

# **Aquisição de Dados em Fusão Nuclear**

*Dissertação de Mestrado*

**Álvaro Manuel Costa Combo**

Departamento de Física  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Universidade de Coimbra

Coimbra, 2000



Agradecimentos.....	3
Introdução .....	4
<b>Cap. 1- A Aquisição em Fusão Nuclear nos Últimos 50 Anos .....</b>	<b>7</b>
1.1- O que é a Fusão Nuclear.....	8
1.2- Importância da Fusão Nuclear.....	9
1.3- Dificuldades na Construção de um Reactor de Fusão Nuclear .....	11
1.4- O Início da Fusão Nuclear.....	13
1.5- A Globalização da Fusão Nuclear.....	16
1.6- A Segunda Geração de Máquinas de Fusão .....	23
1.7- Conclusão .....	27
<b>Cap. 2- Técnicas de Construção de Instrumentação.....</b>	<b>29</b>
2.1- Caracterização da Instrumentação para Fusão.....	30
2.2- Tecnologias Utilizadas na Instrumentação.....	31
2.2.1- Dispositivos Programáveis .....	32
2.2.2- Processamento.....	35
2.2.3- Redes de Comunicação.....	36
2.2.4- Software.....	37
2.2.5- Técnicas de Fabrico.....	39
2.3- Os Próximos Passos da Tecnologia .....	40
2.4- Conclusão .....	41
<b>Cap. 3- Módulo de Aquisição de Dados .....</b>	<b>43</b>
3.1- Especificações do Módulo de Aquisição de Dados.....	44
3.2- Descrição do Módulo de Aquisição (A4-20).....	45
3.3- Software do Módulo A4-20.....	49
3.4- Resultados e Conclusões .....	51
<b>Cap. 4- Os Futuros Sistemas de Aquisição e Controlo em Fusão.....</b>	<b>55</b>
4.1- Os Primeiros Reactores de Fusão Nuclear .....	56
4.1.1- Controlo do Plasma .....	56
4.1.2- Diagnósticos.....	57
4.1.3- Armazenamento de Dados.....	58
4.1.4- Segurança.....	58
4.2- Arquitectura de um Sistema de Aquisição e Controlo para Fusão .....	59

4.3- Implicações na Realização da Instrumentação .....	61
4.3.1- Conversão Analógica-Digital e Digital-Analógica .....	62
4.3.2- Processamento Digital de Sinal.....	62
4.3.3- Comunicações .....	63
4.3.4- Controlo Interno do Módulo .....	63
4.3.5- Auto-Verificação.....	64
4.4- Conclusão .....	65
<b>Apêndice - Investigação em Fusão Nuclear.....</b>	<b>66</b>
Fusão a Quente.....	66
• Confinamento Magnético .....	66
• Confinamento Inercial.....	67
Fusão Tépidas.....	68
Fusão a Frio .....	69
<b>Referências .....</b>	<b>70</b>
<b>Referências na Internet.....</b>	<b>78</b>
<b>Índice de Acrónimos .....</b>	<b>79</b>

## **INTRODUÇÃO**

A presente dissertação insere-se no âmbito do Mestrado em Física, Ramo de Física Tecnológica do Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e foi realizada em colaboração com o Centro de Fusão Nuclear do Instituto Superior Técnico.

Pretende-se com este trabalho realizar um estudo aprofundado sobre a aquisição de dados em experiências de fusão nuclear. Tem-se como objectivo lançar o desenvolvimento de conceitos, arquitecturas e módulos de aquisição, controlo e temporização que serão exigidos em ambientes de Fusão Nuclear. A necessidade deste estudo baseia-se em dois aspectos fundamentais. O primeiro tem a ver com o perfilar da Fusão Nuclear como uma fonte de energia alternativa viável e renovável mas que exige ainda um enorme esforço, quer científico quer técnico, para poder ser concretizada.

A segunda razão prende-se com as exigências, em termos de aquisição e controlo, que um reactor de fusão implica. Um futuro reactor de fusão, como por exemplo o ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*) [1][2], que tem como objectivo final a produção de energia, apresenta outro tipo de desafios aos sistemas de aquisição e controlo que hoje apenas se começam a discutir.

