



PLANO DE TRABALHO

PROJETO PARA BOLSA PÓS-DOCTORADO – EDITAL 6

Nome do(a) Bolsista: **Iberê Souza Ribeiro Junior**

Código do Projeto vinculado: **2020.06.IPEN.36**

DESCRIÇÃO DO PROJETO

Título do Projeto

Avaliação das respostas de dispositivos eletrônicos submetidos à radiação.

Prazo Execução (meses): 36

Objetivo Geral

O objetivo geral do presente projeto é a caracterização do Beam Hole 3 (BH3) de do reator IEA-R1 para aplicações em estudos de danos de radiação em dispositivos eletrônicos

Objetivos Específicos

- revisão bibliográfica sobre caracterização de fluxo neutrônico, blindagem e danos de radiação em dispositivos eletrônicos.
- mapeamento do espectro neutrônico no BH3 em diferentes posições.
- simulação para determinação do fluxo neutrônico no BH3.
- Simulações por monte Carlo para desenvolvimento da blindagem do aparato experimental
- Confecção/otimização da blindagens para o aparato experimental.
- Desenvolvimento/adaptação do aparato experimental para o objetivo geral desse trabalho.
- escrita de um resumo para submissão em revistas.
- co-orientação de mestrado e orientação de iniciação científica.
- organização dos materiais de consumo do laboratório e para utilização de equipamentos.

Palavras-chave

- 1 – danos por nêutrons em sistemas eletrônicos
- 2 – sistemas eletrônicos
- 3 – irradiação com nêutrons
- 4 –FPGA (Field Programmable Gate Array)
- 5 – Fotomultiplicadoras de silício (SiPMs)

Metas Físicas

- 1 – Desenvolvimento de metodologias para mapeamento do fluxo neutrônico
- 2 – Determinação do espectro neutrônico no BH3
- 3 – Desenvolvimento/áprimoramento da blindagem do experimento
- 4 –Irradiação de FPGA e SiPMs
- 5 – Conclusão dos resultados, escrita do relatório, artigo e congresso.



PLANO DE TRABALHO

PROJETO PARA BOLSA PÓS-DOUTORADO – EDITAL 6

Justificativa Resumida:

Atualmente existe uma demanda crescente por estudos de danos em sistemas eletrônicos causados pela incidência de radiação. Isso se deve principalmente a dois fatos: o aumento do uso de sistemas eletrônicos em ambientes sujeitos a radiações e a tendência de miniaturização dos componentes eletrônicos, que os torna mais vulneráveis aos efeitos das radiações.

Os nêutrons, em particular, estão presentes em reatores de potência e pesquisa, em aceleradores de partículas, na altitude de voos comerciais e em tratamentos com radioterapia. Nestes ambientes, falhas ou mal funcionamento causados por radiação em sistemas e componentes eletrônicos críticos podem ter consequências catastróficas.

Este projeto está relacionado à exploração do potencial que o reator IEA-R1 tem de fornecer feixes de nêutrons em várias faixas de energia e raios gama para a realização de testes de danos por irradiação. Nesta proposta pretende-se adaptar a estrutura existente no beam hole número 3 (BH-3) do reator IEA-R1 para adequá-lo à irradiação de sistemas eletrônicos com fluxo de nêutrons ou misto também com raios gama. As implementações previstas deverão permitir irradiações controladas em tempo, com feixes caracterizados em intensidade e energia. Também estão previstos desenvolvimentos de sistemas de bancada e softwares adequados para os testes dos sistemas expostos à radiação.

CRONOGRAMA FÍSICO

META FÍSICA 1 - Desenvolvimento de metodologias para mapeamento do espectro neutrônico

ATIVIDADES:	INDICADOR FÍSICO DE EXECUÇÃO	Duração Prevista	
		Início	Fim
revisão bibliográfica para sobre o assunto	relatório	1	36
Determinação do fluxo neutrônico em uma posição específica no núcleo do reator.	relatório	1	4
Aprendizado sobre métodos de deconvolução de espectro neutrônico.	relatório	1	18
Determinação do espectro neutrônico obtidos com monitores de fluxo por meio de deconvolução	relatório	3	7
testes iniciais no BH-3	relatório	5	10

