



**Franciele Braga Machado Túlio  
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 Patrícia Guedes Pimentel 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 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 Leandra Cristina Crema Cruz 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 Ana Maria Ambrosio Carlos Henrique Netto Lahoz 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 Ana Paula de Sá Santos Rabello 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 Josiane do Socorro Aguiar de Souza Oliveira Campos 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 Morais 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 Morais	
Rony Peterson da Rocha	
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	
Douglas Soares dos Santos	
Auro Tikami	
Walter Abrahão dos Santos	
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	
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	
Silvio Manea	
Rafael Galhardo Vaz	
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	
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>

## APRIMORAMENTO DE UM MÉTODO DE PREDIÇÃO DA CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS MILITARES E ESPACIAIS

*Data de aceite: 03/12/2019*

### **Carlos Eduardo da Silva Santos**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais –  
INPE

São José dos Campos – SP

### **Ana Paula de Sá Santos Rabello**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais –  
INPE

São José dos Campos – SP

### **Marcelo Lopes de Oliveira e Souza**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais –  
INPE

São José dos Campos – SP

**RESUMO:** A predição da confiabilidade de equipamentos eletrônicos espaciais e militares está se tornando cada vez mais complexa, uma vez que os sistemas estão se tornando cada vez mais complexos e/ou altamente integrados. Apesar da disponibilidade de diferentes métodos de predição da confiabilidade, os resultados não se mostram aceitáveis para a necessidade atual (métodos mais antigos). Outros métodos mais recentes permitem uma predição da confiabilidade mais precisa e realista. Estes são baseados na análise da física da falha, porém necessitam de investimentos maiores. O objetivo deste trabalho é selecionar e mostrar um método que permita obter resultados mais

precisos e realistas de confiabilidade, a fim de apoiar as indústrias espaciais e militares na predição de confiabilidade mais apurada dos componentes eletrônicos (EEE). Para isso, combina dados de confiabilidade de diferentes fontes/manuais, usando modelos de física da falha e/ou manual de predição da confiabilidade e/ou dados de campo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Métodos de Predição da Confiabilidade, Física da Falha, ALT, LDA.

### IMPROVEMENT OF A RELIABILITY PREDICTION METHOD FOR MILITARY AND SPACE ELECTRONIC EQUIPMENT

**ABSTRACT:** The prediction of reliability of space and military electronic equipment is becoming increasingly complex, since the systems are becoming increasingly complex and / or highly integrated. Despite the availability of different reliability prediction methods, the results are not acceptable for the current need (older methods). Other newer methods allow a more accurate and realistic reliability prediction. These are based on physics of failures analysis, but require larger investments. The objective of this paper is to select and show a method that allows more accurate and realistic results of reliability, to support space and military industries in more accurate reliability prediction of electronic components (EEE). To do this,

it combines reliability data from different sources/manuals using physics of failures models and/or reliability prediction manual and/or field data.

**KEYWORDS:** Reliability Prediction Methods, Physics of Failures, ALT, LDA.

## 1 | INTRODUÇÃO

A predição da confiabilidade de equipamentos eletrônicos espaciais e militares está se tornando cada vez mais complexa, uma vez que os sistemas estão se tornando cada vez mais complexos e/ou altamente integrados. Atualmente, os requisitos de confiabilidade para produtos e sistemas espaciais e militares estão sendo cada vez mais solicitados devido às exigências cada vez mais rigorosas por parte dos interessados (*stakeholders*). Empresas que são capazes de gerir a confiabilidade de seus produtos têm significativas vantagens comerciais e tecnológicas. Neste contexto, o problema mais recorrente no desenvolvimento do produto é a predição da confiabilidade.

Nos ramos espacial e militar existem alguns métodos para a predição da confiabilidade que são imprecisos e não realistas codificados nos manuais antigos de predição da confiabilidade de componentes eletrônicos, e/ou têm elevados custos e prazos, para dados de falhas coletados em campo ou testes de vida acelerado. Isso demonstra uma necessidade de outros métodos para a predição da confiabilidade, que tenham resultados mais precisos e realistas, com baixos custos e prazos. No entanto, isso é uma tarefa complexa especialmente para sistemas militares que possuem uma vida útil longa.

Em contrapartida, a existência de alguns métodos de predição e múltiplas fontes de dados de confiabilidade, pode ser uma vantagem para a engenharia no desenvolvimento de um novo método que seja mais preciso, mais realista e economicamente viável.