O funcionamento permanente das máquinas de fusão do futuro, em oposição ao funcionamento pulsado das actuais máquinas, obriga a uma constante análise de dados em tempo real. As exigências de segurança (que cada vez são mais apertadas) obriga a que os sistemas de controlo a serem mais rápidos, mais eficientes e sobretudo muito mais fiáveis. Finalmente, a proliferação de diagnósticos <sup>(1)</sup> (pelo menos durante uma primeira fase da investigação), leva a forte crescimento dos sistemas de aquisição de

---

<sup>1</sup> Designar-se-á por *diagnóstico* o conjunto de instrumentos necessários para medir uma determinada quantidade física. Um diagnóstico pode ser tão simples como um termómetro onde um operador lê a temperatura ou um conjunto de detectores com complexos sistemas de aquisição, controlo e temporização.

dados, dos sistemas de controlo e enormes exigências sobre os sistemas de temporização e disparo.

Desta forma há que encontrar soluções que permitam a aquisição dos dados, o reconhecimento da sua relevância, a sua eventual utilização nos sistemas de controlo, o armazenamento para posterior análise e outras eventuais operações num regime contínuo, sem que os sistemas entrem em colapso ou percam informação importante. É portanto, necessário encontrar formas de realização de sistemas de aquisição de dados inteligentes, que possam aferir da qualidade dos dados e guardá-los quando tal for necessário (mantendo toda a informação relevante), realizar transferências de dados qualificados para os sistemas de controlo ou em última análise, serem eles próprios a realizar o controlo.

Assim, considera-se a evolução dos sistemas de fusão nuclear e constatar a crescente junção entre sistemas de aquisição e controlo e, conseqüentemente, dos sistemas de temporização.

Verifica-se que inicialmente a aquisição de dados servia apenas para adquirir um conjunto de informação que era analisada à *posteriori*, enquanto que o controlo era independente e normalmente rudimentar. Por outro lado, hoje, as longas descargas, a necessidade de ajustes de parâmetros em tempo real, as exigências temporais de calendarização de descargas e outros aspectos levam a que os sistemas de aquisição sejam cada vez mais utilizados para controlo exigindo sistemas de processamento rápido e de sistemas de temporização capazes de sincronização de eventos.

Uma avaliação das necessidades das actuais experiências de fusão nuclear, bem como as alterações previstas para os próximos anos é fundamental para compreender as exigências dos futuros reactores de fusão nuclear. É necessário realizar a especificação técnica e organizar uma arquitectura para sistemas de aquisição de dados capazes de integrar um reactor de fusão nuclear.

Iniciam-se estas especificações construindo um módulo de aquisição de dados de alta velocidade e resolução que introduz já alguns conceitos básicos necessários no futuro como sejam a fácil a programação e uma flexibilidade do hardware capaz de rivalizar com a flexibilidade do software.

Assim a presente dissertação reflecte o trabalho realizado na investigação da evolução das máquinas de fusão e respectivos sistemas de aquisição e controlo bem como a análise das actuais tecnologias que permitem projectar e construir sistemas de aquisição e controlo das máquinas de fusão do início do próximo milénio.

A dissertação está estruturada em quatro capítulos onde são apresentados a evolução dos sistemas de aquisição, as actuais tecnologias utilizadas na construção da instrumentação e um olhar para o que poderá vir a ser o futuro.

Assim no primeiro capítulo descreve-se a evolução da investigação em fusão nuclear nos últimos 40-50 anos, observando a evolução dos sistemas de aquisição e controlo e dando uma perspectiva da situação actual onde se apresentam as actuais limitações dos sistemas de aquisição implementados em diversa máquinas de fusão.

O segundo capítulo é dedicado à apresentação de um conjunto de tecnologias envolvidas na realização de instrumentação, desde técnicas de construção de hardware até à gestão de software, passando pela verificação e teste, demonstrando que a realização de um sistema de aquisição e controlo envolve um vasto conjunto de tecnologias recentes cujo domínio é indispensável para se projectar sistemas viáveis.

No terceiro capítulo apresentar-se-á um módulo VME de aquisição de dados de alta resolução e velocidade. O objectivo deste módulo é introduzir, testar e avaliar o desempenho de algumas técnicas e conceitos na realização de módulos de aquisição de dados, que possam posteriormente ser utilizadas no desenvolvimento de sistemas de aquisição.