META FÍSICA: 2 - Determinação do espectro neutrônico no BH3

ATIVIDADES:	INDICADOR FÍSICO DE EXECUÇÃO	Duração Prevista	
		Início	Fim
Aquisição de aferidores de fluxo.	prestação de contas	5	7
Medidas experimentais do fluxo neutrônico no BH-3 em diferentes posições.	Artigo	5	17



PLANO DE TRABALHO

PROJETO PARA BOLSA PÓS-DOCTORADO – EDITAL 6

tratamento estatístico dos dados obtidos no BH-3	relatório	6	20
Estudo do software STAYSL	comparação com os resultados experimentais	5	17
Publicação	Submissão de artigo	9	12

META FÍSICA: 3 - Desenvolvimento/aprimoramento da blindagem do experimento e adaptação do arranjo experimental

ATIVIDADES:	INDICADOR FÍSICO DE EXECUÇÃO	Duração Prevista	
		Início	Fim
Estudo de Monte Carlo Realização de simulações por método de Monte Carlo para desenvolvimento/aprimoramento da blindagem do experimento	relatório	6	18
Estudo de melhorias/adaptação para o arranjo experimental	relatório	10	13
Compra dos equipamentos da blindagem e adaptação do arranjo experimental	Prestação de contas	8	24
Implementação das melhorias no sistema de blindagem e irradiação	Fotos	8	24

META FÍSICA: 4 -

ATIVIDADES:	INDICADOR FÍSICO DE EXECUÇÃO	Duração Prevista	
		Início	Fim
Desenvolvimento de metodologias para estudo de danos em dispositivos eletrônicos	relatório	9	18
Determinação de danos em dispositivos eletrônicos	Artigo	12	36
Determinação de danos em dispositivos SiPMs	Artigo	12	36

META FÍSICA: 5 - Conclusão dos resultados, escrita do relatório, artigo e congresso.

ATIVIDADES:	INDICADOR FÍSICO DE EXECUÇÃO	Duração Prevista	
		Início	Fim
escrita do primeiro relatório	relatório	10	12
escrita do segundo relatório	relatório	22	24
entrega do terceiro relatório	relatório	34	36
congresso	aceite do resumo	24	36
Divulgação dos resultados obtidos e metodologias desenvolvidas	artigos	15	36



PLANO DE TRABALHO

PROJETO PARA BOLSA PÓS-DOUTORADO – EDITAL 6

Resultados Esperados

1 - Desenvolvimento de metodologias eficazes para estudo de danos de nêutrons em dispositivos eletrônicos e SiPMs

2 - caracterização do fluxo neutrônico no BH3

3 - Tornar o BH3 mais seguro para trabalho com os estudos de blindagem

4 -Desenvolvimento de softwares para os estudos

5 - Estudos paralelos com outros centros relacionados com fluxo de nêutrons caracterizados

6 -

7 -

8 -

9 -

10 -

Grau de Inovação (se houver):

O estabelecimento desse estudo originará uma nova e atual linha de pesquisas no reator IEA-R1 será possível e como consequência novos usuários serão atraídos uma vez que essa área está despertando interesse de instituições como INPE, USP, FEI, força aérea do Brasil, exército do Brasil, dentre outras.

Bibliografia:

