



**Franciele Braga Machado Túllio  
Lucio Mauro Braga Machado  
(Organizadores)**

# **A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias 4**

**Atena**  
Editora  
Ano 2020





**Franciele Braga Machado Túllio  
Lucio Mauro Braga Machado  
(Organizadores)**

# **A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias 4**

**Atena**  
Editora  
Ano 2020



2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação:** Geraldo Alves

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>a</sup> Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>a</sup> Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof<sup>a</sup> Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

A642 A aplicação do conhecimento científico nas engenharias 4 [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Braga Machado Túllio, Lucio Mauro Braga Machado. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020. – (A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias; v. 4)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-911-0

DOI 10.22533/at.ed.110201301

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovação. I. Túllio, Franciele Braga Machado. II. Machado, Lucio Mauro Braga. III. Série.

CDD 620.0072

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

A obra “Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias 4” apresenta dezesseis capítulos em que os autores abordam pesquisas científicas e inovações tecnológicas aplicadas em diversas áreas de engenharia.

A pesquisa científica é a principal ferramenta para produzir conhecimento e inovação para uso da sociedade.

Esta obra apresenta diversos textos científicos que abordam temas ligados a engenharia aeroespacial, que buscam melhorar materiais, equipamentos e métodos aplicáveis a evolução nessa área do conhecimento.

Diversas aplicações da matemática, estatística e computação também são exploradas pelos pesquisadores nesta obra.

Esperamos que o leitor se deleite nas pesquisas selecionadas e que estas possam contribuir para a produção de ainda mais pesquisas. Boa Leitura!

Franciele Braga Machado Túllio  
Lucio Mauro Braga Machado

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1</b> .....   | <b>1</b>  |
| A RELEVÂNCIA DA PRODUÇÃO ACADÊMICA E PESQUISA CIENTÍFICA NO ENSINO SUPERIOR DOS CURSOS DE ENGENHARIA                    |           |
| Fabiano Battemarco da Silva Martins<br>Patrícia Guedes Pimentel<br>Marcelo de Jesus Rodrigues da Nóbrega                |           |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.1102013011</b>  |           |
| <b>CAPÍTULO 2</b> .....   | <b>17</b> |
| APLICATIVO DEDICADO AO DIMENSIONAMENTO DE PARAQUEDAS  |           |
| Rafael Andrade E Silva<br>Maurício Guimarães da Silva   |           |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.1102013012</b>  |           |
| <b>CAPÍTULO 3</b> .....   | <b>26</b> |
| APLICAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS NA SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA PRODUÇÃO E EXPORTAÇÃO DE SOJA NO ESTADO DO TOCANTINS ATÉ 2025 |           |
| Laina Pires Rosa<br>Leandra Cristina Crema Cruz<br>Pedro Alexandre da Cruz  |           |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.1102013013</b>  |           |
| <b>CAPÍTULO 4</b> .....   | <b>39</b> |
| APPROACH PROPOSAL FOR CRITICAL SOFTWARE PROCESSES SELECTION FOR SPACE PROJECTS IN VERY SMALL ENTITIES (VSE)             |           |
| Gledson Hernandes Diniz<br>Ana Maria Ambrosio<br>Carlos Henrique Netto Lahoz<br>Benedito Massayuki Sakugawa             |           |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.1102013014</b>  |           |
| <b>CAPÍTULO 5</b> .....   | <b>48</b> |
| APRIMORAMENTO DE UM MÉTODO DE PREDIÇÃO DA CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS MILITARES E ESPACIAIS              |           |
| Carlos Eduardo da Silva Santos<br>Ana Paula de Sá Santos Rabello<br>Marcelo Lopes de Oliveira e Souza                   |           |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.1102013015</b>  |           |
| <b>CAPÍTULO 6</b> .....   | <b>57</b> |
| CADEIA DO QUEROSENE DE AVIAÇÃO NO BRASIL EM UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA   |           |
| Pedro Henrique Beghelli<br>Josiane do Socorro Aguiar de Souza Oliveira Campos<br>Maria Vitória Duarte Ferrari           |           |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.1102013016</b>  |           |

**CAPÍTULO 7 ..... 77**

**CORTADOR DE GRAMA AUTOMATIZADO**

João Vitor Silveira Cercená  
Ana Carolina Marcelo da Silva  
Luiz Gustavo de Souza Soares  
Vaime Trescher de Moraes Junior

**DOI 10.22533/at.ed.1102013017**

**CAPÍTULO 8 ..... 86**

**EFEITO DA ADIÇÃO DE 0,15%ZR E DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL NA LIGA AL-6%MG NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS**

Beatriz Seabra Melo  
Natália Luiza Abucater Brum  
Vinicius Silva dos Reis  
Victor Lima Melo  
Mateus José Araújo de Souza  
Carlos Vinicius de Paes Santos  
Marielle Maria Medeiros Vital  
Adriano Aleixo Rodrigues  
Denyson Teixeira Almeida  
Altino dos Santos Fonseca  
Emerson Rodrigues Prazeres  
José Maria do Vale Quaresma

**DOI 10.22533/at.ed.1102013018**

**CAPÍTULO 9 ..... 99**

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DO AMBIENTE ORGANIZACIONAL DE UMA EMPRESA DE EQUIPAMENTOS DA ÁREA DE SAÚDE**

Larissa de Carvalho  
Daniele Martins de Almeida  
Rubya Vieira de Mello Campos  
Rony Peterson da Rocha

**DOI 10.22533/at.ed.1102013019**

**CAPÍTULO 10 ..... 110**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA PARA O EMPREGO DE MADEIRAS “ALTERNATIVAS” EM ESTRUTURA TRELIÇADA (BANZOS PARALELOS) PARA COBERTURA (TELHADO DE AÇO – INCLINAÇÃO 10°), COM VÃOS ENTRE 16 A 26 METROS**