Para finalizar, o último capítulo (quatro) apresenta as principais características a que devem obedecer os futuros sistemas de aquisição e controlo que serão aplicados em reactores de fusão com um funcionamento contínuo. Apresentam-se as exigências a que a instrumentação deverá dar resposta, a arquitectura geral capaz de dar essa resposta e os caminhos a seguir para atingir o objectivo final de ter um sistema de aquisição e controlo de um reactor de fusão nuclear.

## REFERÊNCIAS

- [1] ITER International Agreements, Washington, D. C., 21 July 1992
- [2] Protocol 1, Washington, D. C., 21 July 1992.
- [3] Medvedev Zhores, *The Legacy of Chernobyl*, New York: W.W. Norton & Company, 1990
- [4] C. Bibeau et al., *Nova program at LLNL*. Lawrence Livermore National Laboratory, 1990
- [5] ITER Special Working Group Report to the ITER Council on Task #1 Results, 1998
- [6] M. A. Leontovich, *Plasma Physics and the Problem of Controlled Thermonuclear Reactions*, Vol 1-4, Pergamon Press, London, 1961
- [7] A. S. Bishop, *Vers la Maitrise de la Fusion Thermonucléaire*, Dunod, Paris, 1960
- [8] J. A. Philips, *Perhapsatron S-5 and S-5 Zeus Experiments Reviewed in Light of Current Technology*, Los Alamos Technical Report – LA-4664, 1971
- [9] L. Spitzer, *Physics of Fully Ionised Gases*, Interscience Publishers, New York, 1956
- [10] R. F. Post et al., *Mirror-based and field-reversed approaches to magnetic fusion*, proceedings of the course [and workshop] held at Varenna (Como), Italy, 1983
- [11] C. Hohenemser, *The accident at Chernobyl: Health and Environmental Consequences and the Implications for Risk Management*, Annual Review of Energy, Vol.13, 1988
- [12] E. C. Tanner, *Project Matterhorn: an Informal History*, Princeton Plasma Physics Laboratory, 1982
- [13] R. F. Post, *Nuclear Fusion*, Annual Review of Energy, Vol.1, 1976
- [14] D. V. Skobel'tsyn (Editor), *Plasma Physics*, Proceedings (Trudy) of the P. N. Lebedev Physics Institute, Vol. 32, Consultants Bureau, New York, 1968
- [15] Conference Proceedings on '*Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research*', Vol I, Vol II, Culham, UK, 1965
- [16] E. Hinnov, A.S. Bishop, H. Fallon Jr., *Computer Description of the C-Stellarator Ohmic Heating Discharges in Hydrogen*, Plasma Physics, Vol. 10, 1968
- [17] R.D. Burn, *Computer Experiments on Sheet Pinch Stability*, Plasma Physics, Vol.12, n°5, 1970
- [18] C.B. Wheeler, J. Troughton, *Measurement of Plasma Temperature by Absorption of Resonant Laser Radiation*, Plasma Physics, Vol. 11, N°5, 1969

- [19] H. Herold, F.C. Jattoda, *CO<sub>2</sub>-Laser Interferometer for the Measurement of Transient Low Density Plasmas*, The Review of Scientific Instruments, Vol.40, 1969
- [20] D. V. Skobel'tsyn (Editor), *Electronics in Experimental Physics*, Proceedings (Trudy) of the P. N. Lebedev Physics Institute, Vol. 42, Consultants Bureau, New York, 1970
- [21] T.H. Pigford, *Environmental Aspects of Nuclear Energy Production*, Annual Review of Nuclear Science, Vol.24, 1974
- [22] D. Giovanielli, J. Merrill, A Luehrmann, *Time Shared Computers in Some Solid State Physics Research Applications: Data reduction, Smoothing and Plotting*, The Review of Scientific Instruments, Vol.41, N°8, 1970
- [23] G. Amsel et al., *Time Domain Compensation of Cable Induced Distortions Using Passive Filters for the Transmission of Fast Pulses*, The Review of Scientific Instruments, Vol.42, N°8, 1971
- [24] R.C. Estler, *Data Acquisition and Control System Based Upon the Rockwell AIM-65 microcomputer*, The Review of Scientific Instruments, Vol.51, N°10, 1980
- [25] J.G. Zorning, J.F. Clarke, *A High Speed Microprogrammed System for Generation and Acquisition of Signals*, The Review of Scientific Instruments, Vol.44, N°9, 1973
- [26] K. Etenadi, E. Pfender, *Computer-Controlled Plasma Emission Spectroscopy*, The Review of Scientific Instruments, Vol.53, N°2, 1982
- [27] F.L. Curzon, *A Control System for Superimposed High Speed Photographic Records*, The Review of Scientific Instruments, Vol.41, N°2, 1970
- [28] J.D.G. Rather et al., *New Methods for Derivation of Plasma Light Data From Television Apparatus*, The Review of Scientific Instruments, Vol.42, N°9, 1971
- [29] M.J. Levine, R.L. Chase, *Electronic Correction of Digitizer Errors*, The Review of Scientific Instruments, Vol.41, N°9, 1970
- [30] J.L. Michan, *Control System for Maintaining a Langmuir Probe at Plasma Potential*, The Review of Scientific Instruments, Vol.48, N°9, 1977
- [31] R.S. Lowder, K.I. Thomassen, *Model of Kink Modes and Their Feedback Stabilisation*, The Physics of Fluids, Vol.16, N°9, 1973



