

# Situação actual da Investigação sobre Física dos Plasmas em Portugal

JOSÉ ARTUR DA COSTA CABRAL

Investigador Coordenador do INIC — Professor Catedrático Convidado do IST

## 1. INTRODUÇÃO

Quando em 1958 a investigação em Física dos Plasmas deixou de ser secreta (II Conferência Internacional sobre a Utilização Pacífica da Energia Atómica em Genève e Projecto Sherwood) e foi assim possibilitada a livre troca de informação neste domínio, a maior parte dos países desenvolvidos criou novos Laboratórios, destinados ao estudo dessa promissora área da Física.

Na segunda metade da década de sessenta, através da acção directa do Prof. Abreu Faro e sob financiamento do Instituto de Alta Cultura, foram concedidas bolsas de estudo a vários licenciados por Universidades Portuguesas para, em diversos países, realizarem trabalho de investigação em Física dos Plasmas.

Depois de estadias, com a duração típica de cinco anos, levando à obtenção do grau de Doutor por Universidades estrangeiras, a maioria desses bolsheiros regressou ao País e foi integrada no Centro de Estudos de Electrónica do Instituto de Alta Cultura. Assim, por alturas da criação do Centro de Electrodinâmica (1975), existia já em Portugal um pequeno número de Investigadores doutorados em Física dos Plasmas que, regra geral, colaborava também no ensino Universitário.

Estes Investigadores continuaram em Lisboa as actividades científicas, que tinham estado na base da elaboração das suas teses de doutoramento, e assim, em finais da década de setenta investigava-se já em Lisboa nos seguintes domínios: (i)—Descargas em Gases (Dr. Rocha Trindade 1970-Orsay, Dr. Namorado Rosa 1971-Oxford e Dr. Matos Ferreira 1976-Orsay); (ii)—Interacção feixe-plasma e Física dos Plasmas Quiescentes (Dr. Costa Cabral 1971-Leiden); (iii)—Plasmas Magnetosféricos (Dr. Ar-

mando Brinca 1973-Stanford); (iv)—Astrofísica dos Plasmas (Dr. António Costa 1976-Manchester); (v)—Turbulência em Plasmas (Dr. Tito Mendonça 1976-Orsay) e (vi)—Ondas não lineares em plasmas (Dr. Filipe Romeiras 1977-Cambridge).

Dotado de um núcleo de Investigadores com uma formação de base diferenciada, trazendo experiências obtidas em cinco Universidades de quatro países, em domínios afins da Física dos Plasmas, o Centro de Electrodinâmica estava apto a iniciar a sua primeira fase de expansão.

O trabalho de investigação teórica e experimental realizado neste Centro levou, com o decorrer dos anos, à elaboração de novas teses de doutoramento, inteiramente realizadas no nosso País. Assim se formou, em princípios da década de oitenta, uma segunda geração de Doutorados em Física dos Plasmas: Dr.<sup>a</sup> Isabel Mendonça 1980-FCL, Dr.<sup>a</sup> Emília Manso 1983-IST, Dr. Carlos Varandas 1984-IST, Dr. António Moreira 1984-IST, Dr. Fernando Serra 1985-IST, Dr.<sup>a</sup> Ana Maria Martins 1987-IST e Dr. Jorge Loureiro 1987-IST.

Após alguns anos de actividade científica no domínio da Física Fundamental dos Plasmas, um número significativo de Investigadores do Centro de Electrodinâmica começou a interessar-se por alguns problemas específicos da área da Fusão Termonuclear Controlada e assim se criou em 1987, sob a orientação do Dr. Tito Mendonça, o Grupo de Fusão Nuclear. Com a entrada de Portugal na Comunidade Económica Europeia, e devido à reconhecida importância do Programa Europeu de Fusão, o Grupo de Fusão Nuclear, que tinha sido criado no Centro de Electrodinâmica, foi, com o apoio da JNICT e coordenação do Dr. Costa

Cabral, institucionalizado no Instituto Superior Técnico em Dezembro de 1988.

No plano da Física Fundamental dos Plasmas, nomeadamente nos domínios das Descargas em Gases e da Propagação e Radiação de Ondas em Plasmas de Laboratório e Espaciais, têm também vindo a ser fortemente incrementadas, nos últimos anos, as actividades de intercâmbio e de cooperação internacional.

## 2. NÚMERO DE INVESTIGADORES E SUA QUALIFICAÇÃO

### 2.1. No Centro de Electrocinâmica

Quando o Centro de Electrocinâmica (CEL) se constituiu, em 1975, tinha quatro Linhas de Acção e dispunha de 20 colaboradores (C), 4 Investigadores doutorados (D), 11 Investigadores licenciados (L) e 5 Técnicos de Laboratório (T).

Actualmente o Centro tem cinco Linhas de Acção e dispõe de 40 colaboradores: 16 Doutorados, 21 Licenciados e 3 Técnicos.

O quadro seguinte, e a Fig. 1, permitem ver a evolução do pessoal investigador e técnico do Centro de Electrocinâmica:

1978	9D + 11L + 4T = 24C
1979	9D + 11L + 4T = 24C
1980	10D + 12L + 4T = 26C
1981	8D + 13L + 4T = 25C
1982	8D + 11L + 3T = 22C
1983	8D + 13L + 3T = 24C
1984	9D + 12L + 3T = 24C
1985	11D + 8L + 3T = 22C
1986	12D + 8L + 3T = 23C
1987	14D + 11L + 3T = 28C
1988	15D + 15L + 3T = 33C
1989	16D + 21L + 3T = 40C

Para além da já referida diminuição do número de Técnicos de Laboratório, esta figura permite constatar uma certa estabilidade no número total de colaboradores do Centro no período que vai de 1978 a 1986. A partir de 1987 nota-se um crescimento acentuado no

número de investigadores. Para que se possam tirar conclusões válidas destes dados, forçoso

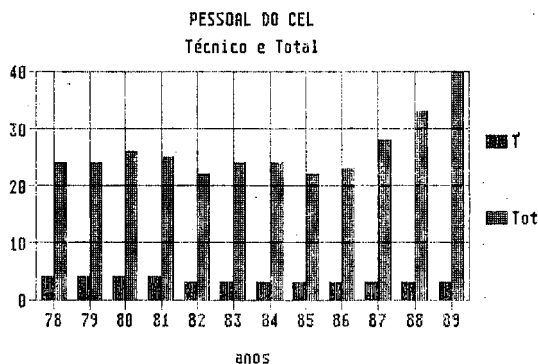


Fig. 1

é separar o Pessoal Investigador nas suas duas componentes: Pessoal Licenciado e Pessoal Doutorado (Figs. 2 e 3).

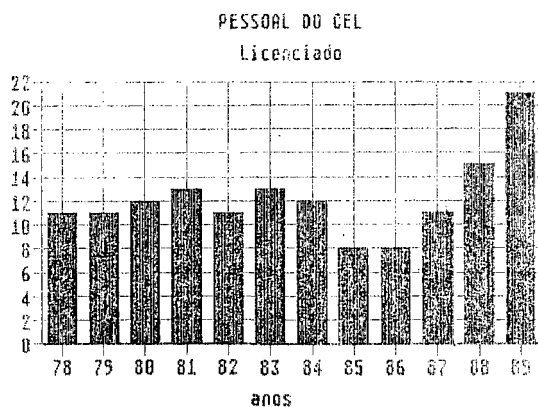


Fig. 2

Na Fig. 2 apresentamos a variação do número total de licenciados inseridos nas equipas de investigação do CEL. Durante o período 1978-81 este número aumenta regularmente e depois decresce, embora de modo irregular, atingindo um mínimo durante os anos 1985-86. A partir de 1987 constata-se de novo um aumento regular do número de licenciados.

Na Fig. 3 podemos observar a variação do número de doutorados do CEL. Em 1975, quando da criação do Centro, havia apenas quatro doutores. O número de doutorados foi depois aumentando até 1980, maioritariamente

através do regresso ao País de novos doutores por Universidades estrangeiras. Em 1981 dei-

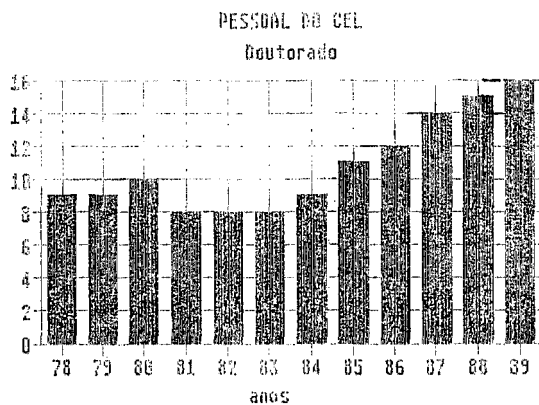


Fig. 3

xam o Centro o Dr. Rocha Trindade e a Dr.<sup>a</sup> Isabel Mendonça, e a situação mantém-se estacionária até 1983. A partir desta data começam a realizar-se os primeiros doutoramentos em Física dos Plasmas, com investigação inteiramente realizada no Centro de Electrodinâmica. Assim, o número de Investigadores Doutorados cresce continuamente até ao presente, estando já previsto para finais deste ano um novo doutoramento.