Tradicionalmente, o método para predição da confiabilidade de produtos espaciais e militares consiste em decompor o produto/sistema em combinações de subsistemas e componentes. Os componentes são analisados individualmente com os dados das múltiplas fontes ou manuais de predição da confiabilidade. As combinações dos componentes podem ser representadas em modelos lógicos de confiabilidade, como pelo Diagrama de Blocos de Confiabilidade (RBD) e/ou, se pensarmos nas falhas dos blocos, podemos representá-los em uma Árvore de Falhas (FTA). Esses tipos de modelos associados/combinados nos fornecem dados da confiabilidade de um subsistema, sistema ou produto. O resultado disso, normalmente é mais conservador, impreciso e não realista.

Um método que permite uma maior precisão e realidade é a avaliação da física da falha, utilizando os mesmos dados das múltiplas fontes ou manuais de predição

da confiabilidade como entrada para obter a taxa de falha de componentes.

Em geral as etapas para obter esses dados de confiabilidade de um componente seguindo os métodos baseados na física da falha são:

- i. Entender um determinado mecanismo de falha e desenvolver seu modelo correspondente;
- ii. Identificar aceleradores de estresse desse mecanismo de falha;
- iii. Planejar e implementar testes de vida acelerado para coletar dados de falha e validar o modelo.

Neste trabalho, será apresentado um método para melhorar a predição da confiabilidade, com resultados mais precisos e realistas que permitam reduzir o tempo, os recursos necessários e aumentar a precisão das estimativas de confiabilidade. Para isso, focaremos nos manuais de predição da confiabilidade com modelagem da física da falha.

## 2 | MÉTODOS

Para a predição da confiabilidade de produtos eletrônicos, geralmente são utilizados três métodos, são eles:

1. Consulta aos manuais de predição da confiabilidade;
2. Testes de Vida Acelerada (*Accelerated Life Tests-ALT*);
3. Análise de Dados de Vida (*Life Data Analysis-LDA*).

Dado a literatura e a experiência dos autores foi desenvolvida a Tabela 1 que mostra a relação dos métodos com o nível hierárquico do sistema (componente, equipamento, sistema), origem dos dados, custo, complexidade e precisão. O custo está relacionado com os esforços necessários (Homem-Horas (HH)), e também com a precisão da confiabilidade. Maior custo significa maior precisão, enquanto que a complexidade está ligada à evolução do ciclo de vida do sistema (fases de: conceito, desenvolvimento, protótipo, integração, testes e etc.).

Métodos	Nível hierárquico	Complexidade	Origem dos Dados	Custo / Precisão
Manuais de predição	Componente	Baixa	Predição	Baixo
Teste de vida acelerada (ALT)	Equipamento	Média	Testes: protótipos, EM, QM	Médio
Análise de dados de vida (LDA)	Sistema	Alta	Retorno de Campo	Alto

Tabela 1. Métodos para predição da confiabilidade mostrados em relação à sua complexidade, custo e precisão.

Os manuais de predição da confiabilidade são classificados como baixa complexidade, baixo custo e baixa precisão. Este método é geralmente aplicado na fase de concepção do projeto, onde não é exigido um planejamento complexo, pois existem ferramentas de predição que podem ser facilmente usadas com apenas uma Lista de Materiais (*Bill of Materials*-BOM) existente.

Os testes de vida acelerados têm média complexidade, médio custo e média precisão, como observado na Tabela 1. Para realizar esses testes, são necessários: um protótipo ou um modelo de Engenharia (*Engineering Model*-EM) ou um Modelo de Qualificação (*Qualification Model*-QM), planejamento e preparação dos testes (câmaras de teste, sistema de captura de dados/falhas e análise dos dados).

Os dados de retorno de campo são definidos como alta complexidade, alto custo e alta precisão. Esse método é o que resulta em uma precisão maior da predição da confiabilidade, pois os componentes, subsistemas e sistema estão em funcionamento/operando com o usuário final. No entanto, obter esses dados exigiria um processo completo (política de manutenção, equipamentos de monitoração, coleta e banco de dados, retorno das análises, etc.).

Neste artigo é apresentado um método abrangendo a consulta dos manuais da predição da confiabilidade, as diferentes técnicas para obter os dados e suas limitações.

