



**ipfn**  
INSTITUTO DE PLASMAS  
E FUSÃO NUCLEAR

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

CONSELHO CIENTÍFICO

Entrada em 02 de Março de 2016

Registo sob o N.º 5

Exmo. Sr.  
Professor Luís Oliveira e Silva  
Presidente do Conselho Científico do  
Instituto Superior Técnico

REF: IPFN-CA-24/16

Lisboa, 1 de Março de 2016

**Assunto:** Parecer sobre relatório trienal do Investigador Auxiliar (artº 41º do ECDU)  
Doutor Carlos Silva – Proposta de nomeação dos relatores

Tendo recebido o relatório trienal do Investigador Auxiliar (artº 41º do ECDU) Doutor Carlos Silva, na qualidade de Presidente da Unidade de Investigação onde este desenvolve a sua actividade de investigação, proponho a nomeação dos seguintes relatores

- Eduardo Alves (Investigador Coordenador)
- Horácio Fernandes (Professor Associado)

Bruno Soares Gonçalves

Presidente do Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear

Solicita-se parecer aos Doutores Eduardo Alves e  
Horácio Fernandes, a submeter ao  
Presidente do IPFN para homologação.

17 de Março de 2016



**ipfn**  
INSTITUTO DE PLASMAS  
E FUSÃO NUCLEAR

## **Parecer sobre relatório trienal do Investigador Auxiliar (artº 41º do ECDU) Doutor Carlos Silva**

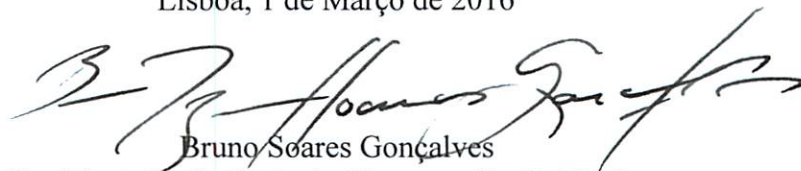
O Doutor Carlos Silva desenvolve a sua actividade do Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear enquadrado na Linha Temática de Fusão Nuclear. A sua actividade científica na investigação no estudo de plasmas da periferia em diversos dispositivos experimentais de fusão nuclear com particular relevância para o trabalho desenvolvido no JET, Asdex-Up e TJ-II. Desta actividade resultaram um elevado numero de publicações (24) em revistas internacionais de referência na área. Destaca-se ainda no período experimental a apresentação de provas de Habilitação com o trabalho “Multi-scale turbulence studies in fusion devices”.

Durante o período de avaliação o Doutor Carlos Silva foi responsável pela unidade curricular “Methodologies and Techniques in Plasma Physics” do Program a de doutoramento FCT APPLAuSE e pela unidade curricular do 2º ciclo: Técnicas de Diagnóstico e Medida. No período em análise tem também várias orientações de teses de mestrado e de doutoramento em curso.

Relativamente à actividade de gestão científica destacam-se as actividades desenvolvidas enquanto Vice-presidente para os assuntos administrativos do IPFN, sendo nomeadamente responsável pela coordenação de vários projectos da Eurofusion e a co-liderança do grupo de Física Experimental do IPFN (composto por 15 elementos).

Assim, e perante o curriculum do do Doutor Carlos Silva e do seu relatório de actividades, é sem qualquer hesitação que considero a actividade do investigador uma mais valia para a Unidade de investigação e para o Instituto Superior Técnico e recomendo a manutenção do regime de dedicação exclusiva.

Lisboa, 1 de Março de 2016



Bruno Soares Gonçalves  
Presidente do Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear

***Relatório Pormenorizado da Actividade  
Científica***

Triénio 2013/2015

Carlos Alberto Nogueira Garcia Silva

Investigador Auxiliar (nº 3913)

Instituto Superior Técnico

Março de 2016

## 1. Introdução

O presente relatório visa satisfazer o imposto no artº 41º do Estatuto da Carreira de Investigação Científica, no respeitante à apresentação trianual de um relatório pormenorizado da actividade científica desenvolvida nesse período. Este relatório é referente ao período de Janeiro de 2013 a Dezembro de 2015.