Comparando as Figs. 2 e 3 podemos constatar, que em relação ao pessoal investigador, a vida científica do Centro se pode caracterizar pela existência de várias fases típicas:

(i) — 1978-81: período de aumento global do número de Investigadores, quer licenciados quer doutorados. Vem a propósito recordar que existia nessa época um sistema de bolsas de estudo do INIC que atribuía aos Doutores um subsídio mensal de 4.000\$00 e aos Licenciados 3.500\$00 (as bolsas atribuídas em 1976 seriam hoje equivalentes a cerca de 40.000\$00 e 35.000\$00).

(ii) — 1982-83: neste período nota-se uma redução do número de licenciados. Provavelmente este decréscimo do interesse pela investigação poderá estar relacionado com o desaparecimento das bolsas do INIC (subsídio integrado, para todos os docentes, na dedicação exclusiva ao ensino e investigação).

(iii) — 1983-86: durante estes anos continua a diminuir o número de Licenciados mas agora

este facto não traduz o abandono do Centro mas antes a criação de novos Doutores. Trata-se apenas de «uma mudança de estado» dentro de uma população quase constante (Fig. 1). A não entrada de pessoal novo deve-se provavelmente não só à falta de um incentivo financeiro adicional como também aos efeitos do «marketing» eficiente de outras áreas da Engenharia e da Física, como a dos Computadores e da das Altas Energias. Esta situação levou a uma inversão da pirâmide hierárquica usual já que, de 1985 a 1988, houve no Centro de Electrodinâmica mais Doutores que Licenciados!

(iv) — 1987-89: Durante este último período verifica-se de novo um crescimento global do pessoal investigador. Há novamente atractivos financeiros (bolsas JNICT), e outros, como por exemplo, a possibilidade de realização de estágios prolongados e bem remunerados em grandes Laboratórios Internacionais.

Concluindo este capítulo podemos dizer que a Investigação Portuguesa em Física dos Plasmas, que como veremos está bem inserida no panorama científico internacional, tem contribuído para o alargamento dos quadros de Professores das nossas Universidades. De facto, todos os Investigadores doutorados do Centro são Professores Universitários e o número de Doutores tem vindo a crescer sistematicamente.

## 2.2. No Grupo de Fusão Nuclear

O pessoal do Grupo de Fusão Nuclear é constituído maioritariamente por membros do Centro de Electrodinâmica. Contudo colaboram já com este Grupo outros 12 Investigadores Doutorados (4 da Universidade de Aveiro, 5 da Faculdade de Ciências e 3 do Laboratório Nacional de Engenharia Civil) e cerca de uma dezena de licenciados não pertencentes ao CEL.

## 3. EQUIPAMENTOS EXISTENTES

### 3.1. No Centro de Electrodinâmica

Linha 3 — Plasmas Laboratoriais  
Experiência n.º 1  
Nome: BEPLI

Data de aquisição: 1971.

*Tipo e Finalidade:* Experiência de interação feixe-plasma convencional. Análise no espaço-tempo do desenvolvimento não linear das instabilidades do sistema feixe-plasma. Estudo da correlação entre instabilidade de alta e de baixa frequência.

*Características Principais:*

Dimensões:  $300 \times 150 \times 100$  cm.

Câmara de interação: compr. 100 cm diâm. 8 cm.

Campo magnético: até 1 KGauss homogêneo dentro de 1%.

Sistema de ionização: plasma criado por feixe de electrões.

Características do feixe:  $V_b \sim 2$  KV,  $i_b \sim 20$  mA, diâm. 3 mm.

Características do plasma:  $n_e \sim 10^9 - 10^{11}$   $\text{cm}^{-3}$ ;  $T_e \sim 4-10$  eV, Hélio.

Diagnósticos: Cavidade electromagnética e sondas de Langmuir para medidas de densidade e analisador electrostático de energia dos electrões.

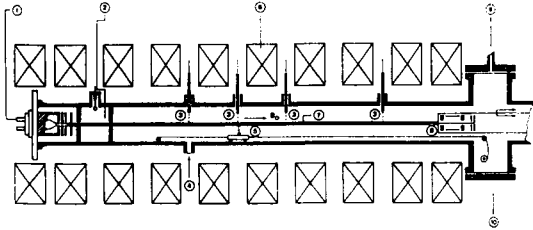


Fig. 4

**Experiência n.º 2**

**Nome: WAPLI**

Data de aquisição: 1975.

*Tipo e Finalidade:* «Single-ended Q-machine». Estudo dos mecanismos de interação onda-partícula e onda-onda em plasmas quiescentes. Estudo da propagação de ondas em colunas de plasma magnetizado e das modificações da função de distribuição de velocidades dos electrões a elas associadas.

*Características Principais:*

Dimensões:  $500 \times 150 \times 100$  cm.

Câmara de interação: compr. 100 cm, diâm. 12 cm.

Campo Magnético: 2.2 KGauss homogêneo dentro de 0.5%.

Mecanismo de Ionização: Ionização de superfície.

Placa quente: diâmetro: 2.2 cm, temperatura:  $2000^\circ\text{C} + 25^\circ\text{C}$ , Ta.

Características do plasma:  $n_e \sim 10^6 - 10^8$   $\text{cm}^{-3}$ ,  $T_e \sim 0.2$  eV, Cs ou K.

Diagnósticos: Sondas de Langmuir e analisador electrostático de energia dos electrões.

**Experiência n.º 3**

**Nome: PLARF**

Data de construção: 1980.

*Tipo e Finalidade:* Experiência de plasma de rádio-frequência.

Estudo da propagação de ondas electromagnéticas em plasmas dotados de fortes gradientes axiais de densidade. Estudo da conversão linear e não linear de modos electromagnéticos.

*Características Principais:*

Dimensões:  $500 \times 150 \times 100$  cm.

Câmara de interação: Compr. 100 cm, diâm. 12 cm.

Campo magnético: até 300 Gauss.

Mecanismo de Ionização: campo de rf (15 MHz, 10 Watt).

Características do plasma:  $n_e \sim 0.2-9.0 \times 10^9$   $\text{cm}^{-3}$   $T_e \sim 4-7$  eV.

Diagnósticos: sondas de Langmuir e analisador electrostático de energia dos electrões.

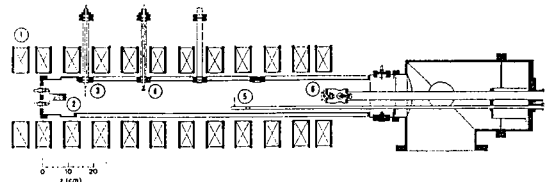


Fig. 5

**Linha 5 — Descargas em Gases**

**Experiência n.º 4**

**Nome: UOSITARCO**

Data de construção: 1973.

*Tipo e Finalidade:* Arco de cátodo ôco com câmara de difusão.

Estudos dos mecanismos de funcionamento dos cátodos ôcos em regime de arco de alta corrente e produção de plasmas densos em grande volume.

### Características Principais:

Dimensões: 500 × 100 × 200 cm.

Câmara de difusão: Comp. 300 cm; diâm. 30 cm.

Campo magnético: até 300 Gauss.

Características do plasma:  $T_e \sim 5$  eV,  $n_e \sim 10^{15}$  cm<sup>-3</sup> (cátodo) e  $10^{12}$  cm<sup>-3</sup> (câmara de difusão); Argon.

Diagnósticos: Sondas electrostáticas, espectroscopia e pirometria óptica.

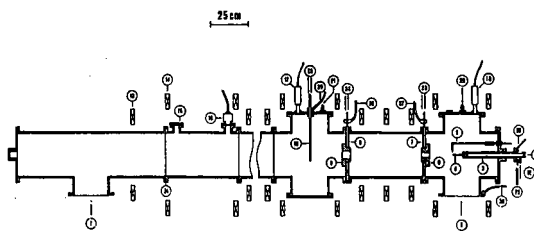


Fig. 6

## 4. PROJECTOS DE INVESTIGAÇÃO EM CURSO

### 4.1. No Centro de Electrodinâmica

Neste Centro a actividade de investigação em Física dos Plasmas está subdividida em quatro grandes linhas de acção: Linha 1— Plasmas de Fusão, que anteriormente se designava por Turbulência em Plasmas; Linha 2 — Propagação em meios activos; Linha 3— Criação, diagnóstico e utilização de plasmas de laboratório e Linha 5— Descargas em Gases — Electrónica nos Gases. Dentro destas Linhas os Projectos mais importantes são:

#### Linha 1 — Plasmas de Fusão

Responsável: Dr. Tito Mendonça

#### Projecto 1A — Turbulência em Plasmas

Este projecto, de índole teórica, pretende alcançar uma visão global dos fenómenos de turbulência em plasmas e uma análise detalhada dos mecanismos elementares que os constituem. Aparecem três grandes campos de actividade:

(i)—o estudo de interacção a três ondas, num modelo estatístico baseado em operadores

de projecção. Estes estudos deram origem à elaboração de uma tese de doutoramento pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (Dr.<sup>a</sup> Ana Martins);

(ii)—o estudo hidrodinâmico das flutuações em fluidos neutros e em plasmas e a passagem aos regimes turbulentos;

(iii)—o estudo da geração de corrente em plasmas quentes, por meio de batimento de ondas ou através da injeção de ondas híbridas inferiores. Estuda-se a equação de Fokker-Planck a duas dimensões, relativa aos processos quase-lineares e aos mecanismos de colisão coulombiana das equações de Langevin equivalentes e desenvolvem-se códigos numéricos adequados.