- [32] J. Hugill, *Feedback Stabilisation of MHD Instabilities in Tokamaks*, Plasmas Physics, Vol.16, N°12, 1974
- [33] Ian G. Brown, et al., *Feedback-Controlled Steady-State Plasma*, Plasma Physics, Vol.13, N°1, 1970
- [34] D.B. Ilic, K.J. Harker, *Evaluation of Plasma-Wave Spectral density from Cross-Power Spectra*, The Review of Scientific Instruments, Vol.46, N°9, 1975
- [35] Atsushi Ogata, Kiyokata Matsuura, *On-Line Correlation Measurement in a Plasma*, The Review of Scientific Instruments, Vol.45, N°9, 1974
- [36] F.A. Kirsten, *Computer Interfacing for High-Energy Physics Experiments*, Annual Review of Nuclear Science, Vol.25, 1975
- [37] K.J. Kao, S.S. Bauji, M.M. Perlman, *Interfacing a Data Acquisition System to a Computer for On-Line Analysis*, The Review of Scientific Instruments, Vol.51, N°11, 1980
- [38] M. Gerassimenko et al., *Instrument for Synchronising Plasma Diagnostics Measurements with Tokamak Internal Disruptions*, The Review of Scientific Instruments, Vol.53, N°4, 1982
- [39] K. Takenenchi, T. Mogel, *Performance Evaluation of a Minicomputer*, The Review of Scientific Instruments, Vol.46, N°6, 1975
- [40] J.G. Denne, *Advanced Fission and Fossil Economics – Implications for Fusion*, Fusion Technology, Vol 26, n°3, Part 2, 1994
- [41] A.G. Dikii et al., *R.F. Plasma Heating in the URAGAN Stellarator – I. Wave Launching and Plasma Heating*, Plasma Physics, Vol. 18, N°8, 1976
- [42] A.G. Dikii et al., *R.F. Plasma Heating in the URAGAN Stellarator – II. Thermal Isolation and Particle Containment*, Plasma Physics, Vol. 18, N°8, 1976
- [43] H.J. Gardner, *Comments on Stability Properties of the URAGAN-2M Torsatron*, Fusion Technology, Vol.21, N°231, 1993
- [44] K. Boyer et al., *Studies of Plasma Heated in a Fast-Rising Axial Magnetic Field (Scylla)*, The Physical Review, Vol. 119, 1960
- [45] C.A. Ekdahl, *Neutron Diagnostics for Pulsed High Density Thermonuclear Plasmas*, Review of Scientific Instruments, Vol.50, N°8, 1979
- [46] J.A. Murphy, *PLT data Acquisition and Analysis System*, Review of Scientific Instruments, Vol.57, N°8-II, 1986