- [1] T.C. May and M.H. Woods. A new physical mechanism for soft errors in dynamic memories. In Proc. IEEE Int. Rel. Phys. Symp. (IRPS) pages 33–40, 1978.
- [2] Tino Heijmen, Radiation-induced soft errors in digital circuits - A literature survey, Nat.Lab. Unclassified Report 2002/828, Philips Electronics Nederland BV, 2002.
- [3] CHIELLE, EDUARDO ; ROSA, FELIPE ; RODRIGUES, GENNARO S. ; TAMBARA, LUCAS A. ; TONFAT, JORGE ; MACCHIONE, EDUARDO ; AGUIRRE, FERNANDO ; ADDED, NEMITALA ; MEDINA, NILBERTO ; AGUIAR, VITOR ; SILVEIRA, MARCILEI A. G. ; OST, LUCIANO ; REIS, RICARDO ; CUENCA-ASENSI, SERGIO ; KASTENSMIDT, FERNANDA L. . Reliability on ARM Processors Against Soft Errors Through SIHFT Techniques. IEEE Transactions on Nuclear Science, v. 63, p. 1-9, 2016.
- [4] Medina, N. H.; AGUIAR, VITOR A. P. ; ADDED, N.; AGUIRRE, F. R. ; MACCHIONE, E. L. A. ; Alberton, S.G. ; SILVEIRA, M. A. G.; Benfica, J. ; VARGAS, FABIAN ; Porcher, B. . Experimental Setups for Single Event Effect Studies. Journal of Nuclear Physics, Material Sciences, Radiation and Applications, v. 4, p. 13-23, 2016.
- [5] PRADO, ADRIANE CRISTINA MENDES ; Pereira, Marlon Antonio ; FEDERICO, C. A. ; GONÇALEZ, O. L. . Estudo de caso sobre o efeito da radiação cósmica em sistemas embarcados em aeronaves. Brazilian Journal of Radiation Sciences, v. 3, p. 01-22, 2015.
- [6] GONZALEZ, CARLOS J. ; VAZ, RAFAEL G.; OLIVEIRA, MATHEUS B. ; LEORATO, VICENTE W. ; GONCALEZ, ODAIR L. ; BALEN, TIAGO R. . TID Effects on a Data Acquisition System with Design Diversity Redundancy. IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, v. 65, p. 1-1, 2017.
- [7] N. Seifert, Radiation-induced Soft Errors: A Chip-level Modeling Perspective, Foundations and Trends in Electronic Design Automation, vol 4, nos 2-3, pp 99-221, 2010.
- [8] International Electrotechnical Commission. Process management for avionics – Atmospheric radiation effects – Part 5: Guidelines for assessing thermal neutron fluxes and effects in avionics systems. TECHNICAL SPECIFICATION IEC/TS 62396-5. Edition 1.0 2014-08. (ISBN 978-2-8322-1821-1).
- [9] Bouhali M., Shamani F., Dahmane Z.E., Belaidi A., Nurmi J. (2017) FPGA Applications in Unmanned Aerial Vehicles - A Review. In: Wong S., Beck A., Bertels K., Carro L. (eds) Applied Reconfigurable Computing. ARC 2017. Lecture Notes in Computer Science, vol 10216. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-56258-2_19
- [10] L. Rockett, D. Patel, S. Danziger, B. Cronquist and J. J. Wang, "Radiation Hardened FPGA Technology for Space Applications," 2007 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, 2007, pp. 1-7, doi: 10.1109/AERO.2007.353098.
- [11] C. C. W. Robson, A. Boussselham and Bohm, "An FPGA- Based General-Purpose Data Acquisition Controller," in IEEE Transactions on Nuclear Science, vol. 53, no. 4, pp. 2092-2096, Aug. 2006, doi: 10.1109/TNS.2006.878698.
- [12] Krzysztof T Pozniak, FPGA-based, specialized trigger and data acquisition systems for high-energy physics experiments, Measurement Science and Technology 21, 062002, 2010 <https://doi.org/10.1088/0957-0233/21/6/062002>