Allan Christian Alves da Luz  
Roberto Vasconcelos Pinheiro  
André Luís Christoforo  
Francisco Antônio Rocco Lahr

**DOI 10.22533/at.ed.11020130110**

**CAPÍTULO 11 ..... 125**

**METODOLOGIA DE PESQUISA PARA ENGENHARIAS**

Ricardo Junior de Oliveira Silva  
Dayse Mendes  
Jéssika Alvares Coppi Arruda Gayer

**DOI 10.22533/at.ed.11020130111**



|  |            |
|--|------------|
| <b>CAPÍTULO 12</b> .....   | <b>132</b> |
| PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO: UMA VISÃO GERAL DOS MÉTODOS DE SOLUÇÃO   |            |
| Márcia de Fátima Moraes<br>Rony Peterson da Rocha<br>Larissa de Carvalho   |            |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.11020130112</b>  |            |
| <b>CAPÍTULO 13</b> .....   | <b>147</b> |
| SATELLITE TELEMETRY AND IMAGE RECEPTION WITH SOFTWARE DEFINED RADIO APPLIED TO SPACE OUTREACH PROJECTS IN BRAZIL                     |            |
| David Julian Molano Peralta<br>Douglas Soares dos Santos<br>Auro Tikami<br>Walter Abrahão dos Santos<br>Edson Wander do Rego Pereira |            |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.11020130113</b>  |            |
| <b>CAPÍTULO 14</b> .....   | <b>165</b> |
| SISTEMA DE IDENTIFICAÇÃO DE ACESSO EM AMBIENTE ESCOLAR PARA CONTROLE DE SEGURANÇA  |            |
| Gleison Stopassola<br>Alexandre Dalla'Rosa   |            |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.11020130114</b>  |            |
| <b>CAPÍTULO 15</b> .....   | <b>174</b> |
| TESTE EM COMPONENTE CRÍTICO DE USO ESPACIAL: ENSAIO DE DOSE IONIZANTE TOTAL, (TID - TOTAL IONIZING DOSE) EM TRANSISTORES 2N2222A     |            |
| Bruno Carneiro Junqueira<br>Silvio Manea<br>Rafael Galhardo Vaz<br>Odair Lelis Gonzalez  |            |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.11020130115</b>  |            |
| <b>CAPÍTULO 16</b> .....   | <b>185</b> |
| UM BREVE ESTUDO SOBRE AS CÔNICAS E SUAS APLICAÇÕES   |            |
| Wendell de Queiróz Lamas<br>Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia   |            |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.11020130116</b>  |            |
| <b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....  | <b>199</b> |
| <b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....  | <b>200</b> |

## TESTE EM COMPONENTE CRÍTICO DE USO ESPACIAL: ENSAIO DE DOSE IONIZANTE TOTAL, (TID - TOTAL IONIZING DOSE) EM TRANSISTORES 2N2222A

Data de aceite: 03/12/2019

### **Bruno Carneiro Junqueira**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
São José dos Campos – São Paulo

### **Silvio Manea**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
São José dos Campos – São Paulo

### **Rafael Galhardo Vaz**

Instituto de Estudos Avançados  
São José dos Campos – São Paulo

### **Odair Lelis Gonzalez**

Instituto de Estudos Avançados  
São José dos Campos – São Paulo

**RESUMO:** Uma séria dificuldade para sistemas espaciais é a radiação, provocando efeitos de curto e longo prazo em sistemas e componentes eletrônicos. Para uso destes componentes são necessários testes de radiação. Os resultados de testes referentes a Dose Ionizante Total Acumulada em um componente crítico de uso espacial são analisados e comparados com os limites aceitos de acordo com informações técnicas do fabricante do componente, avaliando como se comportaria no ambiente espacial.

**PALAVRAS-CHAVE:** Transistor 2N2222A; Dose Ionizante Total Acumulada; Ambiente Espacial; Componente de Satélite.

### SPACE CRITICAL COMPONENT TESTING: TOTAL IONIZING DOSE (TID) TESTE ON 2N2222A TRANSISTORS

**ABSTRACT:** A serious difficulty for space systems is radiation, causing short- and long-term effects on electronic systems and components. For use of these components radiation tests are required. Test results for accumulated total ionizing dose in a critical component of spatial use are analyzed and compared to accepted limits according to the component manufacturer's datasheet, assessing how it would behave in the space environment.

**KEYWORDS:** 2N2222A Transistor; TID - Total Ionizing Dose; Space Environment; Satellite Component.

## 1 | INTRODUÇÃO

No ambiente espacial os componentes estão expostos a grandes taxas de radiação, e devem suportá-las por toda sua vida operacional. Portanto tais componentes devem ser resistentes à radiação, no nível necessário para atender a missão na qual estão sendo utilizados, durante o tempo de vida do satélite na órbita escolhida.

Para tal comprovação são realizados testes de irradiação no componente, onde o teste TID (Dose Ionizante Total Acumulada) e teste SEE (Efeitos de Evento Único) são testes fundamentais pois os efeitos são potencialmente destrutivos ao componente durante a vida operacional do satélite em órbita. Para mitigar estes danos são utilizadas técnicas de projeto do tipo topologias duplicadas, códigos corretores de erros e blindagens.

Cada vez mais se tem o interesse em componentes de prateleira COTS (*Commercial-Off-the-Shelf*), por já estarem disponíveis para a aquisição e serem em alguns casos os mais modernos no mercado. Porém é um risco utilizá-los sem saber ao certo suas particularidades para operação em ambiente espacial, principalmente qual a sua resistência a radiação. Com a aquisição de um lote, são selecionadas algumas amostras para a realização de testes cujo resultado determinará a resistência média destes componentes.