- [47] H. Van der Beeken et al., *CODAS: The JET Control and Data Acquisition System*, Fusion Technology, Vol.11, N°1, 1987.
- [48] M. Korten, B. Becks, R. Klein, *TEXTOR Diagnostic Data Acquisition and Processing in a Distributed System Environment*, IEEE transactions on Nuclear Science, Vol. 39, N°2, 1999
- [49] N.R. Santhoff, R.E. Daniels, *TFTR Diagnostics and Control Data Acquisition System*, Review of Scientific Instruments, Vol.56, N°5 (Part II), 1985
- [50] L.Randerson et al., *TFTR Data Management System*, Review of Scientific Instruments, Vol.57, N°8 (Part II), 1986
- [51] K.R. Schultz et al., *The Fusion Applications Study – “FAME”*, Fusion Technology, Vol.10, N°3 (Part 2B), 1986
- [52] G. Grieger et al., *Effect of Rational Transform on Ohmically Heated Plasma in W IIb Stellarator*, Plasma Physics, Vol.15, N°2, 1973
- [53] W.A. Ranch, *TFTR CAMAC Data Acquisition System*, Review of Scientific Instruments, Vol.57, N°8, 1986
- [54] E.M. Jones, *Status of the JET Control and Data Acquisition System CODAS*, Nuclear Instruments and Methods, Vol.A247, 1986
- [55] V. Schmidt, *The Development of the JET Control and Data Acquisition System*, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol.45, N°4 (Part I), 1998
- [56] R. Kaita et al., *Diagnostic for Real-Time Plasma Control in PBX-M*, Review of Scientific Instruments, Vol.66, N°1 (Part II), 1995
- [57] T.W. Fredian, J.A. Stillerman, M. Greenwald, *Data Acquisition System for ALCATOR C-Mod*, Review of Scientific Instruments, Vol.68, N°1 (Part II) 1997
- [58] D.N. Butner et al., *MTX Data Acquisition and Analysis Computer Network*, Review of Scientific Instruments, Vol.61, N°10 (Part II), 1990
- [59] T. Kimura, *VME and Network Application for JT-60U Control System*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research (Section A), Vol. 352, N°12, 1994
- [60] B. Carvalho, *O Sistema de Controlo e Aquisição de Dados do Tokamak ISTTOK*, Instituto Superior Técnico, 1995
- [61] J. Sousa, *Aspectos Operacionais do Sistema de Controlo e Aquisição de Dados do Tokamak ISTTOK*, Instituto Superior Técnico, 1995

- [62] J. Villasenor, B. Hutchings, *The Flexibility of Configurable Computing*, IEEE Signal Processing Magazine, Vol.15, N°5, 1998
- [63] B. Fawcett, *FPGAs as Reconfigurable Processing Elements*, IEEE Circuits and Devices Magazine, Vol.12, N°2, 1996
- [64] R. Katz et al., *Current Radiation Issues for Programmable Elements and Devices*, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol.45, N°6 (Part 1), 1998
- [65] I. Chiba et al., *Digital Beam Forming (DBF) Antenna System for Mobile Communications*, IEEE Aerospace and Electronics Systems Magazine, Vol.12, N°9, 1997
- [66] W.T. Sullivan III et al., *A New Major SETI Project Based on Project Serendip Data and 100.000 Personal Computers*, Proceedings of the Fifth International Conference on Bioastronomy, 1997
- [67] G.J. McArdle et al., *The Mast Plasma Control System*, Presented at 20<sup>th</sup> Symposium on Fusion Technology (SOFT), Marseille, France, 1998
- [68] W. Westfeldt, *New Internet Reconfigurable Logic for Creating Web-enabled Devices*, Xcell, N° 31, 1999
- [69] W. Westfeldt, *Silicon Xpresso and Internet Reconfigurable Logic*, Xcell, N°32, 1999
- [70] D.C. Doughty Jr., et al., *A Massive Parallel Track-Finding System for the Level 2 Trigger in the CLAS Detector at CEBAF*, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol.41, N°1 (Part 1), 1994
- [71] Xilinx Inc., *1999 Xilinx Data Book*, Xilinx Inc., 1999
- [72] Altera Corp., *1999 Device Data Book*, Altera Corp., 1999
- [73] A. Bindra, *Precision Op Amps Adopt Digital Techniques*, Electronic Design, June 26, 1999
- [74] J.G. Eldredge, B.L. Hutchings, *Run-Time Reconfiguration: A Method for Enhancing the Functional Density of SRAM-Based FPGAs*, Journal of VLSI Signal Processing, Volume 12, 1996.
- [75] J.D. Hadley, B. L. Hutchings, *Designing a partially reconfigured system*, Field Programmable Gate Arrays (FPGAs) for Fast Board Development and Reconfigurable Computing, John Schewel, Editor, Proc. SPIE 2607