Em 1988 considerou-se o estudo das flutuações de densidade em fluidos neutros na vizinhança da primeira instabilidade, a sua generalização para o caso dos plasmas e ainda o estudo dos fenómenos de transporte anómalo de partículas e de calor para a periferia dos plasmas termonucleares. Uma generalização deste último problema poderá tratar o caso de as perturbações serem electromagnéticas. Para os tokamaks os modelos teóricos desenvolvidos tomam em consideração a formação de ilhéus magnéticos imersos num mar estocástico. Estão presentemente em estudo três assuntos; (a)—o movimento de iões e de electrões em presença de campos magnéticos estocásticos; (b)—as propriedades topológicas e estatísticas dos campos magnéticos toroidais estocásticos e (c)—a instabilidade de modos «micro-tearing» e «drift tearing».

#### Projecto 1B — Transporte em Plasmas de Fusão

Este projecto pretende estudar a fenomenologia associada a flutuações, não só as de densidade mas também as magnéticas, em plasmas de Fusão, com vista a um esclarecimento dos mecanismos de transporte anómalo em Tokamaks. Nas grandes experiências de Fusão recorre-se à injeção de ondas electromagnéticas no plasma e observam-se fenómenos de difusão coerente ou incoerente. Quando uma onda entra num plasma inhomogéneo,

localmente fluctuante, parte da energia incidente é difundida devido à interacção não-linear entre a onda e os modos oscilantes que perturbam o plasma.

Concretamente, pretende-se estabelecer um modelo teórico que permita calcular com rigor o fluxo de energia difundido pelas flutuações de modo a estimar-se a amplitude das ondas difundidas na fronteira do plasma. Este modelo está presentemente a ser aplicado ao estudo de: (a) flutuações de baixa frequência ( $f < 1\text{MHz}$ ), associadas a instabilidades de deriva e magneto-hidrodinâmicas e suas implicações nos mecanismos de transporte anómalo no plasma e (b) estudo das flutuações de alta frequência associadas a experiências de geração de corrente por injeção de ondas híbridas inferiores.

Estes estudos teóricos têm como suporte experimental as medidas efectuadas nas grandes máquinas de fusão (tokamaks), nomeadamente no JET (Joint European Torus), no TORE SUPRA de Cadarache e no ASDEX de Garching. Pretende-se ainda desenvolver um novo modelo baseado na conversão de modos (ordinário e extraordinário) que permita interpretar as flutuações magnéticas nos plasmas de fusão.

#### **Linha 2 — Plasmas Espaciais**

**Responsável: Dr. Armando Brinca**

#### **Projecto 2A — Transporte no Sistema Vento-Solar Magnetosfera**

Este projecto, cujo programa pretende estudar a física dos Plasmas Espaciais, desenvolve-se desde 1985 em colaboração com o Max-Planck Institut für Extraterrestrische Physik no âmbito do Projecto multi-satélite AMPTE (Active Magnetospheric Particle Tracer Explorers). Estudam-se os efeitos físicos associados à libertação de iões de bário e de lítio no vento solar e na cauda da magnetosfera. Usa-se simulação numérica para a interpretação dos resultados experimentais e estudam-se essencialmente a actividade ondulatória e o transporte iónico. Em 1986 iniciou-se o estudo da origem do ruído electrostático excitado pela libertação dos iões de bário

no vento solar. Em 1987 alargou-se o campo de investigação de modo a cobrir a excitação de ondas electromagnéticas por partículas ionizadas no vento solar. Estes estudos teóricos servem não só para explicar os resultados dos satélites da missão AMPTE mas também os da missão ICE (International Cometary Explorer) em colaboração com o JET Propulsion Laboratory do Califórnia Institute of Technology. Estuda-se a variação da função de distribuição de velocidades das partículas ionizadas, a sua estabilidade e a sua influência na geração de ondas e instabilidades no espaço interplanetário. Recorre-se à solução numérica da equação cinética de dispersão e ainda à simulação computacional de modelos hidrodinâmicos. Em colaboração com o Max-Planck Institut estuda-se a turbulência electromagnética detectada na bainha geomagnética. Interpretam-se teoricamente algumas observações cometárias efectuadas pela missão ICE na vizinhança dos cometas Giacobini-Zinner e Halley. Com este projecto pretende-se vir a esclarecer o mecanismo de excitação de ondas harmónicas ciclotrónicas por iões cometários, a influência de iões pesados de massas similares na estabilidade ondulatória do ambiente cometário e a caracterização da estabilidade da distribuição de partículas isotrópicas.

#### **Projecto 2B — Interacção Ciclotrónica**

Este projecto tem as suas raízes nos estudos feitos a partir de 1982 sobre a fenomenologia da interacção ressonante entre electrões e ondas do modo silvo (whistler) na magnetosfera terrestre. Estudou-se o comportamento de electrões ressonantes numa interacção a duas ondas. Utilizou-se cálculo numérico para a integração das equações de movimento. Explícaram-se os resultados associadas à injeção de ondas VLF na magnetosfera terrestre. Estes estudos levaram à elaboração de uma tese de doutoramento em 1984 (Dr. Fernando Serra). Este projecto teve a colaboração do STARLAB da Universidade de Stanford (Califórnia), que forneceu os resultados experimentais. Iniciaram-se em 1986 estudos teóricos dos fenómenos observados na magnetosfera terrestre e em

especial da detecção de sinais com frequências múltiplas da de separação entre as das ondas monocromáticas injectadas. Concluiu-se que esses sinais resultavam do acoplamento não linear do «batimento» das duas ondas com cada uma delas, num processo em cascata.

Fora deste projecto, mas integrado nas actividades científicas na área da Física dos Plasmas Espaciais, realizou-se também trabalho de investigação sobre a dispersão e a estabilidade de silvos exteriores à plasmapausa. Estes trabalhos levaram à elaboração de outra tese de doutoramento pelo Instituto Superior Técnico (Dr. Alves Moreira) em 1984.

Com base nas actividades relacionadas com estes dois projectos o Dr. Brinca tornou-se: (i)—Investigador Europeu Convidado da missão espacial AMPTE; (ii)—membro oficial da «Commission H-waves in Plasmas» da U.R.S.I. (International Union of Radio Science); (iii)—avaliador de projectos de investigação científica no âmbito da Física dos Plasmas Espaciais por convite da NASA; (iv)—«referee» das seguintes revistas científicas: Journal of Plasma Physics, Journal of Geophysical Research, Physics of Fluids, Planetary and Space Science, Portugaliae Physica e Nature.

#### Projecto 2C—*Ondas não lineares em Plasmas e dinâmica não linear aplicada*

Este projecto, sob a responsabilidade do Dr. Filipe Romeiras, é de índole teórica com forte suporte em simulação numérica. Conforme se procurou sintetizar no título, o Projecto concentra-se em dois grandes temas, com vários pontos de contacto entre si: (i)—estudo da propagação de ondas de grande amplitude em plasmas e (ii)—estudo do comportamento caótico de sistemas dinâmicos.

Em relação a cada um desses temas, referem-se seguidamente alguns tópicos neles abordados: (a)—estabilidade de ondas relativistas em plasmas frios, interacção não linear de quatro ondas constituindo duas triadas ressonantes, existência de estocasticidade em ondas não lineares em plasmas; (b)—estudo da existência e propriedades de atractores estranhos

não-caóticos exibidos por equações diferenciais ordinárias com excitação quase-periódica, determinação do expoente crítico da intermitência induzida por uma crise em sistemas dinâmicos não lineares, estudo das propriedades do espectro de potência de uma classe de sistemas dinâmicos que exibem uma sucessão de junções duas a duas de bandas caóticas e determinação da dimensão fractal de atractores estranhos de mapas aleatórios.

Parte do trabalho sobre ondas não lineares tem vindo a ser realizado em colaboração com investigadores da Universidade de Warwick em colaboração com investigadores da Universidade de Maryland nos Estados Unidos. A investigação em dinâmica aplicada é financiada pela JNICT desde Janeiro de 1988.

#### Linha 3—*Plasmas Laboratoriais*

Responsável: Dr. Costa Cabral

#### Projecto 3A—*Ondas e instabilidade num sistema feixe-plasma*

O objectivo deste projecto é assegurar a continuação da actividade de investigação experimental que, desde 1965 na Holanda e desde 1971 em Portugal, tem vindo a ser conduzida na chamada experiência de interacção feixe-plasma (conjunto experimental n.º 1 do CEL). Neste projecto estudam-se os diversos efeitos produzidos pela passagem de um feixe de electrões tipicamente de 2 KeV por um plasma magnetizado por ele criado, de densidade típica de  $10^9 \text{ cm}^{-3}$  e com uma temperatura de 4-8 eV.