Esse trabalho apresenta os resultados de testes de radiação em um transistor de tecnologia bipolar com uma dose acumulada de 150 Krads(Si) em uma taxa de dose de 1 krad/h. O objetivo deste ensaio foi investigar sua tolerância aos efeitos da TID na qual o componente estará submetido quando operado em ambiente espacial.

## 2 | DISCUSSÃO

O espaço é um ambiente hostil e possui algumas características próprias, as principais são radiação, degaseificação, vácuo, microgravidade, oxigênio atômico e variações drásticas de temperatura. O sistema deve ser o mais confiável possível devido a impossibilidade de se fazer algum reparo no sistema depois de lançado. Durante a fabricação devem ser eliminados ou mitigados todos os riscos possíveis.

Por esta razão todas as atividades espaciais são cercadas de muito cuidado, uma falha pode representar o fim da missão. Para todo o processo de desenvolvimento do sistema espacial, deve-se ter um controle rigoroso do atendimento dos requisitos. Cada componente deve atender as especificações para a integração no sistema.

A falha de um simples componente, como transistor abordado neste trabalho, dependendo de qual for a criticidade deste, pode resultar em grandes problemas para o sistema. Por este fato, deve-se assegurar que tal componente terá um desempenho de acordo com o projetado.

### 2.1 Ambiente espacial (radiação)

O Planeta Terra tem duas principais proteções contra a radiação do espaço, o campo magnético e a atmosfera. O ambiente de radiação espacial varia drasticamente com a altitude, latitude e longitude da órbita e ao decorrer do tempo. A característica geográfica mais proeminente para as órbitas baixas da Terra

é a Anomalia do Atlântico Sul, que é uma área de excepcional densidade de prótons que cobre grande parte da América do Sul e do Oceano Atlântico Sul.

Os sistemas espaciais e seus componentes eletrônicos associados estão expostos ao fluxo de partículas energéticas por todo seu período de operação. Essas partículas incluem elétrons, fótons, prótons e íons pesados. Basicamente provenientes do Sol por vento solar, erupções solares e ejeções de massa coronal ou do espaço profundo por raios cósmicos galácticos.

As partículas de baixa energia, normalmente provenientes do vento solar, acabam presas no campo magnético terrestre, passando a ter um movimento em espiral ao redor das linhas de campo. Estas partículas se concentram em duas regiões chamadas de cinturões de Van Allen interno e externo. Os elétrons se concentram no cinturão mais externo e os prótons por serem mais energéticos se concentram no cinturão mais próximo da Terra, onde o campo magnético é forte o suficiente para capturá-los. Os elétrons presos tem energia de até 7MeV enquanto que os prótons até algumas centenas de MeV (GUSEV, 2003). A Figura 1 ilustra o cinturão de Van Allen, relacionando as órbitas Geoestacionária (GEO - *Geosynchronous Earth Orbit*), média (MEO - *Medium Earth Orbit*) e baixa (LEO - *Low Earth Orbit*).

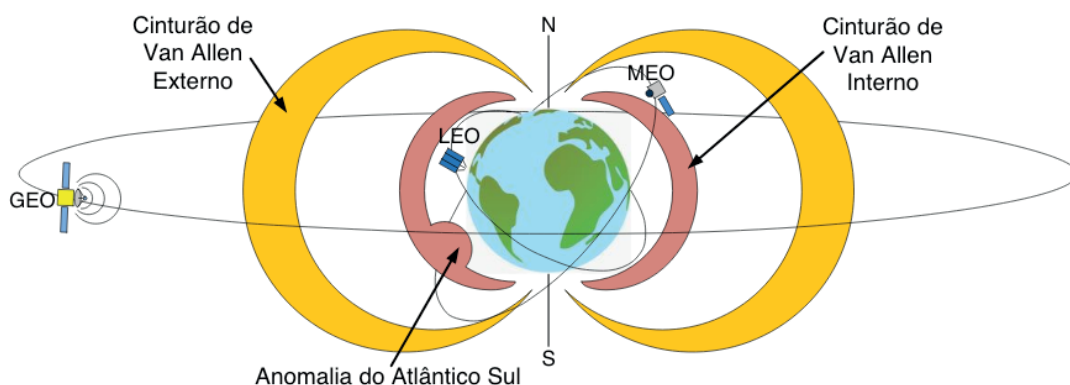


Figura 1: Representação do Cinturão de Van Allen.

Fonte: Autores.

Os cinturões de Van Allen criam uma proteção contra a radiação abaixo deles, porém sistemas espaciais que estão próximos ou em seu interior sofrem drasticamente com suas partículas.

Dependendo da energia da partícula, do seu número de massa e número atômico, causa diferentes efeitos no material que está colidindo. São divididos em três tipos descritos a seguir.

### **Efeito ionizante de longo prazo**

Este efeito está relacionado ao TID (*Total Ionizing Dose*) que representa o total de radiação ionizante absorvido pelo componente. A dose é medida ao longo do tempo que o material ficou exposto a esta radiação, e a consequência é a mudança

das suas características paramétricas.

As partículas ao atingirem o componente, ionizam o material, gerando pares elétrons-lacunas. Os elétrons são rapidamente recombinados por possuírem uma mobilidade significativamente maior e atingem a região condutora devido ao campo elétrico aplicado, enquanto que as lacunas se recombinam muito lentamente nas regiões não condutoras, e ficam acumuladas nesta região. A medida que se tem mais bombardeamento de partículas, há o aumento de lacunas aprisionadas no componente. A Figura 2 ilustra este mecanismo.