A minha actividade científica decorreu no âmbito da unidade de I&D em que me integro — Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear. A referida actividade baseou-se essencialmente na investigação, na área da física dos plasmas, embora tenha também desempenhado funções relevantes de gestão e de divulgação da ciência. Relativamente à actividade de gestão científica é de destacar o cargo de Vice-presidente para os assuntos administrativos do IPFN, sendo nomeadamente responsável pela coordenação de vários projectos da Eurofusion. A actividade de investigação centrou-se principalmente em quatro áreas: (i) estudo do plasma do tokamak ISTTOK e coordenação das suas actividades científicas; (ii) estudo do plasma periférico do tokamak JET (Culham Science Culham, Inglaterra); (iii) colaboração no programa científico do stellarator TJ-II (CIEMAT, Espanha); e (iv) exploração científica dos reflectómetros desenvolvidos pelo IST para o AUG (Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Alemanha). Na primeira área destacam-se a caracterização da turbulência e de estruturas de larga-escala no ISTTOK bem como da interacção entre ambas. Resultados importantes foram também obtidos na validação das medidas de temperatura electrónica usando sondas de Langmuir. Em relação ao tokamak JET destacam-se: (i) caracterização do plasma periférico em plasmas limitados na parede interior e exterior do tokamak (estudo solicitado pelo ITER com o objectivo de otimizar a inicialização do plasma); e (ii) identificação de estruturas de larga-escala que interagem com a turbulência local do plasma, usando inicialmente sondas de Langmuir (2013) e posteriormente reflectometria de microondas (2015). Os estudos realizados no stellarator TJ-II foram relacionados principalmente com a compreensão dos mecanismos responsáveis pelo desenvolvimento de campos eléctricos a várias escalas em plasmas de fusão. Na última área destacam-se a coordenação da exploração científica dos sistemas de reflectometria e o estudo da influência da geometria do divisor na transição para regimes de confinamento melhorado no AUG. Destes trabalhos resultaram as publicações apresentadas na última secção deste documento.

Na secção seguinte deste relatório faz-se a descrição pormenorizada das actividades acima sumariadas.

## 2. Descrição pormenorizada das actividades desenvolvidas

### 2.1 Tokamak ISTTOK

- Desenvolvimento de diagnósticos para a caracterização da turbulência a várias escalas espaciais (desde alguns milímetros até vários metros) baseados essencialmente em sondas eléctricas;
- Caracterização da turbulência e de estruturas de larga-escala com o objectivo de contribuir para a compreensão do efeito isotópico em tokamaks: Verificou-se que o confinamento de partículas bem como a amplitude das estruturas de larga-escala são maiores em plasmas de deutério do que de hidrogénio demonstrando assim a importância dos mecanismos multi-escala para a compreensão do efeito isotópico;
- Validação das medidas de temperatura electrónica usando sondas de Langmuir. As propriedades das flutuações medidas por sondas tipo Langmuir e “Ball-pen” foram comparadas com o objectivo de investigar a influência das flutuações de temperatura nos parâmetros medidos pelas sondas de Langmuir. Foi demonstrado que as sondas de Langmuir sobrestimam a amplitude das flutuações apesar de permitirem caracterizar correctamente as propriedades estatísticas das flutuações. Este estudo permitiu também concluir que as sondas tipo “Ball-pen” podem não medir correctamente as flutuações de temperatura e, portanto, as medições com sondas devem ser cuidadosamente validadas;
- Coordenação das actividades relacionadas com o desenvolvimento e manutenção de diagnósticos e exploração científica do ISTTOK;
- Organização de visitas ao tokamak ISTTOK para alunos de graduação e do ensino secundário bem como de cursos de verão, no âmbito do programa Ciência Viva.