No período de 1971 a 1989 realizaram-se nesta máquina inúmeros trabalhos, que contêm interpretações originais sobre o desenvolvimento não linear da instabilidade electro-ciclónica do sistema feixe-plasma. Consideraram-se fenómenos de «trapping» dos electrões do feixe e de decaimento paramétrico na interpretação da sua saturação e a possibilidade da sua supressão por um feixe secundário. Estudou-se também o carácter Maxwelliano da

distribuição de amplitudes do campo eléctrico da instabilidade electro-ciclotrónica (radiação por «bursts») assim como a estatística de intervalos de tempo entre «bursts» consecutivos.

Abordou-se ainda o estudo da propagação de ondas e instabilidades iónicas em plasmas magnetizados e permeados por feixes de electrões, que esteve na base da elaboração de uma tese de doutoramento pelo IST (Dr.<sup>a</sup> Maria Emília Manso, 1983).

Estudou-se também o comportamento da instabilidade electro-ciclotrónica em plasmas inhomogéneos dos tipos praia magnética, espelho magnético e multi-espelho magnético. Estes trabalhos estiveram na base da elaboração de outra tese de Doutoramento pelo IST (Dr. Carlos Varandas, 1984).

Tem sido ainda considerado o domínio da turbulência em sistemas feixe-plasma, associados à chamada transição 1.<sup>o</sup>-2.<sup>o</sup> regime.

A investigação nesta experiência de interacção feixe-plasma tem vindo a ser divulgada internacionalmente na publicação da AIEA intitulada «World Survey of Major Facilities in Controlled Fusion Research» nas suas edições de 1970, 1976 e 1981. Pretende-se em futuro próximo alargar estes estudos pela inclusão no plasma de uma segunda espécie de iões. Os trabalhos realizados neste domínio estiveram na base do convite feito ao Dr. Costa Cabral para integrar a equipa de «referees» da revista americana «Physics of Fluids».

### Projecto 3B—*Ondas num plasma quiescente*

Este projecto tem por objectivo o estudo da propagação de ondas em plasmas quiescentes e suporta-se na chamada «Q-machine» (experiência n.<sup>o</sup> 2 do CEL) que foi importada da Holanda em 1975. Existe actualmente no mundo apenas uma dezena destas máquinas. De entre os resultados experimentais mais importantes obtidos com esta experiência salienta-se a observação de uma espécie de «forerunner» associado à súbita injeção de ondas no plasma (regime transiente) e que exhibe um comprimento de onda de cerca do

dobro do observado em regime forçado. Outro trabalho levou à verificação experimental de uma teoria do Dr. Armando Brinca sobre a interacção entre uma onda monocromática e o ruído na vizinhança da sua frequência (a redução da amplitude do ruído para frequências inferiores à da onda e o seu aumento para frequências superiores). A teoria do Dr. Brinca tinha por sua vez sido motivada pela observação experimental feita pelo Dr. Helliwell sobre a redução do ruído à esquerda da frequência de uma onda monocromática injectada na magnetosfera terrestre. Esta série de trabalhos mostra bem a relação estreita que existe entre a experimentação e a teoria.

Nesta Q-machine espera-se, logo que termine a sua reparação, continuar a considerar os seguintes tópicos: (a)—estudo dos regimes transientes associados à súbita injeção de ondas em plasmas, nomeadamente no que diz respeito à análise do estabelecimento das condições fronteiras axiais e radiais; (b)—estudo da colisão entre um plasma quiescente de potássio com outro produzido em regime pulsado por uma descarga de rádio-frequência, em argon. Com iões de massa semelhante e temperaturas diferentes espera-se observar fenomenologia inédita no domínio da formação de duplas camadas em plasmas; (c)—estudo da propagação de solitões iónico-acústicos e de Trivelpiece-Gould em plasmas quiescentes.

Dado que existem Q-machines na Dinamarca e na Áustria este projecto tem tido colaboração do «Risø National Laboratory» de Roskilde e do «Institut für Theoretische Physik» da Universidade de Innsbruck.

### Projecto 3C—*Conversão de modos em plasmas inhomogéneos*

Com este projecto, suportado experimentalmente numa transformação parcial da «Q-machine» (experiência n.<sup>o</sup> 3 do CEL), pretende-se estudar a propagação e radiação de ondas electromagnéticas em plasmas magnetizados produzidos por descargas de rádio-frequência e dotados de fortes gradientes longitudinais de densidade. As actividades programadas para



este conjunto experimental são: (a)—estudo dos diversos mecanismos não lineares de interacção entre ondas electrónicas e iónicas em plasmas; (b)—estudo da transformação linear e não linear de modos ondulatorios em plasmas inhomogéneos; (c)—estudo da propagação de ondas de superfície em colunas de plasma; (d)—estudo da propagação de solitões em plasmas com fortes gradientes axiais de densidade.

Deste programa já foi extensivamente estudada a transformação de ondas electrostáticas de Trivelpiece-Gould num novo modo electromagnético. Este novo modo apresenta uma velocidade de fase próxima da velocidade da luz no vácuo e propaga-se num guia de ondas cilíndrico muito abaixo da sua frequência de corte para ondas electromagnéticas normais. A onda associada a este novo modo exhibe as seis componentes do campo electromagnético com amplitudes semelhantes e tem polarização circular esquerda, perto da frequência electro-ciclónica. Os seus campos decaem exponencialmente com o raio (número de onda transversal imaginário puro). Esta descoberta de um novo modo electromagnético motivou a estadia em Portugal de três cientistas estrangeiros, o Dr. J. J. Rasmussen (Dinamarca) e os Drs. Siegbert Kuhn e Roman Schrittwieser (Áustria), foi objecto de duas conferências realizadas no estrangeiro («Riso National Laboratory» de Roskilde e «Institut für Theoretische Physik» de Innsbruck).

**Linha 5 — Descargas em gases**

**Responsável: Dr. Matos Ferreira**

**Projecto 5A — Descarga de arco de cátodo ôco**

A investigação em descargas de arco de cátodo ôco é essencialmente de índole experimental e tem por base uma instalação de grandes dimensões cuja construção se iniciou em 1973 e que progressivamente foi sendo aperfeiçoada, embora a parte mecânica tenha sido concluída em 1975 (experiência n.º 3 do CEL). Neste tipo de descarga obtêm-se plasmas com densidades da ordem da das expe-

riências de fusão e com grandes dimensões, embora com temperaturas electrónicas de apenas alguns eV.

A investigação desenvolvida centrou-se no estudo dos mecanismos físicos de funcionamento do cátodo ôco e no diagnóstico do plasma em função das condições da descarga. Foram efectuadas medidas da temperatura e da pressão no cátodo, da densidade e da temperatura electrónica, quer do plasma circundante quer do plasma da coluna de difusão em função da corrente da descarga e do campo magnético de confinamento. Foi possível demonstrar que o aquecimento por efeito de Joule do cátodo desempenha um papel importante a alta corrente, que a corrente iónica apenas contribui em cerca de 15% para a corrente total e que a corrente total da descarga é de origem termoiónica, embora amplificada pela diminuição da energia de extracção do metal do cátodo devido ao forte campo eléctrico na bainha de carga espacial e pela criação de novos pares electrão-ião, em cascata, por colisão electrónica. Realizaram-se igualmente medidas de populações relativas de estados excitados do Argon, na coluna de plasma exterior, por espectroscopia de emissão, que demonstraram a existência de desvios importantes em relação ao equilíbrio termodinâmico local.

Este projecto trouxe assim um progresso significativo na compressão dos mecanismos de funcionamento da descarga de cátodo ôco e na caracterização das propriedades do plasma criado. Um relatório científico detalhado foi elaborado pelo Eng. Marques Dias e constituiu a tese apresentada ao INIC para passagem à categoria de Investigador Auxiliar

**Projecto 5B — Modelização de descargas em gases moleculares**

Este projecto de investigação é de natureza essencialmente teórica mas encontra-se fortemente articulado com trabalho experimental realizado no estrangeiro, nomeadamente na Universidade de Paris XI, Orsay. O seu objectivo principal consiste no estudo da cinética de

electrões em gases a partir da equação de Boltzmann, da cinética dos estados vibracionais e da cinética de espécies electronicamente excitadas em plasmas de descarga a pressões baixas ou intermédias. Os resultados teóricos obtidos têm permitido interpretar as populações experimentais de numerosos estados excitados, medidas por espectroscopia de emissão e de absorção, e elucidar *quais* os principais mecanismos cinéticos que determinam essas populações num plasma de descarga.