### 3 | MÉTODOS

Embora não sejam precisos, tão pouco realistas, os manuais de predição da confiabilidade ainda são amplamente utilizados nas análises de produtos espaciais e militares. Isso se deve ao fato dos esforços e custos serem muito menores se compararmos com os testes de vida acelerado ou a análise de dados de retorno de campo.

O manual MIL-HDBK-217 elaborado pelo Departamento de Defesa Americano (DoD) ainda é o manual mais usado para predição da confiabilidade de produtos eletrônicos espaciais e militares. Apesar de haver algumas preocupações importantes em relação à qualidade dos resultados, o manual é usado por conta da deficiência ou atualização de manuais/guias militares disponíveis. Muitas dessas preocupações resultam principalmente dos modelos usados para calcular a taxa de falhas ( $\lambda$ ) com base na soma das taxas de falhas base multiplicada pelos fatores de qualidade/estresse, conforme mostra a Equação (1):

$$\lambda_{\text{EQUIP}} = \sum_{i=1}^{i=n} N_i \lambda_g \pi_Q$$

Equação 1. Taxa de falhas total do equipamento.

Para um determinado ambiente de aplicação temos:  $\lambda_{\text{EQUIP}}$  é a taxa de falhas total do equipamento (falhas/106 horas),  $\lambda_g$  é a taxa de falhas da  $i^{\text{th}}$  parte genérica (falhas/106 horas),  $\pi_Q$  é o fator de qualidade para a  $i^{\text{th}}$  parte genérica,  $N_i$  é a quantidade da  $i^{\text{th}}$  parte genérica,  $n$  é o número de diferentes categorias de partes genéricas no equipamento.

No entanto, esse modelo indica uma taxa de falhas constante e, portanto, o modelo da distribuição de probabilidade é exponencial. Em muitos casos, no entanto, essa indicação é inadequada. Por exemplo, os conectores falham por consequência da fadiga, e com isso não segue uma distribuição exponencial e sim um outro tipo de distribuição como *Weibull* ou lognormal. Essa dificuldade de utilizar o manual MIL-HDBK-217 em estimar o valor da taxa de falhas dos conectores foi exposto por RABELLO e SOUZA (2011). Observamos também que os mecanismos de falha não são levados em conta. Com isso a estimativa é muito conservadora, o valor é superestimado com relação aos dados de campo. Os principais fatores de estresse e defeitos não são considerados de forma relevante. Além disso, o manual é obsoleto, os modelos são baseados em dados coletados 20 anos atrás e não leva em consideração as novas tecnologias. Os resultados finais das estimativas baseadas no manual MIL-HDBK-217F são valores muito conservadores, superestimados e não realistas.

Um método alternativo para a predição de confiabilidade, levando em conta as tecnologias eletrônicas modernas (semicondutores, circuitos integrados, microcontroladores, FPGAs, etc.) é usar a avaliação física da falha para compreender os mecanismos de falha e prever falhas sob diferentes tipos de estresse (vibração, térmico, ciclo térmico, umidade, salinidade e etc.).

#### 4 | MELHORIA DOS MÉTODOS DE PREDIÇÃO DA CONFIABILIDADE

Os dois principais problemas que surgem nos métodos utilizados para a predição da confiabilidade de equipamentos eletrônicos espaciais e militares são:

1. Os métodos não resultam em predições realistas/precisas,
2. Os métodos não são eficientes em termos de custos, esforços e prazos necessários para preparação, execução e análise.

Para aumentar a precisão e diminuir os custos, como é normalmente exigido pelos interessados (*stakeholders*), um método baseado na física da falha será mostrado neste artigo, permitindo que as empresas aprimorem a predição da confiabilidade de equipamentos eletrônicos.

Analisando os manuais de predição da confiabilidade disponíveis, foram identificados dois manuais mais recentes, que foram selecionados para avaliação

adicional: IEC TR 62380 e FIDES.

Embora o manual IEC TR 62380 seja mais recente que o manual MIL-HDBK-217F, ele não é atualizado desde 2003. Como consequência, os modelos para a física da falha não são adaptados para as novas tecnologias. Além disso, o manual IEC TR 62380 não considera o ciclo de vida completo do produto na avaliação de confiabilidade. O manual MIL-HDBK-217F resulta em previsões muito conservadoras e pessimistas, já o manual IEC TR 62380 resulta previsões muito otimistas.

