

Estudo e Desenvolvimento da Arquitetura de Detector de Partículas Espaciais de Alta Energia para Órbita Baixa.

Daniel Umaña Salinas, Márcio Afonso Arimura Fialho, Silvio Manea, Juliano de Quadro Moreira
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – (INPE), São José dos Campos/SP – Brasil

Resumo — Danos por radiação são uma das principais causas de falha de componentes eletrônicos em satélites artificiais. O monitoramento em tempo real da radiação a que estão expostos os satélites artificiais é importante para a posterior investigação de falhas e sua correlação com as doses de radiação. Neste pôster, se descreve uma revisão dos conceitos dos componentes a serem utilizados para propor Arquitetura de um detector de Partículas Espaciais de Alta Energia para Órbita Baixa, tendo como objetivo realizar um mapeamento do ambiente espacial, para proteger os equipamentos eletrônicos que compõem os satélites expostos à radiação ionizante. A região alvo é a órbita baixa onde se observa um grande fluxo de partículas carregadas energéticas que podem ocasionar danos nos componentes eletrônicos dos satélites. Esse estudo tem como propósito permitir a escolha da melhor topologia para o desenvolvimento de um detector de partículas carregadas, de baixo custo, que será projetado para detectar partículas e poder discriminar sua energia.

Palavras-Chave – Detector de partículas; Detectores de radiação; Satélite clima espacial; Cinturão de Van Allen; órbita baixa; transistores RadFET; Fotodiodo PIN.

I. INTRODUÇÃO

Os satélites que são lançados e colocados em órbita estão expostos ao ambiente de radiação espacial, que pode ter efeitos graves na eletrônica dos componentes dos satélites [1], portanto, é importante o monitoramento contínuo da radiação presente nesse ambiente, para uma posterior investigação de falhas, permitindo o desenvolvimento de técnicas de mitigação e técnicas de blindagem melhores. A radiação no espaço é um fator crítico. Uma forma de resolver essa dificuldade é realizar um estudo constante para posteriormente desenvolver componentes para serem tolerantes ou resistentes à radiação presente no espaço. A eletrônica utilizada nos satélites tem exigências diferentes, pois são constantemente expostos à radiação de diferentes fontes, como ventos solares e exposição aos raios cósmicos. Devido ao impacto repetido das partículas a vida útil dos componentes e consequentemente dos satélites será reduzida [1] [2]. Este estudo tem como objetivo desenvolver um detector de partículas embarcado em um satélite de pequeno porte que irá permitir monitorar *in loco* o fluxo de prótons e outras partículas.

II. METODOLOGIA

A metodologia utilizada partiu da proposição do desenvolvimento de uma arquitetura para de um detector de radiação de partículas energéticas (prótons e íons) destinado ao mapeamento da radiação existente no ambiente espacial, em especial, com foco em missões em órbita baixa e na região da zona de anomalia do Atlântico Sul, como é o caso das missões do INPE. A análise detalhada do funcionamento do detector começa com uma revisão dos conceitos e funcionamento dos componentes que o constituem, seguida por uma análise operacional dos detectores atualmente disponíveis no mercado, para fazer uma comparação das arquiteturas utilizadas no espaço, o que pode levar à escolha da arquitetura e modelagem da topologia a ser estudada e avaliada, que visa medir e mapear a quantidade de íons de alta energia e prótons presentes em missões de baixa órbita.

TABELA I. EXEMPLOS DE RADFETS. FONTE: Adaptado de MANEA, S., MOREIRA, J., SILVA, M., & BARBOSA, A. [10].