Os modelos cinéticos desenvolvidos centram-se principalmente nos casos do Azoto, Hidrogénio, Oxigénio e das misturas Azoto-Hidrogénio. O estudo da cinética dos electrões acoplada à cinética vibracional (por via de colisões superelásticas) no Azoto constituiu o tema da tese de doutoramento do Dr. Jorge Loureiro no IST em 1987. Este trabalho foi posteriormente estendido ao caso do Hidrogénio e, mais recentemente, às misturas Azoto-Hidrogénio. O estudo cinético das descargas de Oxigénio iniciou-se em 1987 tendo-se desenvolvido numa primeira fase uma teoria geral da coluna positiva em gases electro-negativos, que tem em conta a reciclagem de electrões e de iões negativos por via dos processos de «attachment» e de «dettachment». Numa segunda fase desenvolveu-se o estudo da cinética dos electrões, a partir da resolução da equação de Boltzmann, no Oxigénio, tendo em conta a presença de fortes quantidades de átomos dissociados e os efeitos das colisões superelásticas dos electrões com moléculas excitadas em estados vibracionais e em estados metastáveis. Com base nestes modelos investiga-se neste momento o balanço dos estados moleculares metastáveis, dos átomos dissociados e do Ozono num plasma de Oxigénio, por forma a interpretar os resultados experimentais obtidos em Orsay. O assunto constitui o tema da tese de doutoramento do Lic. Mário Pinheiro a apresentar no IST.

Salienta-se que a investigação nesta área tem dado origem a várias publicações em co-autoria com investigadores estrangeiros, como resultado da cooperação internacional em que este projecto se insere.

A Linha de Acção n.º 5 do CEL organizou a «IX European Sectional Conference on the Atomic and Molecular Physics of Ionized Gases» (ESCAMPIG) que decorreu em Lisboa em 1988 e o Dr. Matos Ferreira é desde então membro do Comité Científico Internacional desta Conferência da Sociedade Europeia de Física.

#### Projecto 5C — *Plasmas produzidas por campos de RF e micro-ondas*

O trabalho realizado neste campo tem-se desdobrado em várias frentes que se articulam em maior ou menor grau, com trabalho experimental em curso nas Universidades de Paris XI-Orsay, de Montreal e de Córdova: (i) — desenvolvimento de uma teoria geral das descargas HF sem eléctrodos baseada numa descrição totalmente cinética dos electrões na presença do campo RF; (ii) — comparação entre a cinética dos electrões no Azoto na presença dos campos DC e HF e influência da frequência do campo aplicado sobre aquela cinética; (iii) — desenvolvimento da teoria de plasmas produzidos por ondas electromagnéticas de superfície e interpretação dos resultados experimentais obtidos por investigadores das universidades acima referidas.

Alcançou-se neste campo uma formulação teórica completamente auto-consistente incluindo a descrição dos mecanismos de criação e de manutenção do plasmas pela onda e da constante de propagação da onda. Este assunto constitui o tema da tese de doutoramento da Eng.<sup>a</sup> Ana Bela Sá que será apresentada ainda este ano ao IST.

Da actividade deste projecto resultou: (1) — um curso dado pelo Dr. Matos Ferreira num NATO ASI em Pitlochry, Escócia, em 1985; (2) — uma lição convidada na ICPG XVIII em Swansea, País de Gales, em 1987 e (3) — um curso sobre a teoria das descargas HF num próximo NATO ASI que vai ter lugar em Itália em Junho de 1989. Com esta actividade científica o Dr. Matos Ferreira tornou-se membro do Comité Científico Interna-

cional da «International Conference on Surface Waves in Plasmas and Solids».

Iniciou-se no CEL investigação experimental neste domínio em 1988 através de um Projecto financiado pela JNICT e no qual colaboram igualmente investigadores do LNETI, da equipa do Dr. Carvalho Rodrigues.

#### 4.2. No Grupo de Fusão Nuclear

Quando da adesão à Comunidade Económica Europeia, Portugal pôde participar imediatamente, através dos investigadores do Grupo de Fusão Nuclear, no seu maior programa de investigação: o Programa Europeu de Fusão. Esta participação realizou-se a dois níveis: (a)—a nível administrativo, através do pedido de adesão ao JET (Joint European Torus) e do estabelecimento de um protocolo JNICT-EURATOMO que permitiu a nomeação de Delegados Nacionais para as reuniões da CCPF (Conselho Consultivo do programa de Fusão), e dos Órgãos de Gestão do JET; (b)—a nível científico, através de contactos preliminares com a investigação conduzida nos diversos Laboratórios Europeus: JET e UKEA (Culham), IPP (Garching), FOM (Rijnhuizen), CEN (Cadarache), ENEA (Frascati), CRPP (Lausanne) e CIEMAT (Madrid).

Em 1987 foi elaborado maioritariamente por membros do Grupo de Fusão Nuclear o Plano Nacional de I & D em Fusão Nuclear Controlada. Ao Grupo de Fusão Nuclear foi atribuída a missão de concretizar parcialmente os objectivos desse Plano Nacional. Assim a actividade do Grupo de Fusão Nuclear tem desde logo os seguintes objectivos fundamentais: (a)—colaborar nas actividades de outros Laboratórios Europeus (Associações com a Eurátomo) e do JET, através de contratos Eurátomo, bolsas de estudo, contratos de mobilidade, etc.; (b)—realizar em Portugal estudos científicos e tecnológicos de interesse para a Comunidade; (c)—desenvolver um programa científico autónomo, a ser executado numa experiência de Plasma de Fusão, a ser instalada em Lisboa. Os Projectos que o Grupo de Fusão Nuclear tem neste momento são:

#### Projecto GFN. 1—*Colaboração de investigadores portugueses na investigação dos grandes Laboratórios europeus*

No âmbito deste Projecto estão, neste momento, diversos investigadores portugueses integrados em equipas internacionais, nomeadamente nas do JET (Dr. Tito Mendonça), na Associação Euratom-État Belge (Dr.<sup>a</sup> Ana Maria Martins), na Associação de Cadarache (Dr.<sup>a</sup> Maria João Marchã). Esta colaboração tem vindo a ser feita na área do transporte anómalo em plasmas e na teoria da geração não indutiva de corrente em tokamaks. Neste contexto, tornaram-se mais frequentes os contactos estabelecidos com outros grandes Laboratórios Europeus, em especial com os de Frascati, Garching, Nieuwegein, e Lausanne. Vários Investigadores portugueses frequentaram durante os últimos anos diversos «workshops» relacionados com aspectos particulares da Fusão. Foi celebrado um «task agreement» entre o JET e o IST que permitiu ao Dr. António Moreira e ao Eng.<sup>o</sup> João Bizarro realizarem estágios prolongados no JET, no domínio da deposição de energia e da geração de corrente não indutiva em plasmas termonucleares por injeção de ondas híbridas inferiores.

#### Projecto GFN. 2—*Cooperação de equipas portuguesas na Investigação Europeia*

Com este Projecto pretende-se realizar no País investigação teórica e experimental de interesse directo para a actividade científica de determinados Laboratórios Europeus. Neste sector há que referir a actividade do chamado Grupo da Reflectometria, coordenado pela Dr.<sup>a</sup> Maria Emília Manso e pelo Dr. Fernando Serra. Este Grupo projectou, construiu e instalou um sistema de reflectometria de microondas para o Tokamak ASDEX do «Institut für Plasma Physik» (IPP) de Garching, com base num contrato de «cost-sharing» com a Eurátomo. Este projecto internacional, envolvendo o Grupo de Fusão Nuclear (com a colaboração do Centro de Electrodinâmica, do Instituto

Superior Técnico, da Universidade de Aveiro e do Laboratório Nacional de Engenharia Civil) e o IPP de Garching, destina-se ao estudo dos fenómenos de transporte num plasma de fusão, com base em medidas resolvidas no tempo dos perfis de densidade do plasma. Numa segunda fase pretende-se usar este diagnóstico para determinar as flutuações de densidade de plasmas termonucleares. Com este sistema de reflectometria de microondas, de concepção portuguesa, que utiliza três reflectómetros independentes em bandas adjacentes, conseguiu-se medir, pela primeira vez, um perfil completo da densidade de um plasma termonuclear.

### Projecto GFN. 3 — *Criação de um Laboratório de Física dos Plasmas de Fusão*

No cerne deste projecto está o estabelecimento de um Núcleo Central para Actividade Experimental sobre Física dos Plasmas de Fusão, em Lisboa. Para este efeito tem o Grupo de Fusão Nuclear vindo a desenvolver esforços para conseguir instalar, na área geográfica do Instituto Superior Técnico, um pequeno tokamak (ISTTOK), com o qual pretende seguir um programa científico autónomo, mas integrado no Programa Europeu de Fusão. Fundamentalmente, pretende-se importar a estrutura básica do ex-tokamak TORTUR de Nieuwegein (Holanda) e modificar em Lisboa o seu regime de funcionamento. Com uma redução do valor do campo magnético para cerca de 4,5 KGauss pretende-se conseguir que, a partir do plasma inicial produzido pela descarga indutiva (densidade de cerca de  $7 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ ,  $T_e \sim 250 \text{ eV}$ , duração de cerca de 30 ms) se possa criar um plasma quente ( $T_e \sim 600 \text{ eV}$ ,  $n_e \sim 2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ ) com uma duração de pelo menos alguns segundos. Este regime seria conseguido à custa de aquecimento e da geração de corrente não indutiva, por ressonância electro-ciclotrónica, através da injeção de potência de rf no plasma, por meio de um gerador de cerca de 100 KW em 28 GHz. Como fase mais avançada deste Projecto, está previsto o estudo do transporte

anómalo de partículas do plasma para a sua periferia, através do desenvolvimento de novos métodos de diagnóstico envolvendo, entre outras, técnicas de fluorescência laser induzida. Este Projecto, a ser apresentado à CCPF de Bruxelas para financiamento Eurátomo, é dirigido pelo Dr. Costa Cabral e tem duas grandes áreas: (i)—teoria, coordenada pelo Dr. Tito Mendonça e (ii)—experimentação, com a supervisão do Dr. Carlos Varandas. Na área experimental existem diversas divisões: (a)—raios X (Dr. F. Parente e Dr. P. Amorim); (b)—interferometria de microondas (Dr.<sup>a</sup> Maria Emília Manso); (c)—reflectometria (Dr. Fernando Serra); (d)—diagnósticos ópticos (Dr. Lemos Pinto); (e)—aquecimento ciclotrónico e geração de corrente (Dr. A. Moreira; (f)—controlo e aquisição de dados. Este projecto conta com o apoio de cientistas dos Laboratórios de Nieuwegein (Holanda) e da École Polytechnique Fédérale de Lausanne.