- [76] Michael J. Wirthlin, *Improving Functional Density Through Run-time Circuit Reconfiguration*, PhD Thesis, Brigham Young University, Electrical and Computer Engineering Department, 1997
- [77] J.G. Eldredge, B.L. Hutchings, *RRANN: The Run-Time Reconfiguration Artificial Neural Network*. *Custom, Integrated Circuits Conference*, San Diego, California, 1994
- [78] Comlinear, *1995 Data Book Supplement*, Comlinear (National Semiconductors), 1995
- [79] S. Redmile, D. Ridge, *HDTV Rate Image Processing on the Altera FLEX 10K*, On Proceedings of 'DSP in Practice Conference', 1996
- [80] C. F. M. Loureiro et al., *A 1 GSPS VME Data Acquisition Module*, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 43, N°1, Feb. 1995
- [81] R. Terrill, *Digital Telephony in Programmable Logic*, Electronic Engineering Times, November, 1996
- [82] M. Langhammer, C. Crome, *Image Processing in Altera Flex 10K*, On Proceedings of 'DSPx Conference', 1996
- [83] D. Greenfield, C. Crome, *Improving Fixed-Point DSP Processor System Performance with PLDs as DSP Coprocessor*, on Proceedings of 'HP Design Supercon', 1997
- [84] M. Langhammer, C. Crome, *Automated FFT Processor Design*, On Proceedings of 'ICSPAT-International Conference on Signal Processing Applications & Technology, 1996
- [85] J. Sousa et al., *The 32 Bit Timing Unit of a Real-Time Event-Based Control System for a Nuclear Fusion Experiment*, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 45, N°4, 1998
- [86] W. M. Stacey Jr., *International Tokamak Reactor (INTOR)*, Fusion Technology, Vol.10, N°3 (Part 2A), 1986
- [87] Kim Tai, et al., *Plasma Data Acquisition with a Macintosh*, The Review of Scientific Instruments, Vol.59, N°6, 1988
- [88] W.R. Wing, et al., *ATF Data Acquisition System*, The Review of Scientific Instruments, Vol.59, N°8, 1988

- [89] J.K. Koehue, *Realisation of a Second Level Neural Network Trigger for H1 Experiment at HERA*, Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A, Vol.389, N°1-2
- [90] G. Gratta, *A Fast Programmable Trigger for Pattern Recognition*, Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A, Vol.400, N°2-3
- [91] E.S. Kuh, T. Ohtsuki, *Recent Advances in VLSI Layout*, Proceedings of the IEEE, Vol.78, N°2, 1990
- [92] D.V. Plant et al., *An Optical Backplane Demonstrator System Based on FET-SEED Smart Pixel Arrays and Diffractive Lenslet Arrays*, IEEE Photonics Technology Letters, Vol.7, N°9, 1995
- [93] H.H. Cat, M. Lee, B. Buchanan, *Silicon VLSI Processing Architectures Incorporating Integrated Optoelectronic Devices*, Proceedings of the 16<sup>th</sup> Conference on Advanced Research in VLSI, Chapel Hill, March 1995
- [94] J. Depreitere et al., *Optoelectronic 3-D Field-Programmable Gate Array*, Lecture Notes in Computer Sciences, Vol.849, Springer-Verlag, 1994
- [95] M. Vasilko, D. Ait-Boudaoud, *Optically Reconfigurable FPGAs: Is this a Future Trend?*, Lecture Notes in Computer Sciences, Vol.1142, Springer-Verlag, 1996
- [96] P. Bellows, B. Hutchings, *JHDL – And HDL for Reconfigurable Systems*, Proceedings of the IEEE Symposium on Field Programmable Custom Computing Machines, April 1998
- [97] DIN 41612; IEC 603-2 connectors; (IEC 297-3 e DIN 41494 rack)
- [98] 1014-1987 IEEE Standard for a Versatile Backplane Bus: VMEbus
- [99] B. Hubbard-Nelson, M. Mowayezi, W.K. Warburton, *A Module for Energy and Pulse Shape Data Acquisition*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A, Vol.422, N°1-3, 1999
- [100] J.D. Hadley, B.L. Hutchings, *Designing a Partially Reconfigured System*, Field Programmable gate Arrays (FPGAs) for Fast Board Development and Reconfigurable Computing, Proceedings SPIE 2607, 1995
- [101] P.H. rebut, *Issues in the Development of a Commercial Fusion Reactor*, Transactions of Fusion Technology, Vol.27, April 1995
- [102] G. J. McArdle et al., *The Mast Plasma Control System*, Apresentado na 20<sup>th</sup> Symposium on Fusion Technology (SOFT), Marseille, France, 1998

