdos da UC. O carácter multidisciplinar desta UC é evidente pelos diferentes caso-estudo e aplicações apresentados, em particular as que se relacionam directamente com os tópicos de doutoramento dos alunos que frequentam a UC.

10.4.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The curricular unit (TAM) presents the students with the concepts related with advanced magnetic materials and magnetic heterostructures.

The physical principles for fabrication and characterization of magnetic nanostructures are described.

The students are asked to analyze advanced devices which operation mechanism is based on magnetism, which is a unique opportunity to apply concepts. The multidisciplinary profile of TAM is demonstrated through several case studies and applications, related with the thesis topics of the UC students.

10.4.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Esta UC envolve um conjunto de metodologias de ensino, que serão uma base de trabalho para as áreas de Física Aplicada relevantes:

- Durante as aulas teóricas descrevem-se e discutem-se vários princípios físicos relevantes em estruturas magnéticas avançadas.

- Os alunos aplicam os conhecimentos ao investigar os mecanismos de funcionamento de um dispositivo magnético com interesse para o tópico da tese de doutoramento de cada aluno. São expostos a vários métodos experimentais usados para definir nanoestruturas e caracterização avançadas, e incentivados a analisar os dispositivos individualmente. Nos relatórios, os alunos mostram conhecimento sobre os processos de funcionamento e metodologias para implementação de uma solução funcional.

10.4.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

This UC involves numerous teaching methodologies, which will support the work for the relevant Applied Physics areas.

- Theoretical classes offer a description and analysis of several physical principles related with advanced magnetic nanostructures.

- The students apply the contents of the UC to investigate the operational principles of advanced magnetic devices directly related with the PhD research topic of each student. Here they have access to several experimental tools and advanced techniques necessary to define and characterize nanostructures, and motivated to analyze in detail selected devices. The regular reports are an opportunity for the students to consolidate the concepts behind the operation principles and methodologies for realizing a functional device.

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

Com esta UC é possível aos alunos reconhecer conceitos e desafios associados a estruturas avançadas em magnetismo. Os alunos são expostos a vários desafios de operacionalidade e fabricação. As metodologias de aprendizagem utilizadas na UC incluem a discussão dos processos experimentais individuais e também da estratégia global usados no fabrico de um dispositivos real, directamente relacionado com o tema de tese de cada aluno.

A interpretação e discussão dos princípios físicos e dimensionamento de um dispositivo funcional permite que os alunos assimilem os conteúdos programáticos, e os apliquem na definição dos conceitos físicos e princípios de integração de um dispositivo funcional.

Os elementos de avaliação e discussão oral são individuais para testar a capacidade do aluno, de forma individual e integrada, de interpretar e resolver problemas.

10.4.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

With this UC the students should be able to identify concepts, challenges, related with advanced magnetic nanostructures. The students are introduced to the operational and nanofabrication challenges.

The teaching methodologies will be explored from the discussion of individual techniques, passing through the global methodology for a device fabrication, related with the thesis topic of each student.

The study and discussion of the fabrication methods and dimensioning of functional devices allows students to understand the syllabus, and use them in practice during definition of the physical concepts and device integration principles under realistic specifications.

The summative evaluation and oral discussion are individual proofs to the students ability for integrated problem solving skills.

10.4.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Principal/Main:

Handbook of Magnetism and Advanced Magnetic Materials. Ed. Helmut Kronmuller and Stuart Parkin. 2007 JohnWiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-02217-7.

Secundária/Secondary

Robert C O'Handley, Modern magnetic materials, principles and applications, John Wiley and Sons, 2000

Mark Johnson (ed), Magnetolectronics, Elsevier Academic Press, 2003

J.Coey, Magnetism and Magnetic Materials, Cambridge University Press, ISBN-13 978-0-511-67743-4, 2009

Mapa XIV - Tópicos de Física Experimental da Matéria Condensada/Topics of Experimental Condensed Matter Physics**10.4.1.1. Unidade curricular:**

Tópicos de Física Experimental da Matéria Condensada/Topics of Experimental Condensed Matter Physics

10.4.1.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Pedro José Oliveira Sebastião

10.4.1.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

<sem resposta>

10.4.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Estudos de dinâmica e ordem moleculares em sistemas de matéria condensada com utilização de técnicas de relaxometria, difusometria e espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear, medidas de viscosidade e medidas de condutividade. Utilização coerente e consistente das diferentes técnicas na caracterização de alguns sistemas modelo incluindo líquidos iónicos, polímeros, membranas e cristais líquidos com diferentes mesofases.