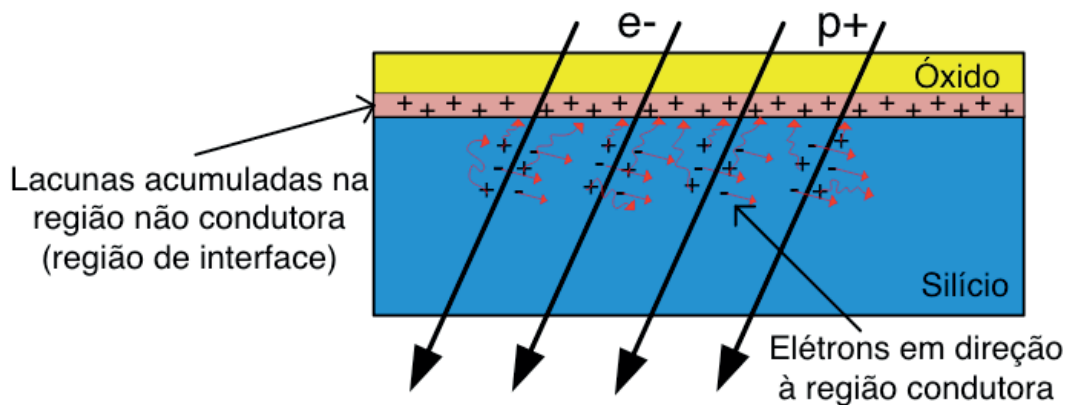


Figura 2: Esquema representativo da Dose Ionizante Total (TID).

Fonte: Autores.

A região não condutora foi dimensionada para que ocorra um salto de corrente a partir de uma determinada tensão. À medida que essas cargas vão aumentando no material, é equivalente a uma polarização permanente retida no isolante e portanto a tensão de disparo reduz, ou seja, ocorre um desvio de parâmetros do componente eletrônico, aumentando a corrente de fuga, reduzindo a imunidade ao ruído e ocorrendo falha funcional (TODD, 2015).

Em componentes antigos (cuja a escala é maior) o acúmulo de carga leva mais tempo para apresentar efeitos relacionados à TID. Já para componentes modernos (menores em escala), não se tem espaço físico suficiente para o acúmulo dessas cargas. A tendência tecnológica de diminuição do tamanho dos componentes, torna os efeitos da TID desprezíveis. Mas para a radiação que causa efeito de evento único esse efeito é considerado importante, podendo gerar falhas como será visto a seguir.

### Efeitos não ionizantes de longo prazo

Denominado de Dose de Dano de Deslocamento (DDD - *Displacement Damage Dose*) corresponde a uma quebra de estrutura cristalina do semiconductor, devido ao impacto de prótons, normalmente presos no cinturão de Van Allen, degradando o material a longo prazo, sem que ocorra ionização. A energia gerada pelas partículas incidentes é suficiente apenas para deslocar um átomo da estrutura cristalina (TODD,

2015). A Figura 3 ilustra este mecanismo.

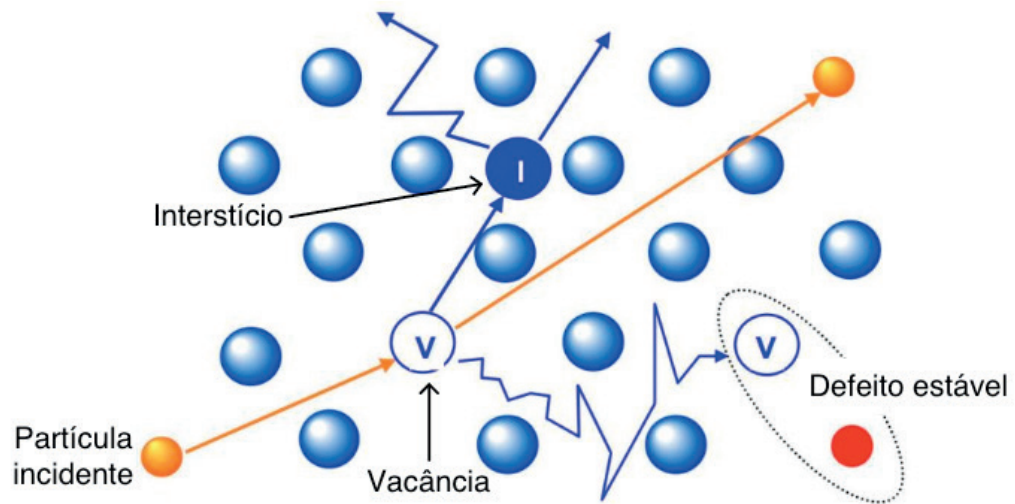


Figura 3: Esquema representativo da Dose de Dano de Deslocamento (DDD).

Fonte: Poivey, 2017.

### Efeitos ionizantes de curto prazo

Chamado de efeitos de evento único (SEE - *Single Event Effect*), ocorrem com o impacto de uma partícula, raio cósmico galáctico ou próton com alta energia, transferindo sua energia ao material, produzindo uma trilha de ionização e gerando um pulso transiente de corrente (TODD, 2015). A Figura 4 ilustra este mecanismo.