- [103] W. Hui, B. Bamieh, G.H. Miley, *Robust Burn Control of Fusion reactors With Modulation of Refuelling Rate*, Fusion Technology, Vol.26, N°3 (Part2), 1994
- [104] V.S. Mukhovatov, *ITER Operation and Diagnostics*, The Review of Scientific Instruments, Vol.61, N°10 (Part II), 1990
- [105] W. Redpath, *Safety Guidelines for the Design of the Next-Generation Tokamak Fusion Machines*, Fusion Technology, Vol.10, N°3 (Part2-B), 1986
- [106] J.R. Zagel, L.J. Chapman, *Smarter Systems:Smarter Diagnostics*, Nuclear Instruments & Methods, Vol.A247, 1986
- [107] J.R. Ferron, E.J. Strait, *Real Time Analysis of Tokamak Discharges Parameters*, The Review of Scientific Instruments, Vol.63, N°10 (Part 2), 1992
- [108] M.J. Koskelo, I.J. Koskelo, B. Sielatt, *Comparison of Analog and Digital Signal Processing Systems Using Pulsers*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A, Vol.422, N°1-3, 1999
- [109] T.K. Fowler, *The Fusion Quest*, Johns Hopkins University Press, London, 1997
- [110] J.A. Paisner, E.M. Campbell, W.J. Hogan, *The National Ignition Facility Project*, Fusion Technology, Vol.26, N°3 (Part 2), 1994
- [111] S. Nakai, *Implosion Experiment by GEKKO XII and Scaling to Ignition and Burn*, Fusion Technology, Vol.26, N°3 (Part 2), 1994
- [112] B.M. Van Wonterghem, *Performance of the NIF Prototype Beamlet*, Fusion Technology, Vol.26, N°3 (Part 2), 1994
- [113] P.E. Knowles, et al., *Muon catalysed fusion in 3 K solid deuterium*, Phys. Rev. A, N°56, 1997
- [114] G. Cripps, A.A. Harms, B. Goel, *Muon Catalysed Fusion Cathin-Length Extension Under Comprehensive Conditions*, Transactions of Fusion Technology, Vol.20, N°4 (Part 2), 1991
- [115] F. Turanciol, *Cold Fusion is Confirmed*, Transactions of Fusion Technology, Vol.20, N°4 (Part 2), 1991
- [116] M. Rabinowitz, et al., *Opposition and Support for Cold Fusion*, Transactions of Fusion Technology, Vol.26, N°4T (Part 2), 1994

## *REFERÊNCIAS NA INTERNET*

- <http://www.altera.com> -- Altera Corporation (EUA)
- <http://www.cadence.com> -- Cadence Design Systems, Inc., (EUA)
- <http://www.cfn.ist.utl.pt> -- Centro de Fusão Nuclear – IST (Portugal)
- <http://fusion.gat.com> -- General Atomics Fusion Group (EUA)
- <http://www.iaea.org> -- International Atomic Energy Agency, (IAEA)
- <http://www.ipp.mpg.de> -- Max-Planck-Institut für Plasmaphysik – IPP  
(Alemanha)
- <http://www.iter.eu> -- International Thermonuclear Reactor, (ITER)
- <http://www.jaeri.go.jp> -- Japan Atomic Energy Research Institute – JAERI  
(Japão)
- <http://www.jet.uk/> -- Joint European Torus – JET (UK)
- <http://www.jedec.org> -- Joint Electron Device Engineering Council
- <http://www.kiae.ru> -- I. V. Kurchatov Institute (Rússia)
- <http://www.lanl.gov> -- Los Alamos National Laboratory – LANL (EUA)
- <http://www.llnl.gov> -- Lawrence Livermore National Laboratory – LLNL  
(EUA)
- <http://www.ukaea.org.uk> -- United Kingdom Atomic Energy Authority - UKAEA  
(UK)
- <http://www.vhdl.org> -- VHDL International
- <http://www.vita.com> -- VMEbus International Trade Association
- <http://www.xilinx.com> -- Xilinx, Inc (EUA)