### 2.2 Tokamak JET

- Caracterização de modos geodésicos acústicos (GAMs) usando “Doppler backscattering: GAMs de grande amplitude foram identificados numa região estreita próxima do topo do pedestal do JET a partir de medidas da velocidade perpendicular da turbulência. Foi demonstrado que no JET os GAMs são regulados pela turbulência e não pelos mecanismos de amortecimento previstos teoricamente;
- Caracterização do plasma periférico em plasmas limitados na parede interior e exterior do tokamak: O plasma periférico do JET foi estudado em descargas limitadas na

parede interna e externa da máquina. Este estudo foi solicitado pelo ITER com o objectivo de otimizar a inicialização do plasma. As experiências revelaram que os perfis são substancialmente mais largos (por um factor de  $\sim 5 - 7.5$ ) em plasmas limitados na parede interna do que na externa. Os resultados foram corroborados pelo maior transporte turbulento observado para plasmas limitados na parede interior. Estas descobertas experimentais no JET demonstram que as diferenças nas características do plasma para as configurações estudadas são devidas principalmente à assimetria poloidal do transporte turbulento.

### **2.3 Colaboração no programa científico do TJ-II**

A colaboração no programa científico desta experiência concentrou-se principalmente no estudo de flutuações de grande escala.

- Concepção e instalação de um sistema radial de 12 sondas de Langmuir com o objectivo de caracterizar o plasma periférico do TJ-II;
- Investigação da dinâmica do campo eléctrico radial no TJ-II: A interacção entre as estruturas de campo eléctrico com várias escalas radiais foram investigadas bem como o seu papel na definição do comprimento de correlação radial da turbulência. Foi demonstrada a correlação entre o aumento no campo eléctrico radial e a magnitude dos fluxos zonais enquanto que o comprimento de correlação radial da turbulência diminui, demonstrando assim o forte acoplamento entre as várias escalas espaciais.

### **2.4 Exploração científica dos reflectómetros desenvolvidos pelo IST para o AUG**

- Coordenação da exploração científica dos reflectómetros desenvolvidos pelo IST para o AUG;
- Influência da geometria do divisor na transição para regimes de confinamento melhorado no AUG: Este trabalho permitiu revelar que o limiar de potência para aceder ao modo de alto confinamento apresenta uma correlação inversa com a altura do ponto X. Utilizaram-se diagnósticos de reflectometria de microondas para medir perfis e flutuações de densidade, com o objectivo de melhorar a compreensão física do fenómeno. Após a transição observou-se um aumento do gradiente de densidade, redução das flutuações de baixa frequência e o aparecimento de um modo quasi-coerente. Descobriu-se também um aumento das flutuações de alta frequência consistente com supressão de turbulência por escoamento cisalhado;

- Caracterização das flutuações de densidade: O sistema de reflectometria instalado no AUG permite medidas únicas no interior da máquina (região de difícil acesso), o que permitiu estudar a assimetria das flutuações de densidade nos dois lados da máquina e a sua dependência nos parâmetros do plasma. Foi demonstrado que as flutuações de densidade são mais baixas no lado interior como previsto teoricamente;
- Observação de assimetrias poloidais nos perfis de densidade: Foram encontradas assimetrias pronunciadas na densidade do plasma, devido à formação de uma frente de alta densidade no divertor que influencia fortemente a dinâmica de fenómenos como os ELMs.