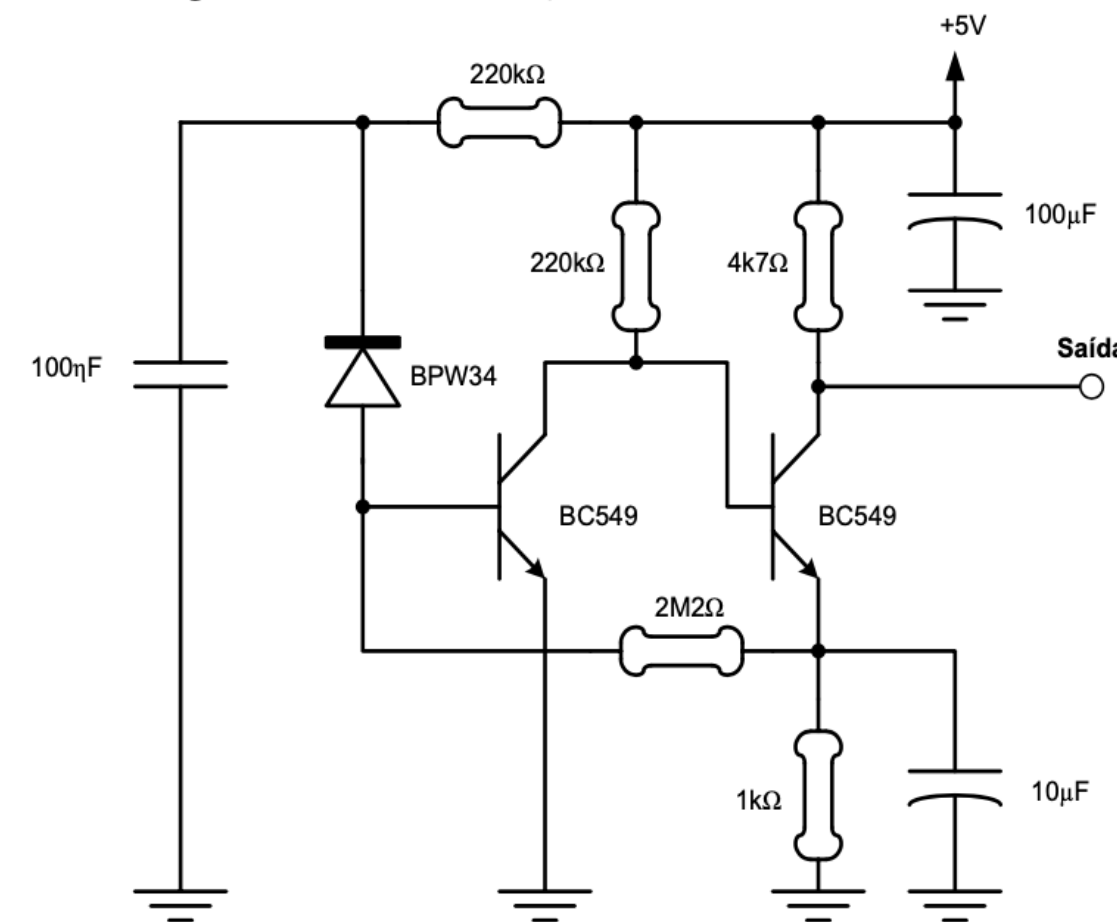
REM	Oxido de <i>gate</i> com espessura de 300 nm;
RFT300-CC10G1 [6]	Sensibilidade de 1,5 mV / cGy e um invólucro praticamente transparente à radiação; Adequado para muitos feixes de radiação e espaço. Fabricado pela Tyndall National Institute;
TY1004 (chip) [7]	Incorpora dois RadFETs idênticos com uma espessura de óxido de <i>gate</i> de 400 nm; Área ativa muito pequena (superfície de óxido de <i>gate</i>): 300 µm por 50 µm.
Transistor MOSFET LS 3N163 PMOS [8]	Tem uma sensibilidade de 33 mV / Gy no modo não polarizado e 62 mV / Gy no modo polarizado.
FGDOS (Chip) [9]	Dosímetro baseado em <i>gate</i> flutuante projetado, desenvolvido e comercializado pela iC-Málaga; Tem alta linearidade e resposta de sensibilidade adequada para aplicações espaciais.