## 5. FINANCIAMENTOS ANUAIS E SUAS FONTES

Nesta secção serão analisadas as verbas destinadas à investigação em Física dos Plasmas. Dado que neste domínio da Física a maior parte da investigação se realiza no Centro de Electrodinâmica, começaremos por fazer uma análise das verbas recebidas por este organismo dependente do INIC.

### 5.1. Financiamento INIC

No quadro seguinte assinalam-se as verbas totais atribuídas ao Centro de Electrodinâmica, durante os últimos doze anos. Não nos foi possível obter os dados relativos à divisão destas verbas globais pelas cinco Linhas de Acção do Centro. No entanto, visto a Linha 4, que se não ocupa directamente da Física dos Plasmas, ser uma linha eminentemente teórica, a percentagem de verbas próprias é reduzida, e assim, as verbas globais do Centro podem ser praticamente identificadas com as da sua área de Física dos Plasmas.

	VERBAS PEDIDAS		VERBAS ATRIBUÍDAS		PIDAC
	<i>Desp. Correntes</i>	<i>Capital</i>	<i>Desp. Correntes</i>	<i>Capital</i>	<i>Capital</i>
1988	10.099	52.036	3.447	7.107	7.500
1987	8.802	46.031	3.181	7.136	8.800
1986	6.829	35.364	2.875	5.926	7.750
1985	6.275	20.930	2.300	2.500	
1984	4.375	20.656	1.849	1.484	
1983			1.399	673	
1982			1.399	1.261	
1981			1.874	2.605	
1980			1.395	528	
1979			1.319	506	
1978			1.221	1.110	

Como se pode verificar na tabela precedente, as verbas de Despesas Correntes, com excepção do ano de 1981, mantiveram-se quase constantes no período de 1978-83. Nos últimos cinco anos verificou-se um aumento significativo do seu valor.

Quanto às Despesas de Capital, nota-se um nítido crescimento nas verbas atribuídas a partir de 1983 e, em especial no último triénio (1986-88).

No entanto, a análise da evolução das verbas concedidas ao Centro, em valores absolutos, pode levar a conclusões erróneas, como, por exemplo, à de que o financiamento pelo INIC da investigação em Física dos Plasmas está em fase de franca expansão. Nada mais falso! De facto, através do conhecimento das taxas de inflação anual, fornecidas pelo Banco de Portugal e que variam de um mínimo de 9.4% em 1987 a um máximo de 29.3% em 1984, podemos calcular o valor das verbas atribuídas ao Centro em cada ano, em termos actuais, isto é, traduzidas em valores directamente comparáveis com os de 1989. Assim as figuras 7 e 8 apresentam os mesmos financiamentos do INIC em Despesas Correntes e de Capital, mas agora a preços de 1989.

A primeira conclusão importante a tirar da figura 7 é a de que as verbas para Despesas Correntes, para um Centro que tem vindo a ver aumentar o seu pessoal investigador,

(Fig. 1), sofreram no período de 1978-83 uma enorme redução, tendo-se mantido a partir daquela data num nível bastante baixo (cerca de 45% do seu valor em 1978).

Quanto às verbas para equipamento, se bem que nos últimos anos tenham sofrido aumentos consideráveis em números absolutos, em valor relativo situam-se abaixo do nível de 1981 e portanto, com os aparentemente substanciais aumentos dos últimos três anos não fez o INIC mais do que anular a terrível redução de verbas que se observou durante 1982-85.

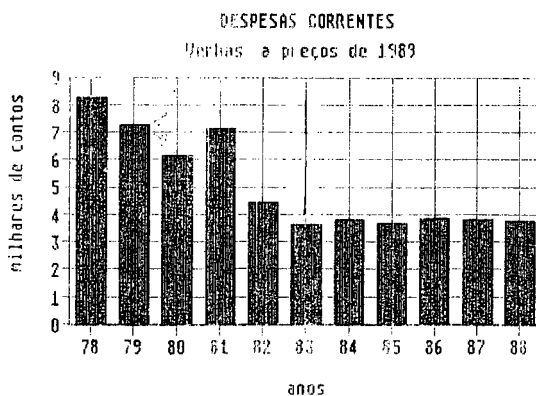


Fig. 7

A tabela anterior permite ainda comparar o que tem sido pedido pelos Investigadores do Centro de Electrodinâmica e o que lhes tem sido concedido, quer em Despesas Correntes

quer em Despesas de Capital. Os números falam por si! Tem o CEL tido dotações globais que se têm situado na faixa dos 30-40% dos valores pedidos para Despesas Correntes e na dos 7-14% para Despesas de Capital. As

ciamento de um Projecto Internacional na área da Reflectometria de Micro-ondas, para o qual este Grupo pode dispor em 1988 de uma verba de 18.000 contos.

### 5.3. Financiamento Internacional

O Projecto da Reflectometria acima referido é um Projecto Internacional, integrado no Programa Europeu de Fusão, e assim beneficiou de um subsídio da EURATOMO no valor de 10.000 contos. Tratando-se de um Projecto de cooperação com o «Max-Planck Institut fur Plasma Physik» de Garching, foi também por ele financiado, com uma verba de 22.000 contos.

## 6. COLABORAÇÃO INTERNACIONAL

A actividade científica das diversas Linhas de Acção do CEL tem estado, desde a sua criação, inserida na investigação internacional dos respectivos domínios. Assim essas Linhas de Acção têm sabido manter, ao longo dos seus já 14 anos de existência, uma colaboração internacional sempre renovada. De entre os Laboratórios e Universidades com que o Centro mantém um diálogo científico permanente, destacam-se os seguintes:

Linha 1 — Turbulência em Plasmas — Dr. Tito Mendonça

- Universidade Livre de Bruxelas (Bélgica)
- Fontenay-aux-Roses (França)

Linha 2 — Plasmas Espaciais — Dr. Armando Brinca

- Max-Planck Institut fur Extraterrestrische Physik (Alemanha)
- Jet Propulsion Laboratory — California Institute of Technology (E.U.A.)
- STARLAB — Universidade de Stanford California — (E.U.A.)
- Universidade de Maryland (E.U.A.)
- Universidade de Warwick (Inglaterra)

DESPEAS DE CAPITAL  
Verbas: a preços de 1989

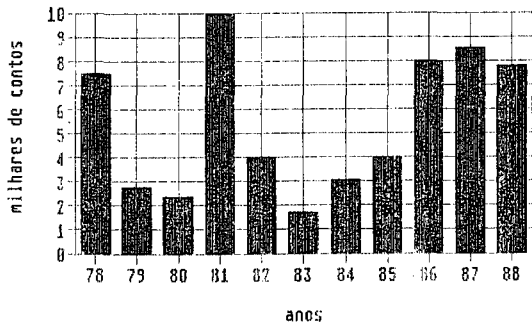


Fig. 8

baixas percentagens de financiamento encontradas, reflectem certamente o desejo dos Investigadores do CEL de verem melhoradas as suas condições de trabalho a fim de poderem aumentar a sua já elevada produtividade científica.

### 5.2. Financiamento JNICT

Também se tem obtido financiamento para a área da Física dos Plasmas através da apresentação de Projectos a outras entidades públicas. Assim, o Centro de Electrodinâmica submeteu, através das suas Linhas de Acção n.º 2 e 5 (Projectos 2C e 5B), pedidos de subsídio à JNICT, no âmbito do seu Programa Mobilizador de Ciência e Tecnologia. Destes pedidos resultou a concessão de 22.000 contos para o Projecto 5B e de 10.000 contos para o Projecto 2C, destinados a cobrir as actividades em 1988. Espera-se que estes Projectos venham também a obter financiamento JNICT para 1989.