### 3. Cargos desempenhados

- Vice-Presidente do IPFN para os assuntos administrativos. Participação nas actividades de gestão corrente do IPFN e da Eurofusion, incluindo a elaboração de relatórios, planos de trabalho, bem como documentos para as diferentes avaliações;
- Membro do “Eurofusion Science and Technology Advisory Committee (STAC)” desde Junho de 2014;
- Membro do Conselho de Administração do IPFN;
- Membro do “Governing Board” do programa doutoral APPLAuSE;
- Coordenador de vários projectos da Eurofusion;
- Vice-presidente do Grupo de Física Experimental do IPFN;
- Vice-director do tokamak ISTTOK, sendo responsável pelas áreas de diagnósticos e exploração científica da máquina;
- Coordenador científico de várias experiências no JET (“ITER main chamber limiter start-up characterization”, “Material migration in H-mode”, “SOL and fluctuations characterization in hydrogen”, “Characterization of geodesic acoustic modes in hydrogen”) e no AUG (“Effect divertor geometry on the L-H transition”);
- Líder de vários projectos resultantes de concursos competitivos da Eurofusion na área de transporte, interacção plasma-parede e desenvolvimento de diagnósticos;
- Coordenador de um projecto Europeu da EFDA no estudo da transição L-H (2013);

- Secretário do “Steering Committee” da Associação EURATOM/IST até 2013;
- Membro do “Programme Committee” do “Workshop on the Role of Electric Field on Plasma Confinement and Exhaust”;
- Co-responsável do comité local da “42nd EPS Conference on Plasma Physics and Controlled Fusion” realizada em Lisboa, em Junho de 2015, com mais de 650 participantes;
- Responsável do comité local do “ Workshop on the Role of Electric Field on Plasma Confinement and Exhaust” realizado em Lisboa, em Junho de 2015.

#### **4. Supervisão de teses**

- Co-orientador da tese de doutoramento de Ivo Carvalho: “Real-time control for long ohmic alternate current discharges”, 2013
- Co-orientador da tese de doutoramento de José de Almeida Vicente: “Plasma Filament Studies Using Microwave Reflectometry on the Asdex Upgrade Tokamak”, 2015
- Orientador da tese de Mestrado de Luís Manuel Cerdeira Gil: “Investigation of the effect of divertor geometry on the L-H transition using reflectometry diagnostics”, 2015
- Orientador de doutoramento de Luís Guimarães (em curso): iniciada em 2012
- Co-orientador de doutoramento de Valentina Nikolaeva (em curso): iniciada em 2012

#### **5. Actividades lectivas**

- Responsável pela unidade curricular do 2º ciclo: Técnicas de Diagnóstico e Medida
- Responsável pela unidade curricular do 3º ciclo: “Methodologies and Techniques in Plasma Physics”



## 6. Publicações

### 6.1 Teses

- “Multi-scale turbulence studies in fusion devices”, Provas de Habilitação em Física, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Março de 2013

### 6.2 Publicações em revistas científicas internacionais

- Isotope effect physics, turbulence and long-range correlation studies in the TJ-II stellarator, B. Liu, M.A. Pedrosa, B.Ph. van Milligen, C. Hidalgo, C. Silva, F.L. Tabarés, B. Zurro, K.J. McCarthy, A. Cappa, M. Liniers and the TJ-II Team, Nucl. Fusion 55 (2015) 112002
- Comparison of fluctuations properties measured by Langmuir and ball-pen probes in the ISTTOK boundary plasma, C. Silva, J. Adamek, H. Fernandes and H. Figueiredo, Plasma Phys. Control. Fusion 57 (2015) 025003
- Localized Scrape-Off Layer density modifications by Ion Cyclotron near fields in JET and ASDEX-Upgrade L-mode plasmas, L. Colas, Ph. Jacquet, D. Van Eester, V. Bobkov, M. Brix, L. Meneses, P. Tamain, S. Marsen, C. Silva, D. Carralero, M. Kočan, H.-W. Müller, K. Crombé, A. Křivská, M. Goniche, E. Lerche, F.G. Rimini, Journal of Nuclear Materials, 463, (2015) 735
- Electrostatic potential variations along flux surfaces in stellarators, M.A. Pedrosa, J.A. Alonso, J.M. Garcia-Regana, C. Hidalgo, J.L. Velasco, I. Calvo, R. Kleiber, C. Silva and P. Helander, Nucl. Fusion 55 (2015) 052001
- Transport, stability and plasma control studies in the TJ-II stellarator, J. Sánchez, et al., Nucl. Fusion 55 (2015) 104014
- H-mode filament studies with reflectometry in ASDEX upgrade, J. Vicente, G. D. Conway, M. E. Manso, H. W. Müller, C. Silva, F. da Silva, L. Guimarães, A. Silva, Plasma Phys. Control. Fusion 56 (2014) 125019
- Characterization of scrape-off layer transport in JET limiter plasmas, C. Silva, G. Arnoux, S. Devaux, D. Frigione, M. Groth, J. Horacek, P.J. Lomas, S. Marsen, G. Matthews, L. Meneses, R.A. Pitts, Nucl. Fusion 54 (2014) 083022