TABELA II. EXEMPLO DE DIODOS PIN. FONTE: Adaptado de Scarpin, J. A. (2016) [5].

SFH206F	OSRAM Opto Semiconductors - Photodiode PIN Chip 850nm 0.62A/W Sensitivity 2-Pin T-1 3/4 T/R - Silicon-PIN-Photodiode with Daylight Filter
BN11F	Usado em pesquisas acadêmicas, mas sem mais informações até o momento
L14G1	Onsemi - SENSOR PHOTO 880NM TOP TO206AA
BPW34	Vishay Intertechnologies - Photodiode PIN Chip 900nm 2-Pin
BPX61	OSRAM Opto Semiconductors - Photodiode PIN Chip 850nm 0.62A/W Sensitivity 2-Pin TO-5
BPV11F	Intertechnologies - Phototransistor IR Chip Silicon 930nm 2-Pin T-1 3/4
XRA24	Usado em pesquisas acadêmicas, mas sem mais informações até o momento

A. Detectores de radiação. Um detector transforma a energia proveniente da radiação num sinal elétrico, esta resposta está relacionada com a quantidade de radiação incidente no detector [5]. A taxa de radiação incidente e a variação do tempo de resposta determina a eficiência do detector. Esta eficiência é normalmente chamada eficiência intrínseca, que depende do circuito eletrônico utilizado para capturar e analisar o sinal do detector [5]. Serão empregados **RadFETs**, que são transistores de efeito de campo (MOSFET), otimizados para medição de dose total acumulada e **fotodiodos de silício tipo PIN** (junção PN com uma camada intrínseca entre as regiões P e N) para medição da energia das partículas incidentes. Fotodiodos PIN oferecem uma boa sensibilidade a várias formas de radiação, sendo comumente usados como detectores [6] [11].

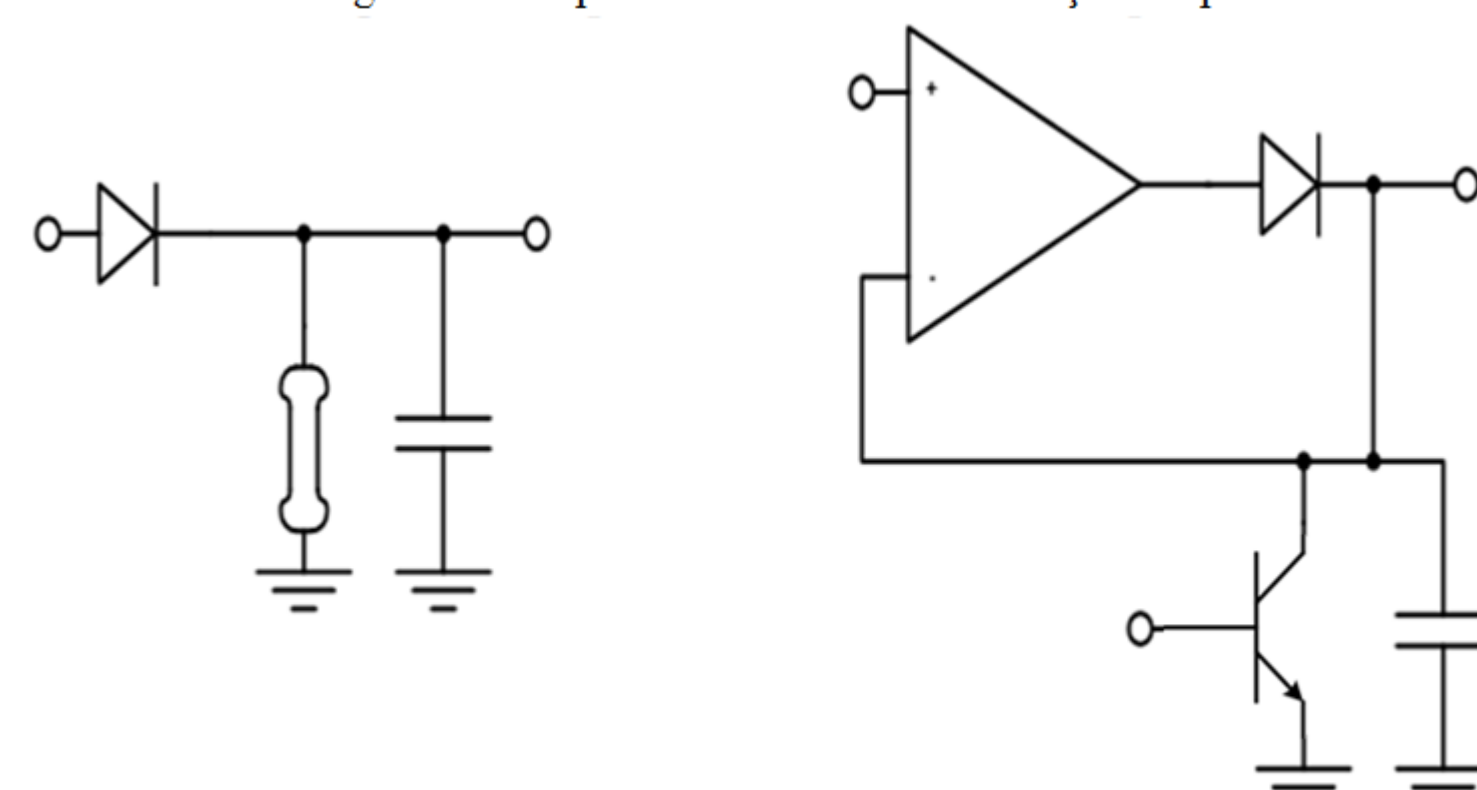
Fig. 1. Circuito de detecção com fotodiodo BPW34.