- [13] C. M. Laymon, R. S. Miyaoka, B. K. Park and T. K. Lewellen, "Simplified FPGA-based data acquisition system for PET," 2002 IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, Norfolk, VA, USA, 2002, pp. 704-707 vol.2, doi: 10.1109/NSSMIC.2002.1239421.
- [14] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of Field Programmable Gate Arrays in Instrumentation and Control Systems of Nuclear Power Plants, Nuclear Energy Series No. NP-T-3.17, IAEA, Vienna (2016).
- [15] M. Wirthlin, E. Johnson, N. Rollins, M. Caffrey and P. Graham, "The reliability of FPGA circuit designs in the presence of radiation induced configuration upsets," 11th Annual IEEE Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines, 2003. FCCM 2003., Napa, CA, USA, 2003, pp. 133-142, doi: 10.1109/FPGA.2003.1227249.
- [16] L. Rockett, D. Patel, S. Danziger, B. Cronquist and J. J. Wang, "Radiation Hardened FPGA Technology for Space Applications," 2007 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, 2007, pp. 1-7, doi: 10.1109/AERO.2007.353098.
- [17] V. A. P. Aguiar et al, Experimental setup for Single Event Effects at the São Paulo 8UD Pelletron Accelerator, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research B, 332, pp. 397-400 (2014). doi: 10.1016/j.nimb.2014.02.105
- [18] Cappuzzello, F., Agodi, C., Carbone, D. et al. Eur. Phys. J. A (2016) 52: 167. doi: 10.1140/epja/i2016-16167-1
- [19] Lo Presti, D. et al, Neutron radiation effects on an electronic system on module, Review of Scientific Instruments 91, 083301 (2020). doi: 10.1063/5.0010968
- [20] D. Renker, E. Lorenz. Advances in solid state photon detectors. Journal of Instrumentation 4 (2009) 4004. doi: 10.1088/1748-0221/4/04/P04004.
- [21] F. Acerbi, S. Gundacker. Understanding and simulating SiPMs. Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 926 (2019) 16–35. doi: 10.1016/j.nima.2018.11.118
- [22] F. Simon. Silicon photomultipliers in particle and nuclear physics. Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 926 (2019) 85–100. doi: 10.1016/j.nima.2018.11.042
- [23] M. G. Bisogni, A. Del Guerra, N. Belcari. Medical applications of silicon photomultipliers. Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 926 (2019) 118–128. doi: 10.1016/j.nima.2018.10.175
- [24] A.I. Arkhangelskiy, I.V. Arkhangelskaj, J. Merphi, M.F. Runtso, V.S. Timoshin. The application of SensL silicon photomultipliers in GAMMA-400 satellite project. Physics Procedia 74 (2015) 390 – 393. doi:10.1016/j.phpro.2015.09.205.
- [25] V. Bindi, A. Del Guerra, G. Levi, L. Quadrani, C. Sbarra. Preliminary study of silicon photomultipliers for space missions. Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 572 (2007) 662-667. doi: 10.1016/j.nima.2006.12.011.



- [26] M.C. Vignali, E. Garutti, R. Klanner, D. Lomidze, J.Schwandt. Neutron irradiation effect on SiPMs up to $\phi_{\text{neq}} = 5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$. Nucl. Instrum. Meth Phys Res A 912 (2018) 37—139. doi: 10.1016/j.nima.2017.11.003
- [27] S. Mianowski, J. Baszak, Y.M. Gledenov, Y.N. Kopatch, Z. Mianowska, M. Moszynski, P. Sibczynski, T. Szczesniak. Study of MPPC damage induced by neutrons. Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 906 (2018) 30–36. doi: 10.1016/j.nima.2018.07.080.
- [28] Yi Qiang, Carl Zorn, Fernando Barbosa, Elton Smith. Radiation hardness tests of SiPMs for the JLab Hall D Barrel calorimeter. Nuclear Inst. and Methods in Physics Research A 698 (2013) 234–241. doi: 10.1016/j.nima.2012.10.015
- [29] T. Tsang, T. Rao, S. Stoll, C. Woody. Neutron radiation damage and recovery studies of SiPMs. Journal of Instrumentation 11 (2016) P12002. doi:10.1088/1748-0221/11/12/P12002
- [30] E. Garutti, Yu. Musienko. Radiation damage of SiPMs. Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 926 (2019) 69–84. doi: 10.1016/j.nima.2018.10.191.
- [31] R.P.M. Carvalhaes, D.A.B. Bonifácio, M. Moralles. Position Sensitive Detectors Mounted with Scintillators and Silicon Photomultipliers In: XXXIII BRAZILIAN WORKSHOP ON NUCLEAR PHYSICS, 2012, Campos do Jordão. AIP Conference Proceedings. New York, USA: American Institute of Physics, v.1351 (2011) 202 – 206
- [32] H.M. Murata, M. Moralles, D.A.B. Bonifácio. Evaluation of digital methods for energy calculation and timing pick-off in positron emission tomography. Journal of Instrumentation 13 (2019) P09024. doi: 10.1088/1748-0221/13/09/P09024
- [33] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) - IEEE Standard for VHDL Language Reference Manual / IEEE 1076-2019 (2019).