Também o Grupo de Fusão Nuclear viu as suas actividades subsidiadas pela JNICT, não só através da concessão de um orçamento de cerca de 3.500 contos para a sua gestão como Unidade Orgânica, como também pelo finan-

**Linha 3—Plasmas Laboratoriais—Dr. Costa Cabral**

- Risø National Laboratory — Roskilde (Dinamarca)
- Institut für Theoretische Physik — Innsbruck (Áustria)
- FOM-Instituut voor Atooh en Molcuulfysica — Amsterdam (Holanda)

**Linha 5—Descargas em Gases—Dr. Matos Ferreira**

- Laboratoire de Physique de Gaz et des Plasmas—Orsay (França)
- Universidade de Montreal (Canadá)
- Universidade de Córdoba (Espanha)
- Universidade Federal de Santa Catarina (Brasil)
- Universidade de Bari (Itália)
- Universidade de Sofia (Bulgária)

**Grupo de Fusão Nuclear**

- Max Planck Institut für Plasma Physik — Garching (Alemanha)
- Centre d'Études Nucleaires de Cadarache (França)
- École Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suíça)
- FOM—Instituut voor Plasmaphysica — Nieuwegein (Holanda)
- JET (Joint European Torus)—Culham (Inglaterra)
- Culham Laboratory (Inglaterra)
- Junta de Energia Nuclear CIEMAT—Madrid (Espanha)

**7. PUBLICAÇÕES DE NATUREZA CIENTÍFICA**

A fim de se averiguar a produtividade da investigação científica Portuguesa na área da Física dos Plasmas, consideram-se neste capítulo as publicações originais dos nossos investigadores, quer em revistas internacionais e livros da especialidade, ambas sob a designação (R), quer em congressos internacionais (C).

A tabela seguinte contém o número total anual de publicações sobre Física dos Plasmas, elaboradas globalmente no Centro de Electrodinâmica:

	<i>Revistas</i>	<i>Congressos</i>	<i>Totais</i>
1989 (Abril)	13	11	24
1988	16	26	42
1987	11	33	44
1986	16	17	33
1985	10	7	17
1984	9	19	28
<b>Total:</b>	<b>75 R</b>	<b>113 C</b>	<b>188 P</b>

A Figura 9 permite observar a evolução do número anual destas publicações. Nesta figura podemos observar que esse número tem vindo a aumentar substancialmente, tendo-se passado das 17 publicações anuais (1985) para as 44 (1987). Espera-se para 1989 um novo aumento. Pode-se ainda verificar que, desde

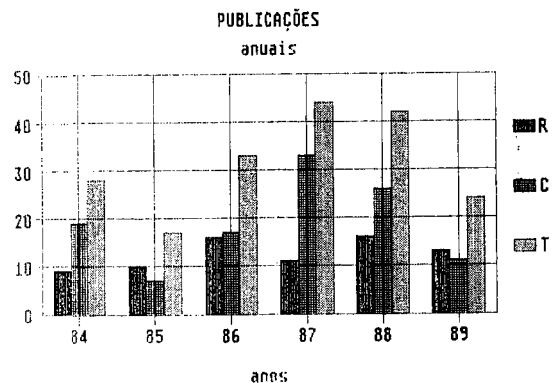


Fig. 9

Janeiro de 1984 até Abril de 1989 o Centro publicou 188 trabalhos científicos. O número médio de publicações anual, durante o quinquénio 1984-88, é de 33 (12 em Revistas e 21 em Congressos), ou seja de mais de duas por doutorado. Salienta-se que esta média é excelente, dado que a maior parte dos investigadores realiza também trabalho docente universitário. Aliás o prestígio que o Centro de Electrodinâmica adquiriu junto da comunidade científica internacional, da área da Física dos Plasmas, resulta em grande parte da qualidade e da diversidade das suas publicações.

## 8. A INVESTIGAÇÃO NA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Responsável: Dr. Armando Policarpo

Na Universidade de Coimbra não há investigação directamente em Física dos Plasmas. São contudo utilizadas descargas SQS («self-quenching streamers») e estudam-se algumas características destas avalanches com o fim de desenvolver detectores de radiação. Neste contexto surgem naturalmente aspectos ligados à Física dos Plasmas.

Do programa científico deste grupo de investigação salienta-se: (i) — estudo das dimensões da descarga auto-limitada e da distribuição de carga, utilizando a técnica das cargas induzidas. Tentativa de determinação dos parâmetros micro-físicos que caracterizam a descarga. Em particular, o regime SQS em misturas gasosas contendo vapores de baixo potencial de fotoionização. Influência da pressão e do campo eléctrico; (ii) — análise espectral, resolvida no tempo, da emissão associada a SQS. Pretendem-se estudar os processos que levam à produção de electrões de realimentação e clarificar os mecanismos fundamentais envolvidos no desenvolvimento das descargas; (iii) — estudo da realimentação fotónica que leva à formação de SQS secundários originados pela fotoionização do gás por fotões emitidos pela avalanche principal.

A Universidade de Coimbra não tem pessoal especializado em Física dos Plasmas. Nas descargas auto-limitadas trabalham, em tempo parcial, 3 doutores com formação em Física Nuclear, Física Atómica e Molecular e Instrumentação.

São fontes de financiamento o INIC e a Secretaria de Estado da Investigação Científica através de Projectos do Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP) que contribuíram em parcelas idênticas para os trabalhos em curso (1000 contos anuais).

Este grupo de investigação publicou 7 trabalhos em revistas e em Conferências internacionais. Tem actualmente colaborado com o «Centre de Physique Atomique Paul Sabatier»

da Universidade de Toulouse, com o Instituto de Física de Belgrado e com o CERN.

A curto prazo este grupo pretende desenvolver e construir detectores UV e de raios X para a caracterização de plasmas. A mais longo prazo deseja também participar na investigação internacional sobre este importante domínio da Física.

## 9. A INVESTIGAÇÃO NO LNETI (SACAVÉM)

Responsável: Dr. Jaime Oliveira

O Departamento de Energia e Engenharia Nucleares do ICEN/LNETI já teve investigação em Física dos Plasmas, durante a década de setenta, em que se estudaram processos relacionados com descargas em gases e em especial com as chamadas descargas de coluna positiva, sob a supervisão do Dr. Namorado Rosa. Hoje em dia, o LNETI não dispõe de projectos de investigação próprios em Física dos Plasmas. No entanto, continua a acompanhar a evolução desta área da Física e a contribuir para a formação de recursos humanos. Neste contexto concedeu duas bolsas de estudo: uma à Dr.<sup>a</sup> Filomena Nave para trabalhar no «JET» por um período de 2 anos (estudo das instabilidades designadas por «filshbone») e outra à Lic. Maria João Marchã, para trabalhar no Centro de Electrodinâmica, sob a supervisão do Dr. António Costa. Esta Investigadora encontra-se actualmente a estagiar em Cadarache (França) onde se ocupa do desenvolvimento de um código de Fokker-Planck para tratar os problemas associados à geração de corrente em Tokamaks por ondas híbridas inferiores.

O ICEN/LNETI está empenhado, tal como o Grupo de Fusão Nuclear do IST, em realizar acções integradas no chamado Plano Nacional de I&D em Fusão Termonuclear Controlada.

## 10. CONCLUSÕES

Como se pode deduzir do que atrás foi explicitado a investigação em Física dos Plasmas em Portugal revela-se actualizada e em fase



de expansão. No entanto, e em especial no que se refere à investigação experimental, há algumas limitações importantes que importa referir:

#### 10.1. **Serviços de Apoio à Investigação e Desenvolvimento (SAID)**

O Complexo Interdisciplinar já esteve dotado de uns Serviços de Apoio bastante bons, em meados da década de 70. De facto, por essa altura, havia equipamento moderno nas suas diversas divisões (Mecânica de precisão, Vácuo, Vidro, Electrónica, Azoto líquido, etc.) e pessoal altamente especializado. Com o decorrer dos anos, tem vindo a diminuir e a envelhecer o pessoal destas oficinas, factos que resultam numa diminuição efectiva da sua produtividade. Impõe-se uma dinamização imediata deste sector importante da investigação, se se quer de facto alargar a nossa capacidade de intervenção no domínio da Física experimental. Há que possibilitar no imediato a promoção dos actuais Técnicos dos SAID, processo que se tem arrastado nos últimos anos, tendo como consequência o abandono de funções do pessoal mais qualificado, atraído por melhores contratos em outras empresas. A contratação de novos Técnicos Superiores e de jovens operários é também julgada imprescindível, em especial nas áreas acima mencionadas destes Serviços de Apoio à Investigação.

#### 10.2. **Técnicos de Laboratório**

Dispõe o Centro de Electrodinâmica de apenas três técnicos de Laboratório. O facto de se terem verificado sempre grandes dificuldades na sua promoção (há um Técnico que desde que inciou trabalho neste Centro, há cerca de 12 anos, nunca foi promovido e outros dois que aguardam promoção há 9 anos, apesar das suas classificações de Bom e Muito Bom e ainda maiores entraves à contratação de novos Técnicos que viessem substituir os que nos deixaram por razões salariais, faz com que os nossos laboratórios se vejam cada vez mais limitados nas possibilidades de desenvolvimento de projectos que

envolvam a construção de experiências de média complexidade. À semelhança do que acima se disse em relação às Oficinas Centrais é necessário e urgente promover rapidamente o Pessoal existente e contratar novos Técnicos de Laboratório.