O manual de previsão da confiabilidade FIDES, publicado em 2009, inclui informações de confiabilidade de tecnologias mais recentes e considera o ciclo de vida completo na avaliação da confiabilidade de um produto, além de fazer uso de diferentes modelos da física da falha para descrever os mecanismos de falha.

Analisando os manuais de previsão da confiabilidade foi elaborada a Tabela 2, que apresenta uma comparação dos manuais MIL-HDBK-217, IEC TR 62380 e FIDES, com os pontos mais relevantes para a indústria militar e espacial.

Manuais	MIL-HDBK-217	IEC TR 62380	FIDES
Parâmetros			
Origem	Departamento de Defesa Americano	France Telecom RDF2000	Airbus, Thales (indústria)
Última atualização	1995	2003	2009
Faixa de uso	Militar, indústria	Principalmente telecomunicações	Aviônica, militar
Física da falha	Não adaptada (somente temperatura)	Não adaptada (falta umidade e vibração)	Baseada na física da falha
Fases operacionais e não operacionais	Válida apenas para a fase operacional	Válida apenas para a fase operacional	Válida para todas as fases do ciclo de vida
Ciclo de vida	Não considerado	Não considerado	Válida para todas as fases do ciclo de vida
Tecnologia Atual	Não adaptada	Não adaptada	Adaptada
Dados de previsão	Não realista	Não realista	Realistas com dados de campo
Itens COTS	Não considerado	Não considerado	Considerado

Tabela 2. Comparação entre MIL-HDBK-217, IEC TR 62380 e FIDES.

O Manual FIDES usa o seguinte modelo para a previsão da confiabilidade, conforme mostra a Equação (2):

$$\lambda = \lambda_{\text{física}} \pi_{\text{fabricação}} \pi_{\text{processo}}$$

Equação 2. Taxa de falhas total proposto pelo manual FIDES.

Diferente do modelo utilizado no manual MIL-HDBK-217F, a predição da confiabilidade pelo modelo proposto pelo manual FIDES, depende de uma combinação da contribuição física  $\lambda_{física}$  (devido ao estresse térmico, mecânico,...), a qualidade e o controle técnico da fabricação dos componentes ( $\pi_{fabricação}$ ) e a qualidade e o controle do processo de desenvolvimento, fabricação e operação do produto que contém o componente analisado ( $\pi_{processo}$ ).

Como exemplo, de um modelo do manual FIDES, o resistor tem como fatores contribuintes para  $\lambda_{física}$  : estresse termoelétrico ( $\pi_{Thermo-electrical}$ ), estresse do ciclo térmico ( $\pi_{TCy}$ ), estresse mecânico ( $\pi_{Mechanical}$ ) e estresse proveniente da umidade ( $\pi_{RH}$ ). Os respectivos modelos de estresse são em função dos parâmetros de potência elétrica, temperatura, vibração, umidade e tempo. Isso pode ser visto na Figura 1.

$\Pi_{Thermo-electrical}$	In an operating phase: $\gamma_{TH-EL} \times e^{11604 \times 0.15 \times \left[ \frac{1}{293} \frac{1}{\left( T_{board-ambient} + 273 + A \times \frac{P_{applied}}{P_{rated}} \right)} \right]}$ In a non-operating phase: $\Pi_{Thermo-electrical} = 0$
$\Pi_{TCy}$	$\gamma_{TCy} \times \left( \frac{12 \times N_{annual-cy}}{t_{annual}} \right) \times \left( \frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left( \frac{\Delta T_{cyclng}}{20} \right)^{1.9} \times e^{1414 \times \left[ \frac{1}{313} \frac{1}{(T_{max-cy} + 273)} \right]}$
$\Pi_{Mechanical}$	$\gamma_{Mech} \times \left( \frac{G_{RMS}}{0.5} \right)^{1.5}$
$\Pi_{RH}$	$\gamma_{RH} \times \left( \frac{RH_{ambient}}{70} \right)^{4.4} \times e^{11604 \times 0.9 \times \left[ \frac{1}{293} \frac{1}{(T_{board-ambient} + 273)} \right]}$ In an operating phase: $\Pi_{RH} = 0$

Figura 1. Modelo de física da falha proposta pelo manual FIDES.