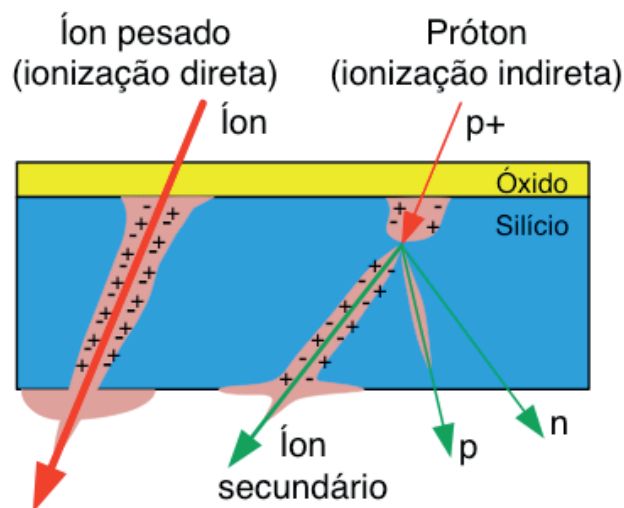


Figura 4: Esquema representativo do Efeito de Evento Único (SEE).

Fonte: Junqueira, 2019.

Testes que reproduzam o SEE tem um custo consideravelmente alto, por exigirem altos níveis de energia e equipamentos complexos e caros. Por este motivo, estes testes não são realizados com tanta frequência. Normalmente a taxa de ocorrência deste efeito é baixa, e geralmente quando não é possível realizar o teste, são inseridas mitigações que protegem o componente ao receber o transiente

de corrente.

## 2.2 Classe de componentes quanto a radiação

Normalmente os componentes eletrônicos são suscetíveis aos danos provocados pela radiação. Componentes com maior tolerância a estes efeitos possuem algumas variações de construção e fabricação, necessitando de um cuidadoso desenvolvimento e testes em radiação para verificar seu desempenho. Isso aumentando o custo e inviabilizando acompanhar os desenvolvimentos mais recentes dos componentes comerciais.

As classificações dos componentes em relação a sua resistência a radiação estão representados na Tabela 1.

| <b>Classe dos componentes</b> | <b>Resistência à Radiação</b> | <b>Orbita / Tempo</b>                        |
|-------------------------------|-------------------------------|--|
| <b>Comercial</b>              | < 2 Krad                      | Não recomendado                              |
| <b>Tolerante à Radiação</b>   | < 30 Krad                     | 700 Km / ~ 4 anos                            |
| <b>Resistente à Radiação</b>  | > 100 Krad                    | Missões de longa duração ou interplanetárias |

Tabela 1: Classe de componente referente resistência à radiação.

Fonte: TODD, 2015.

A determinação da resistência à radiação, só é comprovada com testes de radiação, componentes comerciais não são submetidos a tais testes, porém alguns destes componentes podem atender aos níveis de radiação previstos em um determinado projeto e obter um bom desempenho em determinada função no tempo estipulado.

## 2.3 Transistor 2N2222A

O Transistor é um componente fundamental na eletrônica, usando o princípio de controle de corrente, funciona como amplificador ou interruptor de sinais elétricos. Constitui uma estrutura de cristais semicondutores, sendo duas camadas de cristais do mesmo tipo de dopagem intercaladas por uma camada de cristal do tipo de dopagem oposta, correspondendo a base, as camadas externas correspondem ao emissor e coletor.

Pode-se estabelecer três estados do transistor, corte, saturação e região ativa.

Na região ativa pode-se fazer o controle da corrente coletor-emissor pela injeção de corrente na base. A junção coletor-base é polarizada reversamente e a junção base-emissor é polarizada diretamente. Proporcional a corrente de base se estabelece a corrente entre os terminais de coletor-emissor, funcionando como amplificador (BOYLESTAD, 2004).

O estado de corte corresponde à faixa onde a corrente do coletor-emissor é zero, e no estado de saturação a corrente no coletor-emissor permanece máxima mesmo com variação da corrente da base. A utilização do transistor nos seus estados de saturação e corte, de modo a conduzir corrente entre emissor e coletor, é conhecido por operação de chaveamento. A Figura 5 mostra graficamente as regiões do transistor.

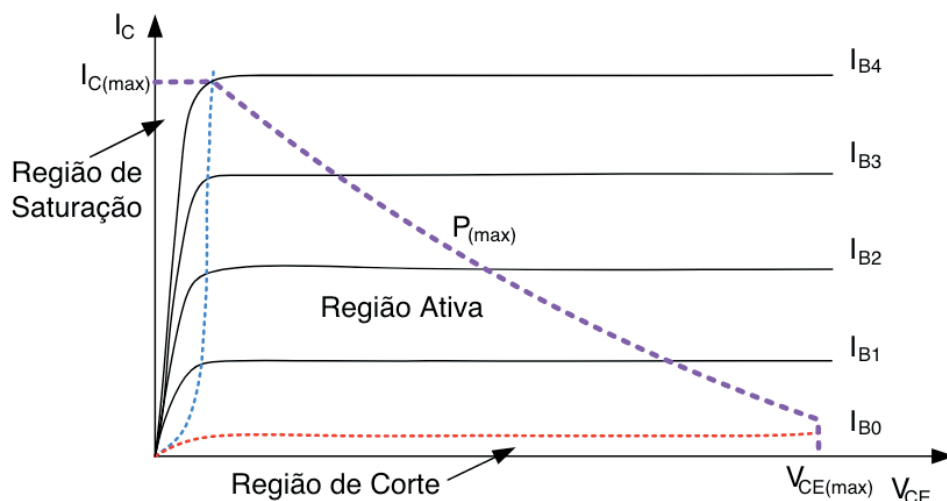


Figura 5: Regiões de operação do transistor.

Fonte: Modificado de BOYLESTAD, 2004.

O transistor analisado no presente trabalho foi o 2N2222A junção NPN, junção bipolar ou BJT (*Bipolar Junction Transistor*), e está representado na Figura 6. Este transistor é utilizado em aplicações de baixa potência, tanto como comutador (chave) como amplificador. O Datasheet desse dispositivo está representado na Tabela 2.