10.4.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Study of molecular order and dynamics, in condensed matter systems using different experimental techniques, including Nuclear Magnetic Resonance relaxometry, diffusometry, spectroscopy and viscosity and conductivity measurements. Coherent and consistent use of the different experimental techniques on the study of a few model systems including ionic liquids, polymers, membranes and liquid crystals with diverse mesofases.

10.4.1.5. Conteúdos programáticos:

Estudos de dinâmica e ordem molecular em diferentes sistemas de matéria condensada incluindo líquidos iónicos, dendrímeros, polímeros, elastómeros, sistemas nano-compósitos e cristais líquidos (termotrópicos, liotrópicos e cromónicos).

Utilização de técnicas experimentais disponibilizados pelos grupos de investigação associados à UC incluindo, relaxometria, difusometria e espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear e medidas de viscosidade e condutividade.

Interpretação quantitativa dos resultados experimentais obtidos com recurso a modelos existentes na literatura.

10.4.1.5. Syllabus:

Study of the molecular order and dynamics in different condensed matter systems including ionic liquids, dendrimers, polymers, elastomers, nano-composite systems and liquid crystals (thermotropic, liotropic, chromonic). Use of the experimental techniques made available by the research groups collaborating with this CU, including Nuclear Magnetic Resonance relaxometry, diffusometry, and spectroscopy, and viscosity and conductivity measurements.

Quantitative interpretation of the experimental results taking into account the models available in the literature

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

Os conteúdos programáticos desta unidade curricular (UC), permitem a aquisição e aprofundamento da capacidade de compreensão e utilização dos métodos experimentais no domínio do estudo de diferentes sistemas de matéria condensada científica e tecnologicamente relevantes. Os alunos irão aprofundar conhecimentos antecedentes, bem como adquirir novos conhecimentos úteis à sua formação em Física e fomentar a aprendizagem através de atividades de pesquisa autónoma. Procura da análise quantitativa dos resultados experimentais obtidos através do teste de modelos teóricos apropriados.

10.4.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The syllabus of this curricular unit (CU) of experimental physics (EF) allows for the deepening and/or acquisition of the ability to understand and use different experimental methods for the study of different scientific and technologically relevant soft matter systems. The students are invited to improve the previous knowledge on the subjects, to learn new skills useful for their training in Physics and promote the self-learning through autonomous research activity. The syllabus of this curricular unit (CU) also aims at promoting a quantitative analysis and interpretation of the experimental results through the use of appropriate theoretical models.

10.4.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Apresentação dos sistemas a estudar com indicação da literatura específica para cada tipo de sistema. Discussão dos diferentes aspetos associados às medidas experimentais e aos estudos propostos. Trabalho autónomo na aquisição de dados e tratamento de resultados.

Avaliação: Monografia e Discussão final individual

10.4.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Presentation of the different systems to be characterized. Discussion of the different aspects related with the measurements and studies to be made. Autonomous work in the data acquisition and data analysis.

Evaluation: Individual monograph and final discussion

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

A metodologia de ensino basear-se-á na transferência de conceitos teóricos e práticos e na utilização das técnicas disponíveis nos diferentes laboratórios de investigação disponibilizados pelos grupos de investigação. Aquisição de competências no desenvolvimento de atividades e métodos experimentais em contacto com equipamentos utilizados em laboratórios de investigação.

10.4.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methodologies, based on the transfer of theoretical and practical concepts through the extensive use of demonstration classes and experimental work in close contact with the research facilities provided by the research laboratories associated with this CU.