- Determination of Be sputtering yields from spectroscopic observations at the JET ITER-like wall based on three-dimensional ERO modelling, D Borodin, S Brezinsek, J Miettunen, M Stamp, A Kirschner, C Björkas, M Groth, S Marsen, C Silva, S W Lisgo, D Matveev, M Airila, V Philipps and The JET-EFDA Contributors, *Phys. Scr.* T159 (2014) 014057
- Radial profile measurements of plasma pressure-like fluctuations with the heavy ion beam diagnostic on the tokamak ISTTOK, R. B. Henriques, A. Malaquias, I. S. Nedzelskiy, C. Silva, R. Coelho, H. Figueiredo, and H. Fernandes, *Rev. Sci. Instrum.*, 85, 11D848 (2014)
- Theory-based scaling of the SOL width in circular limited tokamak plasmas, F.D. Halpern, P. Ricci, B. Labit, I. Furno, S. Jolliet, J. Loizu, A. Masetto, G. Arnoux, J.P. Gunn, J. Horacek, M. Kočan, B. LaBombard, C. Silva and JET-EFDA Contributors, *Nucl. Fusion* 53 (2013) 122001
- Overview of the JET results with the ITER-like wall, F. Romanelli and JET EFDA Contributors, *Nucl. Fusion* 53 (2013) 104002
- Scrape-off layer properties of ITER-like limiter start-up plasmas in JET, G. Arnoux, T. Farley, C. Silva, S. Devaux, M. Firdaouss, D. Frigione, R.J. Goldston, J. Gunn, J. Horacek, S. Jachmich, P.J. Lomas, S. Marsen, G.F. Matthews, R.A. Pitts, M. Stamp, P.C. Stangeby and JET-EFDA Contributors, *Nucl. Fusion* 53 (2013) 073016
- Comparison of Scrape-Off Layer Transport in Inner and Outer Wall Limited JET Plasmas, C. Silva, G. Arnoux, S. Devaux, D. Frigione, M. Groth, J. Horacek, P.J. Lomas, S. Marsen, G. Matthews, R.A. Pitts, *Journal of Nuclear Materials*, 438 (2013) S189–S193
- Observation of Geodesic Acoustic Modes in the JET edge plasma, C. Silva, G. Arnoux, M. Groth, C. Hidalgo, S. Marsen, *Plasma Phys. Control. Fusion* 55 (2013) 025001
- Dynamics of zonal flow-like structures in the edge of the TJ-II stellarator, J. Alonso, J. Velasco, J. Arevalo, C. Hidalgo, M. Pedrosa, M. Ph Van, D. and C. Silva, *Plasma Phys. Control. Fusion* 55 (2013) 014001