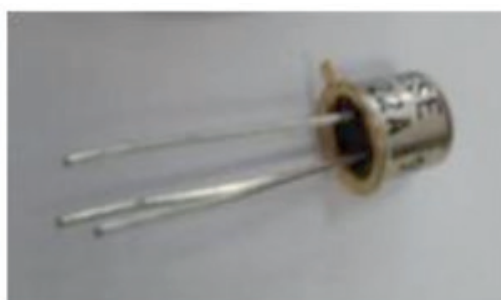


Figura 6: Transistor 2N2222A.

Fonte: Autores.

| Parâmetro                         | Símbolo   | Condição de teste   | Min. | Max.       |
|-----------------------------------|-----------|---------------------|------|------------|
| Corrente de Corte Coletor-Base    | $I_{cbo}$ | $V_{cb} = 75$ Volts |      | 10 $\mu$ A |
| Corrente de Corte Coletor-Emissor | $I_{ces}$ | $V_{ce} = 50$ Volts |      | 50nA       |
| Corrente de Corte Emissor-Base    | $I_{ebo}$ | $V_{eb} = 4$ Volts  |      | 10nA       |



|                                     |         |                             |     |     |
|-------------------------------------|---------|-----------------------------|-----|-----|
| Ganho de Corrente DC                | Hfe1    | Ic = 0.1 mA, Vce = 10 Volts | 50  |     |
|                                     | Hfe2    | Ic = 1.0 mA, Vce = 10 Volts | 75  | 325 |
|                                     | Hfe3    | Ic = 10 mA, Vce = 10 Volts  | 100 |     |
|                                     | Hfe4    | Ic = 150 mA, Vce = 10 Volts | 100 | 300 |
|                                     | Hfe5    | Ic = 500 mA, Vce = 10 Volts | 30  |     |
| Tensão de Saturação Base-Emissor    | Vbesat1 | Ic = 150 mA, Ib = 15 mA     | 0,6 | 1,2 |
|                                     | Vbesat2 | Ic = 500 mA, Ib = 50 mA     |     | 2   |
| Tensão de Saturação Coletor-Emissor | Vcesat1 | Ic = 150 mA, Ib = 15 mA     |     | 0,3 |
|                                     | Vcesat2 | Ic = 500 mA, Ib = 50 mA     |     | 1   |

Tabela 2: Datasheet do componente.

Fonte: Datasheet Microsemi.

### 3 | MÉTODO

Inicialmente, foi avaliado o comportamento dos parâmetros elétricos de 11 amostras do transistor 2N2222A. Em seguida, 5 amostras foram polarizadas na configuração ON e 5 em OFF e irradiadas, conforme a Figura 7. A peça restante ficou como amostra de controle e não foi irradiada e nem alimentada, servindo como referência para as outras amostras (Vaz, 2016).

O Experimento foi realizado nos LRI (Laboratório de Radiação Ionizante) do IEAv (Instituto de Estudos Avançados) à temperatura ambiente de  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Os transistores foram expostos à radiação gama de uma fonte de Cobalto 60, a qual possibilita a variação da taxa de dose ajustando a distância do dispositivo da fonte (Vaz, 2016).

O teste foi realizado com uma dose total acumulada de 150 krad, sendo esta aplicada em 9 etapas de irradiação. Após o término da irradiação ficaram 24h à temperatura ambiente ( $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) nas mesmas condições de polarização. Depois os transistores tiveram todos os seus terminais aterrados e expostos à  $100^{\circ}\text{C}$  durante 1 semana (168 horas) (Vaz, 2016).

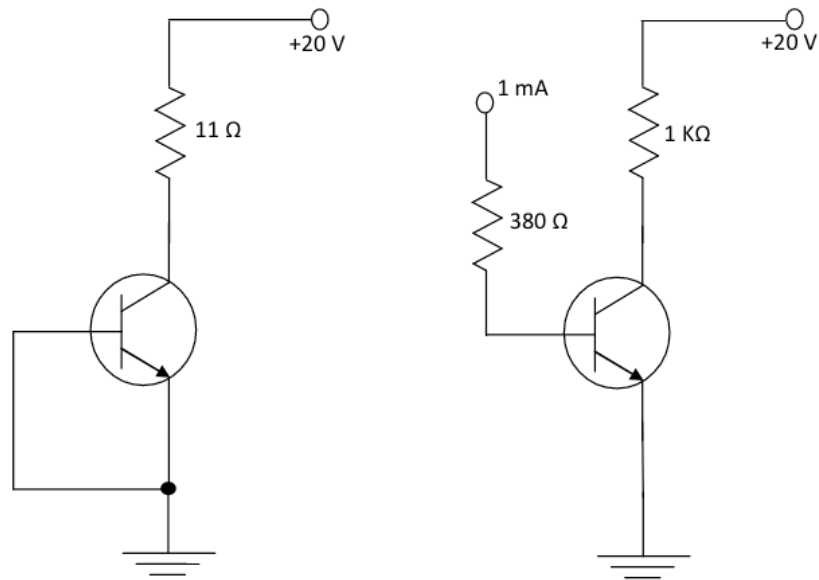


Figura 7: Polarização nas condições respectivamente OFF e ON para o ensaio TID.

Fonte: Autores.

#### 4 | RESULTADOS

Os resultados obtidos ao longo das doses de radiação e do recozimento estão representados nos gráficos a seguir, com as médias das polarizações ON e da polarização OFF, o transistor de referência e os limites dos parâmetros.

Na Figura 8 está representado o parâmetro de Corrente de Corte Emissor-Base, conforme observado, as médias dos transistores nas duas polarizações não ultrapassam o limite estipulado para o componente, também não ocorrem modificações visíveis neste parâmetro.