10.4.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Nuclear Magnetic Resonance of Liquid Crystals, Ronald Y. Dong, 1994, Springer-Verlag; Abragam, A. The Principles of Nuclear Magnetism Oxford, University Press: Oxford, England, 1961; Kimmich, R. & Anardo, E. Field-cycling NMR relaxometry Progr. NMR Spectrosc., 2004, 44, 257-320; Sebastião, P. J.; Cruz, C. & Ribeiro, A. C. Dong, R. Y. (Ed.) Nuclear magnetic resonance spectroscopy of liquid crystals 5. Advances in Proton NMR Relaxometry in Thermotropic Liquid Crystals World Scientific Co., Ronald Y. Dong ed., 2009, 129-167.

The Physics of Liquid Crystals, 2nd Edition, P.G. de Gennes, J. Prost, 1993, Oxford University Press; Introduction to Solid State Physics, vol. 1, C. Kittel, 1996, John Wiley and Sons

Mapa XIV - Competências Transversais / Soft Skills**10.4.1.1. Unidade curricular:**

Competências Transversais / Soft Skills

10.4.1.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Marta Leitão Mota Fajardo

10.4.1.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

<sem resposta>

10.4.1.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Oferecer uma introdução às competências transversais à atividade de investigação científica, que conduzem ao sucesso de uma carreira científica e ao aumento das perspetivas de carreira de um candidato, para além da conclusão do doutoramento.

Garantir que os alunos adquirem conhecimento e prática de

- Comunicação em ciência

- Processo de redação de artigos científicos

- Edição científica, do ponto de vista do avaliador e do editor

Estimular a compreensão da dimensão Ética na investigação científica

Identificação de oportunidades de transferência de conhecimento e valorização

Identificação de percursos de doutorados, dentro e fora da academia.

10.4.1.4. Learning outcomes of the curricular unit:

To offer an introduction to the complementary (or “soft”) skills necessary for success in the research endeavour, leading to a positive outcome of the PhD studies.

Ensuring that the students acquire knowledge and hands-on practice in

- Science communication

- Scientific article writing

- Peer review system and Edition in science, from the Editor and the referee perspectives

To stimulate understanding the ethical dimension of science and responsible research.

Identifying opportunities for transfer of knowledge and valorisation

Identifying career paths for PhDs in and out of academia.

10.4.1.5. Conteúdos programáticos:

Comunicação em ciência: Regras de comunicação; estilo; adaptação de conteúdos à audiência; detalhes técnicos em apresentações orais
Processo de redação de artigos científicos: Componentes de um artigo científico; importância do resumo; Regras para uma boa introdução; Discussão e conclusão; Apresentação gráfica;
Edição científica, do ponto de vista do avaliador e do editor: O processo de publicação científica; a revisão pelos pares; o papel do editor; Métrica das revistas e a sua importância;
Estimular a compreensão da dimensão Ética na investigação científica: A carta de ética europeia e do IST; graus de gravidade desde a fraude científica, aos erros de conduta e aos conflitos de interesse e o seu impacto. Discriminação como forma de falta de ética.
Identificação de oportunidades de transferência de conhecimento e valorização: Patentes; Startups; Investigação industrial

10.4.1.5. Syllabus:

Communication in science: Rules for communication; style; matching contents to the audience; technical details for oral presentations
Process of writing of scientific articles: Building blocks of an article; importance of the abstract; Rules for a good introduction, discussion and conclusion; graphical presentation
The world of scientific edition: peer review, the role of the editor, the role of the referees; review metrics and their importance;
Understanding what is the ethical dimension of science: Ethics in research; the European and IST code of conduct; scientific misconduct and its impact. Biases as an ethical problem.
Identifying opportunities or transfer of knowledge and valorisation: Patents; Start-ups; Industrial research

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

Competências Transversais é uma unidade curricular que sintetiza, no final do primeiro ano do 3º ciclo, a série de competências que devem ser trabalhadas ao longo dos seguintes três anos de investigação conducentes à redação e defesa da tese de doutoramento, e à preparação do seu futuro para além da tese. O objetivo é tornar os alunos de doutoramento cientistas produtivos, éticos e com impacto positivo na sociedade. Compreender a métrica da produtividade científica, e saber responder ao desafio que lhes vai ser imposto durante os anos da investigação conducentes ao doutoramento, é importante para o seu sucesso. Este desafio deve ser respondido com responsabilidade ética, o que inclui identificar oportunidades de valorização que podem promover o avanço tecnológico do País e da sua instituição.