FONTE: Adaptado de Klosowski, A. (2019, 25 março). [11].

A Figura 1 apresenta um exemplo de circuito de detecção. Neste circuito, um sinal proveniente do fotodiodo PIN chaveia o primeiro transistor para condução, levando o segundo transistor ao corte, o que por sua vez leva a saída para nível lógico alto. Resumindo, ele indica a detecção do diodo PIN que aciona um sinal na saída. Isso pode ser usado para indicar que existe uma detecção que pode ser lida [5].

Fig. 2 - Exemplos de circuitos de detecção de pico



FONTE: Autor

Os circuitos apresentados na Fig. 2 são exemplos de circuitos detectores de pico. O da esquerda é mais simples, já o da direita permite se compensar a queda de tensão no diodo detector de pico e contém um transistor de *reset*, que é acionado quando se deseja preparar o circuito para uma nova leitura [15].

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa bibliográfica realizada no início do estudo mostrou ser possível construir um detector de radiação de baixo custo usando fotodiodos PIN e RADFETs [5, 6, 10 e 12].

A Figura 3 apresenta um diagrama em blocos do instrumento proposto. A eletrônica de proximidade será responsável por condicionar e digitalizar pulsos provenientes das partículas que atingem os fotodiodos PIN e as tensões presentes nos RADFETs. Estes dados são enviados a um microprocessador, responsável por formatar e enviar essas leituras para o subsistema de TM&TC ou para o computador de bordo do satélite. As detecções de partículas pelos fotodiodos serão datadas, de forma a possibilitar o reconhecimento da posição na órbita em que ocorreram as detecções, o que é importante para fazer um mapeamento da região da Anomalia do Atlântico Sul e de outras regiões de interesse. Já os RADFETs serão usados como dosímetros, permitindo a medição da dose total acumulada em função da espessura de blindagem.

A figura 4 apresenta o conceito da estrutura física do sistema de detecção. A presença de três placas empilhadas, cada uma com seu fotodiodo, permite se obter uma discriminação melhor da energia das partículas do que seria possível com um único fotodiodo, já que o número de fotodiodos atravessados por uma mesma partícula dependerá da sua energia. O colimador restringe o ângulo de incidência das partículas, diminuindo a ambiguidade na determinação da energia das partículas incidentes devido à incerteza do ângulo de incidência dessas partículas nos fotodiodos.