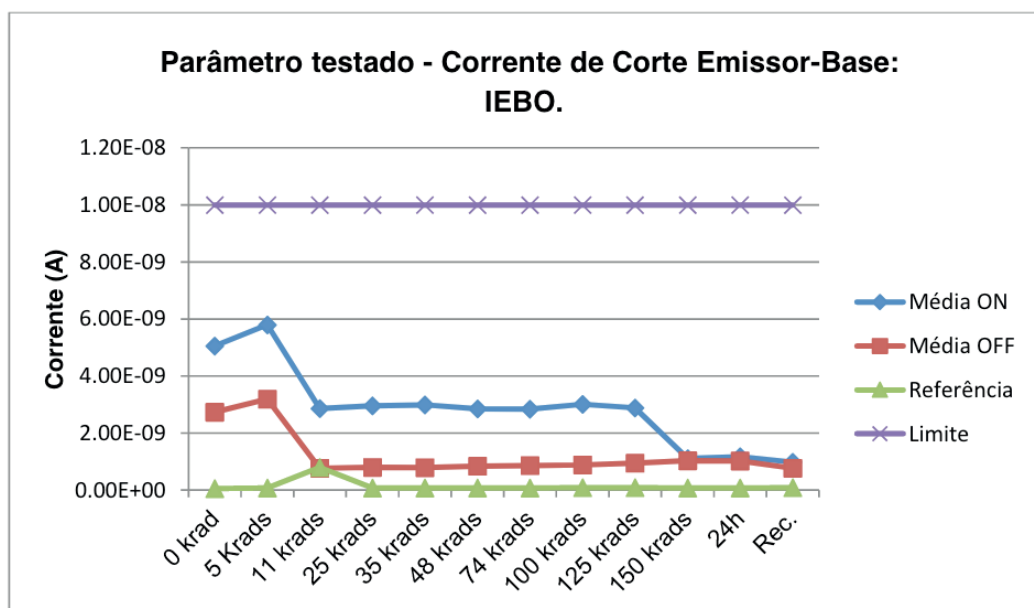


Figura 8: Gráfico do parâmetro Corrente de Corte Emissor-Base.

Fonte: Autores.

Nas situações de corrente de corte, ocorrem gráficos similares, não ultrapassando o valor limite.

Na Figura 9, está representado o parâmetro de ganho de corrente DC, onde fica claro que a medida que o componente foi recebendo dose de radiação seu ganho foi reduzindo drasticamente, no caso da média de polarização OFF depois de 11 Krads ficaram abaixo do limite, e no caso da média de polarização ON depois de 48 Krads ficaram abaixo do limite.

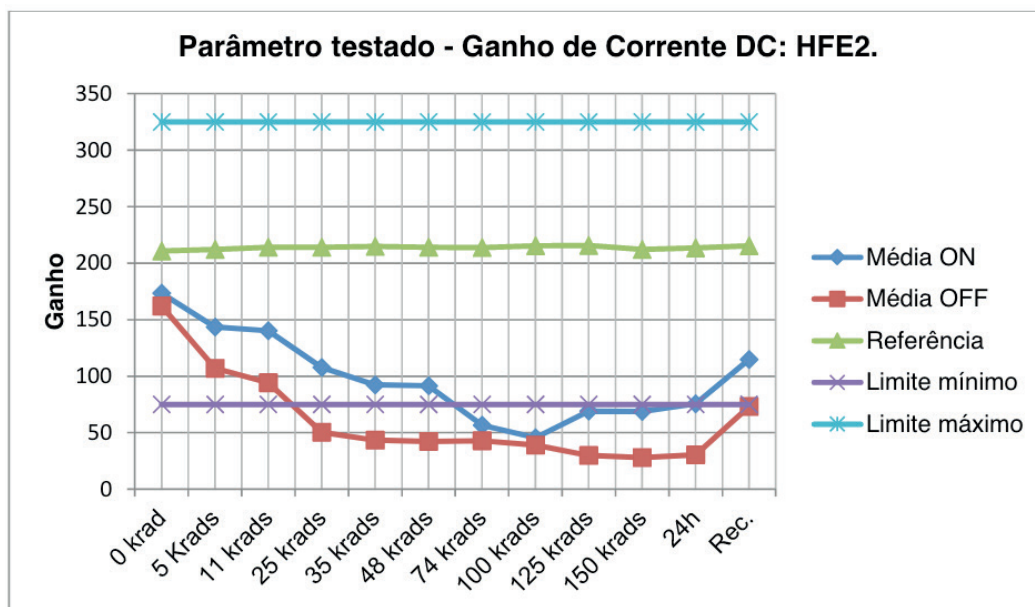


Figura 9: Gráfico do parâmetro de Ganho de Corrente DC.

Fonte: Autores.

Da mesma forma ocorreram nos demais parâmetros de Ganhos de Corrente DC, caindo abaixo do limite mínimo.

O recozimento com o transistor aterrado faz com que gradualmente o componente recupere as características paramétricas. No caso do ganho de corrente, em polarização ON houve uma recuperação parcial e em polarização OFF não houve recuperação.

Os Efeitos TID em transistores de tecnologia BJT são relacionados, principalmente, ao aumento da corrente de base. O que pode ser justificado devido ao aumento da relação geração/recombinação de cargas na base e/ou devido ao aumento da corrente de fuga para a base, especialmente quando há um óxido na superfície entre as regiões coletor-base-emissor, gerando um acúmulo de cargas nessas interfaces. Este aumento na corrente de base resulta em uma diminuição do ganho (Vaz, 2016).

## 5 | CONCLUSÃO

O presente trabalho constituiu nos testes TID realizados no transistor 2N2222A verificando como foi o comportamento dos transistores irradiados tanto ON quanto OFF, relacionados ao componente de referência e verificando os limites do datasheet.