10.4.1.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Soft Skills is a course that summarizes, at the end of the first year with the 3rd cycle, the skills that should be developed over the following three years of research, and the preparation of the student's future beyond the thesis. The goal is to encourage PhD students to become productive and ethical scientists, with a positive impact on society. Understanding the metrics of scientific productivity, and meeting this challenge in the years leading to the degree, is paramount to their success. This challenge must be answered with ethical responsibility, which includes identifying knowledge worth protecting, that can promote the technological advancement of the country and its institutions.

10.4.1.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

O ensino da UC baseia-se no trabalho dos alunos em desafios chave na vida do cientista, desde a apresentação de comunicações orais, produção de artigos científicos, revisão de artigos e edição de uma revista científica. Assim, a unidade articula-se entre momentos expositivos, em que são sintetizados os objetivos das diferentes formas de comunicação, e momentos de trabalho colaborativo, em que os alunos avaliam os pares e se autoavaliam. Para além do trabalho técnico, o diálogo é encorajado na discussão da ética, das perspetivas de carreira, e da transferência de tecnologia.
Os alunos são assim avaliados com base na produção de uma comunicação oral e um artigo de revisão, sendo então avaliados pelos pares, pelos futuros supervisores, e por eles próprios, e ao longo de uma semana trabalham nas deficiências apontadas por um método iterativo, que termina na produção de uma revista anual.

10.4.1.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The teaching of Unit is based on the work of students in key challenges in the life of the scientist, from the presentation of oral communications, production of scientific papers, review articles to editing a scientific journal. Thus, the unit is divided between exposition times, in which the goals and rules of the different forms of communication are synthesized, and moments of collaborative work in which students evaluate peers and self-evaluate. In addition to the technical work, dialogue is encouraged in the ethical discussion, career prospects, and technology transfer. Students are therefore judged based on the production of an oral communication and a review article, and then reviewed by their peers, their future supervisors, and by themselves. Over a week they work to overcome the deficiencies identified using an iterative method, which then ends with the presentation of a magazine.

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

Para além do método convencional de exposição das técnicas a trabalhar, grande parte da unidade curricular é dedicada à produção de um artigo científico e uma apresentação oral, e a sua melhoria, através da aplicação das técnicas expostas. Este ambiente de “workshop” resulta na posição do aluno numa perspetiva de aprendizagem ativa, dando o passo de avaliado a avaliador. Consequentemente, o aluno produz uma autoavaliação mais crítica, e está melhor preparado para o processo científico.

10.4.1.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

In addition to the conventional method of expository presentation of the technical work, much of the course is dedicated to the production of a scientific paper and an oral presentation, and their improvement through the application of the techniques presented. This workshop environment results in the positioning of students in an active learning perspective, stepping up from being evaluated to becoming the evaluator. Consequently, the student produces a self-assessment which is more critical, and is better prepared for the scientific productive process.

10.4.1.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:**BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL / MAIN BIBLIOGRAPHY**

On Being a Scientist

National Academy Press (2009)

<http://www.nap.edu/catalog/12192/on-being-a-scientist-a-guide-to-responsible-conduct-in>

Clinical Chemistry Guide to Scientific Writing

<https://www.aacc.org/publications/clinical-chemistry/clinical-chemistry%C2%A0guide-to-scientific-writing>

A Ph.D. Is Not Enough!, Peter J. Feibelman

ISBN-10: 9780465022229

BIBLIOGRAFIA SECUNDÁRIA / SECONDARY BIBLIOGRAPHY

“Writing in Sciences” of Coursera going through the lessons

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLUk4uy2jPpXVGXqVhgs352q6jOdI608Qg>