- Saturation of hydrogen retention in gallium samples exposed to tokamak ISTTOK plasmas, R.B. Gomes, R. Mateus, E. Alves, M.F. Montemor, C. Silva, H. Fernandes, P. Duarte, *Journal of Nuclear Materials*, 438 (2013) S992–S995
- Impact of carbon and tungsten as divertor materials on the scrape-off layer conditions in JET, M. Groth, S. Brezinsek, P. Belo, M.N.A. Beurskens, M. Brix, M. Clever, J.W. Coenen, C. Corrigan, T. Eich, J. Flanagan, C. Guillemaut, C. Giroud, D. Harting, A. Huber, S. Jachmich, U. Kruezi, K.D. Lawson, M. Lehnen, C. Lowry, C.F. Maggi, S. Marsen, A.G. Meigs, R.A. Pitts, G. Sergienko, B. Sieglin, C. Silva, A. Sirinelli, M.F. Stamp, G.J. van Rooij, S. Wiesen and the JET-EFDA Contributors, *Nucl. Fusion* 53 (2013) 093016
- Dynamics of flows and confinement in the TJ-II stellarator, J. Sánchez et al., *Nucl. Fusion* 53 (2013) 104016
- Spectroscopic measurements of Be erosion at JET ILW and interpretation with ERO modelling, D. Borodin, M.F. Stamp, A. Kirschner, C. Björkas, S. Brezinsek, J. Miettunen, D. Matveev, C. Silva, O. Van Hoey, M. Groth, S. Marsen, V. Philipps, the JET-EFDA contributors, *Journal of Nuclear Materials*, 438 (2013) S267
- ISTTOK control system upgrade, I. Carvalho, P. Duarte, H. Fernandes, D. Valcarcel, P. Carvalho, C. Silva, A. Duarte, A. Neto, J. Sousa, A. Batista, B. Bernardo, *Fusion Engineering and Design* 88 (2013) 1122
- Predictive ASCOT modelling of  $^{10}\text{Be}$  transport in JET with the ITER-like wall, J. Miettunen, M. Groth, T. Kurki-Suonio, H. Bergsaker, J. Likonen, S. Marsen, C. Silva, S. Äkäslompolo, JET EFDA Contributors, *Journal of Nuclear Materials*, 438 (2013) S612
- Target particle and heat loads in low-triangularity L-mode plasmas in JET with carbon and beryllium/tungsten walls, M. Groth, S. Brezinsek, P. Belo, G. Corrigan, D. Harting, S. Wiesen, M.N.A. Beurskens, M. Brix, M. Clever, J.W. Coenen, T. Eich, J. Flanagan, C. Giroud, A. Huber, S. Jachmich, U. Kruezi, M. Lehnen, C. Lowry, C.F. Maggi, S. Marsen, C. Silva, et al., et al., *Journal of Nuclear Materials*, 438 (2013) S175
- Blistering of W–Ta composites at different irradiation energies, R. Mateus, M. Dias, J. Lopes, J. Rocha, N. Catarino, P. Duarte, R.B. Gomes, C. Silva, H. Fernandes, V. Livramento, P.A. Carvalho, E. Alves, K. Hanada, J.B. Correia, *Journal of Nuclear Materials*, 438 (2013) S1032–S1035

- Correlation of Electron Beams and Hard X-ray Emissions in ISTTOK Tokamak, L. Jakubowski, V.V. Plyusnin, K. Malinowski, M.J. Sadowski, J. Zebrowski, M. Rabinski, H. Fernandes, C. Silva, P. Duarte and M.J. Jakubowski, Contrib. Plasma Phys. 53 (2013) 615

### 6.3 Comunicações orais em congressos internacionais

- Experimental investigation of geodesic acoustic modes on JET using Doppler reflectometry, 42nd European Physical Society Conference on Plasma Physics, Lisboa, 22-26 Junho de 2015
- Comparison of fluctuations properties measured by Langmuir and ball-pen probes in the ISTTOK boundary plasma Workshop on Electric Fields, Turbulence and Self-Organisation in Magnetised Plasmas, Berlim, Julho de 2014

Lisboa, 1 de Março de 2016

*Carlos Garcia Silva*

Carlos Alberto Nogueira Garcia Silva