#### 10.3. **Instalações**

As instalações do Centro de Electrodinâmica não impedem, por enquanto, o bom prosseguimento dos trabalhos em curso. No entanto tem havido uma certa dificuldade na adaptação dos espaços disponíveis para instalar os novos investigadores, havendo gabinetes com população tão elevada que apenas permite a ocupação de secretárias em «time-sharing». Esta falta de gabinetes tem também estado na base de uma certa prudência na aceitação de investigadores de vários países (em especial do Brasil mas também da Jugoslávia e da China) que têm, nos últimos anos, pretendido realizar investigação neste Centro. Tem também o Centro de Electrodinâmica recebido inúmeros Investigadores visitantes de vários países e seria desejável que se pudesse dispor de pelo menos um ou dois gabinetes para os instalar condignamente. Por outro lado as actividades experimentais ligadas à Fusão Nuclear Controlada que, mediante protocolo a estabelecer com o IST, poderiam vir a ser efectuadas nas instalações do Centro de Electrodinâmica, tiveram que ser programadas para uma outra área do Instituto Superior Técnico (Departamento de Física) levando a uma duplicação de infraestruturas, porventura desnecessária se a tão desejada expansão do Complexo Interdisciplinar estivesse já realizada.

#### 10.4. **Financiamento**

As verbas para Despesas Correntes e para Equipamento estão, como se viu no capítulo V deste relatório, reduzidas respectivamente a cerca de um terço e a cerca de um oitavo dos valores pedidos pelos investigadores.

Mesmo sem as compararmos aos valores pedidos, as verbas para Despesas Correntes

encontram-se de facto muito reduzidas, já que, a preços de 1989, apenas atingem cerca de metade do seu valor real em 1978.

No que diz respeito às verbas de Capital, elas situam-se hoje ao mesmo nível que tinham em 1978 e 1981. De uma época (1971-1973) em que se compravam vários aparelhos por ano (só as Linhas 1 e 3 do CEL tinham em conjunto cerca de 2.000 contos/ano para Equipamento, equivalentes hoje a mais de 30.000 contos/ano) passou-se para uma outra em que é frequente ter que se viver durante vários anos em «poupança forçada» para se poder adquirir um único aparelho trivial.

Com verbas globais muito reduzidas, tem, apesar de tudo, o Centro de Electrodinâmica conseguido o «quase-milagre» de continuar a produzir trabalho experimental válido, publicável em revistas internacionais, com uma aparelhagem «de terceira idade» e sem recursos para a sua renovação ou substituição.

Há que voltar a dar aos Centros, em especial àqueles em que se realiza investigação experimental internacionalmente reconhecida, verbas adequadas. Em primeiro lugar verbas do Orçamento Geral do Estado, para o que seria suficiente aumentar a percentagem do P.I.B., partindo dos tão criticados 0.4% actuais, passando pelo 1% da meta do Governo para 1992 até uns eficazes 2%. Para além deste financiamento básico, deveriam os Centros ter acesso directo aos fundos de Organismos Internacionais, em especial aos da Comunidade Europeia.

## 10.5. Pessoal

Sem se contestar o recurso a pessoal docente universitário na maior parte dos casos, salienta-se que a investigação experimental em aparelhos construídos «ad hoc» requer um outro tipo de colaboradores, hoje praticamente em vias de extinção: os Assistentes de Investigação e os Investigadores a tempo inteiro! De facto, a realização de investigação em Física dos Plasmas Laboratoriais requer geralmente uma contínua presença junto das experiências e uma dedicação exclusiva aos trabalhos em

curso. Esta situação é na maioria dos casos incompatível com a existência de quaisquer outras tarefas, nomeadamente as do campo do ensino universitário. Pessoalmente, defendo a situação em que jovens licenciados tivessem obrigatoriamente que passar por um período de três-quatro anos em que fizessem investigação a tempo inteiro (levando em princípio ao Mestrado e eventualmente ao Doutoramento) e que só depois desse período pudessem começar a leccionar. Vejo como desejável, nalgumas Escolas Superiores, um ensino universitário mais restrito e de índole mais profunda, suportado a todos os níveis em pessoal docente, se não doutorado, pelo menos com o grau de Mestre. Os Assistentes teriam assim garantida uma sólida formação científica e a selecção dos futuros Professores poderia vir a ser naturalmente baseada na reputação internacional dos candidatos.

Neste contexto, parece-me que o Instituto Nacional de Investigação Científica poderia ter um papel importante a desempenhar, não só atribuindo um maior número de bolsas de estudo para Mestrado e Doutoramento, como, e fundamentalmente, alargando os seus Quadros de Pessoal em especial nas categorias de Assistente de Investigação e de Investigador. Por outro lado, já que a Lei o permite, as próprias Universidades deveriam também alargar o mais possível os seus próprios Quadros de Pessoal Investigador a tempo inteiro.

## 10.6. Relações Internacionais

As relações internacionais são neste momento bastante boas nas diversas áreas da Física dos Plasmas (teórica, computacional e experimental). Há de facto intensa colaboração internacional em curso, que envolve diversas Universidades não só europeias como americanas. Também na área da Fusão Nuclear, através da acção da Eurátomo, se mantém um bom intercâmbio científico. Há no entanto que cativar maiores verbas do Orçamento Geral do Estado para que em cada ano civil se possam realizar mais missões ao estrangeiro, não só, como até aqui, para se apresentarem

trabalhos em reuniões internacionais, mas também e principalmente para se permitirem estágios, com a duração mínima de um mês, de investigadores portugueses em Laboratórios estrangeiros afins. De facto não é com verbas da ordem dos oitocentos contos por ano, para um Centro que conta com 16 doutores e 21 assistentes de investigação, que se consegue ir longe! Igualmente se deve incrementar a vinda de cientistas estrangeiros aos nossos laboratórios. É certo que acções deste tipo estão já cobertas pelos diversos acordos culturais existentes. No entanto, esses acordos são geralmente muito limitados (tipicamente duas quinzenas por ano por País) e o desenvolvimento da investigação em Física dos Plasmas requer períodos globais de estágio muito superiores aos agora oferecidos.

#### 10.7. Outras Fontes de Financiamento

Com a entrada de Portugal na Comunidade Económica Europeia estão abertas novas fontes de financiamento internacional (Programas Science, Erasmus, Esprit, Eurátomo, etc.). Há contudo que alertar as Autoridades Portuguesas, que intervêm no financiamento da investigação (JNICT por exemplo), para o facto de não deverem deixar somente à iniciativa particular (projectos individuais ou de pequenos grupos) o recurso a estas fontes de financiamento. Uma profissão de fé na capacidade de gestão de alguns Organismos Públicos devotados à Investigação Científica, como, por exemplo, alguns Centros do INIC e diversos Laboratórios Nacionais, deveria permitir pôr, ao seu serviço global da investigação portuguesa, verbas importantes para o seu desenvolvimento harmónico a médio prazo. A falta deste tipo de financiamento colectivo poderá levar ao crescimento caótico da Investigação. Com base na existência destes mecanismos de financiamento internacional, é agora a altura de, rejeitando soluções imediatistas, se criarem, em acção concertada entre o Governo e a Comunidade Científica Nacional, novos Laboratórios e Institutos com fins específicos. O Laboratório Nacional de Física dos Plasmas deveria, certamente, ser um deles.

#### Eleição dos Órgãos Nacionais da SPF Triénio 1990 - 1992

Reuniu-se em 28 de Fevereiro de 1990 a Assembleia Geral da SPF para apreciação dos relatórios de actividade e eleição dos novos Órgãos Directivos, cuja constituição passou a ser a seguinte:

##### Mesa da Assembleia Geral

- Presidente: *Manuel Fernandes Laranjeira*, Professor Catedrático (FCT—UNL);  
1.º Secretário: *Manuel Pereira de Barros*, Professor Catedrático (FC—UP);  
2.º Secretário: *Maria Odete Canelas de Castro*, Professora Efectiva Esc. Sec. Infanta D. Maria.

##### Secretariado-Geral

- Secretário-Geral: *Carlos Matos Ferreira*, Professor Catedrático (IST—UTL);  
Secretário-Geral Adjunto (Assuntos Internacionais): *Armando J. P. L. Policarpo*, Professor Catedrático (FCT—UC);  
Secretário-Geral Adjunto (Assuntos Nacionais): *Ana Maria Eiró*, Professora Associada (FC—UL);  
Tesoureiro: *Margarida C. Martins da Cruz*, Professora Auxiliar (FC—UL).

##### Conselho Fiscal

- Presidente: *Rui Namorado Rosa*, Professor Catedrático Convidado (UE e IST—UTL);  
Secretário: *José Ribera Salcedo*, Professor Associado (FC—UP);  
Relator: *Maria Helena Nazaré*, Professora Catedrática (UA).

---

#### Eleição do Presidente da Sociedade Portuguesa de Física

Na sua primeira reunião, em Março de 1990, o Conselho Directivo da SPF, nos termos do Art.º 23 dos Estatutos, procedeu à eleição do Presidente da Sociedade. Foi eleito o Doutor Manuel Fernandes Thomaz, Professor Catedrático do Departamento de Física da Universidade de Aveiro.