Conforme observado, os transistores para a função de amplificadores não permaneceram de acordo com as especificações, o que demonstra que os mesmos não são tolerantes aos níveis de radiação aplicados. Porém para uso como chaves a variação dos parâmetros não interferiu significativamente na operação, demonstrando que o componente atende ao uso como chave no sistema eletrônico do satélite.

Os resultados obtidos indicam a necessidade de testes para componentes COTS e significa que estes testes de forma geral são um importante recurso para o desenvolvimento de sistemas e componentes, principalmente para a área espacial, onde a obtenção de componentes resistentes à radiação não é possível para o país.

## 6 | AGRADECIMENTOS

À CAPES pelo apoio financeiro, ao IEAv, onde foram realizados os testes e ao INPE.

## REFERÊNCIAS

BOYLESTAD, Robert L; NASHELSKY, Louis. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. 8ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

**Datasheet Microsemi 2N2222A**. Disponível em: <[https://www.microsemi.com/document-portal/doc\\_view/8898-lds-0060-datasheet](https://www.microsemi.com/document-portal/doc_view/8898-lds-0060-datasheet)> Acesso: 20 de julho de 2018.

GUSEV, A. A. et al. **Modeling of Low-altitude Quasi-trapped Proton Fluxes at the Equatorial Inner Magnetosphere**. Brazilian Journal of Physics, v. 33, n. 4, p. 7, 2003.

JUNQUEIRA, B. C. MANEA, S. **Utilização de COTS em Nano Satélites**. II Congresso Aeroespacial Brasileiro, 2019.

POIVEY, C. **TNID Total Non Ionizing Dose or DD Displacement Damage**. ESA – CERN – SCC Workshop, 2017.

TODD, B.; UZNANSKI, S. **Radiation Risks and Mitigation in Electronic Systems**. CERN, 2015.

VAZ, Rafael G.; MANEA, Silvio; GONÇALEZ, Odair L. **Relatório de Ensaio - Dose Total Acumulada (TID): Levantamento de Componentes Críticos para Uso Espacial**. IEAv/INPE. São José dos Campos - SP, 2016.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**Franciele Braga Machado Tullio** - Engenheira Civil (Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG/2006), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2009, Mestre em Ensino de Ciências e Tecnologia (Universidade Tecnológica federal do Paraná – UTFPR/2016). Trabalha como Engenheira Civil na administração pública, atuando na fiscalização e orçamento de obras públicas. Atua também como Perita Judicial em perícias de engenharia. E-mail para contato: francielebmachado@gmail.com

**Lucio Mauro Braga Machado** - Bacharel em Informática (Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG/1995), Licenciado em Matemática para a Educação Básica (Faculdade Educacional da Lapa – FAEL/2017), Especialista em Desenvolvimento de Aplicações utilizando Tecnologias de Orientação a Objetos (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/ 2008). É coordenador do Curso Técnico em Informática no Colégio Sant’Ana de Ponta Grossa/PR onde atua também como professor desde 1992, também é professor na Faculdade Sant’Ana atuando na área de Metodologia Científica, Metodologia da Pesquisa e Fundamentos da Pesquisa Científica e atua como coordenador dos Sistemas de Informação e do Núcleo de Trabalho de Conclusão de Curso da instituição. E-mail para contato: machado.lucio@gmail.com

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aerportos brasileiros 57, 58, 59, 60, 62, 63, 65, 66, 67, 68, 72, 73, 74

Álgebra linear 185

ALT 48, 49, 50

Ambiente de tarefa 99, 101, 102

Ambiente espacial 174, 175

Ambiente geral 99, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108

Automatizado 77, 78, 79, 81, 85

### B

Banco de dados 51, 57, 165, 169, 170

### C

Cadeia de distribuição 57, 66, 71

Classificação 132, 133

Clima organizacional 99, 103, 104, 105, 106, 108, 109

Componente de satélite 174

Controle de acesso 165

Cortador-de-grama 77

### D

Dimensionamento 17, 18, 22, 24, 84, 112, 115, 120, 124

Dose ionizante total acumulada 174, 175

### E

Economia 75, 77, 105, 120, 193

Eficiência 23, 77, 85, 185

### F

Física da falha 48, 49, 50, 52, 53, 54, 55

Foguete 17

### G

Geometria analítica 185, 197, 198

Ground stations 147, 148, 150

### L

LDA 48, 49, 50

Limite de resistência à tração 86, 87, 88, 92, 93, 94

## M

Metodologia científica 125, 126, 128, 129, 130, 131, 206

Métodos de pesquisa 125, 126, 129

Métodos de predição da confiabilidade 48, 52

Métodos de solução 132, 133, 138, 140, 144

Modelagem matemática 26, 28, 37, 146

Modelo de malthus 26, 31, 32, 35

Modelo de verhulst 26, 29, 31, 34, 35

## P

Panorama 70, 75, 132

Paraquedas 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25

Profiles 39, 41, 43, 46, 47

Programação da produção 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 145

## Q

Querosene de aviação 57, 58, 59, 61, 66, 69, 71, 75

## R

Refino de grãos 87

## S

Satellites 147, 148, 149, 150, 151, 152, 159, 160, 161, 162, 163, 164

Secções cônicas 185, 186, 187, 188, 197

Segurança 1, 77, 78, 79, 84, 85, 105, 115, 124, 165, 166, 167, 168, 171, 172, 206

Segurança escolar 165

Servidor web 165, 170

Software defined radio 147, 164

Software processes 39, 41, 43

Soja 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38

Space systems 147, 174

## T

Tocantins 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38

Transistor 2n2222a 174, 179, 180

## V

Vse 39, 41, 42, 46

## Z

Zircônio 86, 87, 88, 90, 97