IV. CONCLUSÃO

Foi apresentada a concepção de um instrumento detector de partículas com capacidade de medir a energia das partículas incidentes usando componentes de baixo custo. O sistema também incluirá RADFETs como dosímetros. A decisão se serão incluídos na mesma caixa ou em uma caixa à parte será tomada futuramente, após a realização de estudos mais aprofundados.

Agradecimentos: Agradecemos à CAPES, ao INPE e ao Projeto CITAR/FINEP pelos recursos oferecidos.

REFERÊNCIAS

- Stassinopoulos, E. G., & Raymond, J. P. (1988). The space radiation environment for electronics. *Proceedings of the IEEE*, 76(11), 1423-1442.
- Reeves, G. D., Spence, H. E., Henderson, M. G., Morley, S. K., Friedel, R. H. W., Funsten, H. O., ... & Niehof, J. T. (2013). Electron acceleration in the heart of the Van Allen radiation belts. *Science*, 341(6149), 991-994.
- Tavares, F. O., Manea, S., & Alves, L. R. Estudo comparativo de topologias para desenvolvimento de instrumento detector de elétrons e prótons de alta energia para aplicação espacial em satélites.
- Claro, L. H., & Santos, J. A. (2005). Danos de Radiação em Componentes Eletrônicos nas Aplicações Aeroespaciais. In *International Nuclear Atlantic Conference-INAC*.
- Scarpin, J. A. (2016). Detector de raios X baseado no diodo pin (tese de mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).
- Manea, S., Moreira, J., Silva, M., & Barbosa, A. CCRAD-CUBESAT'S COTS RADIATION DETECTOR.
- Klosowski, A. (2019, 25 março). Detector de radiação - reformulação do circuito. *clubedohardware*. Acessado em 8 de setembro de 2022, <https://www.clubedohardware.com.br/forum/topic/1363505-detector-deradia%C3%A7%C3%A3o-reformula%C3%A7%C3%A3o-do-circuito/>
- Enlitech. (2022, 29 junho). Photodiodes Characterization Brief Introduction and Guidance ». We Enlighten Your Ideas! Enlitech. Acessado em 22 de julho de 2022 de https://enlitechology.com/blog/pdf/photodetector_01/.
- Boyd, A. J., Turner, D. L., Reeves, G. D., Spence, H. E., Baker, D. N., & Blake, J. (2018). What causes radiation belt enhancements: A survey of the Van Allen Probes Era. *Geophysical Research Letters*, 45(11), 5253-5259.
- Picozza, P., Battiston, R., Ambrosi, G., Bartocci, S., Basara, L., Burger, W. J., ... & Zoffoli, S. (2019). Scientific goals and in-orbit performance of the high-energy particle detector on board the CSES. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 243(1), 16.
- Mendonça, E. G., & Gonzalez, O. L. (2022). A simple model of the accumulation of trapped ionization charges for RADFET dosimeters Um modelo simples de acumulação de cargas de ionização retidas para dosímetros RADFET. *Brazilian Journal of Development*, 8(4), 28753-28759.
- Martins, J. F. T. (2011). Desenvolvimento do cristal semiconductor de iodeto de mercúrio para aplicação como detector de radiação (tese de doutorado, Universidade de São Paulo).
- Crook, M. R. (2009). NPS CubeSat launcher design, process and requirements. *NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL MONTEREY CA*
- Soto, Carlos, Serra, Angel, Medrano, Alberto KiCad, Software Livre para Modelagem de Placas de Circuito Impresso para Desenvolvimento de Hardware. *Ciência e Engenharia* [online]. 2017, 38(2), 177-186 [Data da consulta 6 de setembro de 2022]. ISSN: 1316-7081. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507555007010>