Na Figura 1 tem-se respectivamente: para estresse termoelétrico ( $\pi_{Thermo-electrical}$ ),  $\gamma_{TH-EL}$  é a taxa de falhas base no estresse termoelétrico nominal,  $T_{board-ambient}$  é a temperatura entre a placa de circuito impresso (PCI) e o ambiente, área de dissipação de potência,  $P_{applied,rated}$  é a potência aplicada e nominal; para o estresse do ciclo térmico ( $\pi_{TCy}$ ),  $\gamma_{TCy}$  é a taxa de falhas base do estresse no ciclo térmico nominal, é o número anual de ciclos térmicos, é número de horas de operação anual, é a duração do ciclo térmico,  $N_{annual-cy}$  é a amplitude de uma fase do ciclo térmico,  $T_{max-cy}$  é a temperatura máxima em um ciclo; para o estresse mecânico ( $\pi_{Mechanical}$ ),  $\gamma_{Mech}$  é a taxa de falhas base do estresse mecânico nominal,  $G_{RMS}$  é a amplitude do estresse de vibração aleatória aplicada; e para o estresse proveniente da umidade ( $\pi_{RH}$ ),  $\gamma_{RH}$  é a taxa de falhas base do estresse proveniente da umidade nominal,  $RH_{ambient}$  é a umidade ambiente e  $T_{board-ambient}$  é a temperatura entre a placa de circuito impresso e o ambiente.

Em um experimento realizado pela Direção Geral de Armamentos Francês



(DGA) (DAVENEL et al, 2007), foi avaliado um rádio de comunicação militar composto por 5942 componentes eletrônicos. Para isso, foram observados 2000 rádios integrados/instalados no campo (Exército Francês) desde 1994, operando mais que 500 bilhões de horas; e retornando de campo 500 a 800 dados de componentes por ano, analisados por 12 anos. O resultado do experimento é apresentado na Tabela 3.

Rádio Militar	Taxa de falhas (FIT ou $10^{-9}/h$ )			Relações	
	Quantidade de Componentes	MIL-HDBK-217F	FIDES	Dados de Campo	MIL / Dados de campo
5942	326433	4892	5886	55,5	0,8

Tabela 3. Experimento comparativo entre MIL-HDBK-217 e FIDES. (Fonte: DAVENEL et al, 2007)

Assim, a utilização de manual de predição da confiabilidade FIDES resultaria em dados mais precisos e realistas que permitiriam reduzir o tempo/recurso necessário e aumentar a precisão das estimativas de confiabilidade.

## 5 | CONCLUSÃO

Neste artigo, resumiu-se um método para melhorar a predição da confiabilidade, ressaltando a importância da modelagem de análise da física da falha. Este método é baseado principalmente no manual melhorado de predição da confiabilidade. As melhorias descritas em relação ao estado da arte e as práticas comuns demonstram eficácia nas indústrias do ramo militar e espacial. Essas melhorias são imediatamente entendidas quando se comparam os parâmetros/suposições dos métodos atuais com o proposto neste artigo. Frequentemente, são feitas suposições incorretas, como taxa de falhas constante e/ou métodos para tecnologias ou processos desatualizados. Por meio da modelagem de análise da física da falha (PoF), vislumbram-se melhorias nos métodos atuais, inserindo mais foco nas análises da física da falha, resultando em melhores estimativas da predição da confiabilidade.

A predição da confiabilidade é um tópico necessário para significativas vantagens comerciais e tecnológicas. As empresas precisam de ferramentas certas para permitir estimativas precisas e otimizadas para a predição da confiabilidade. Acreditamos que o método resumido tem o potencial de contribuir para atingir esses objetivos.

## REFERÊNCIAS

DAVENEL F., RICHIN P., MOREAU C. **Experimentation of the new reliability prediction method FIDES**. 2007. 39 slides. Disponível em: <[https://eeepitnl.tksc.jaxa.jp/mews/en/20th/data/1\\_10.pdf](https://eeepitnl.tksc.jaxa.jp/mews/en/20th/data/1_10.pdf)>. Acesso em: 06. Out. 2019.

DEPARTMENT OF DEFENSE, **Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment MIL-HDBK-217F**. Washington DC, p. 205. 1991.

DEPARTMENT OF DEFENSE, **Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment MIL-HDBK-217F (Notice 1)**. Washington DC, p. 37. 1992.

DEPARTMENT OF DEFENSE, **Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment MIL-HDBK-217F (Notice 2)**. Washington DC, p. 80. 1995.

FIDES GROUP. **FIDES Guide 2009**. Edition A UTE\_Guide\_FIDES\_2009\_Ed\_A\_EN. p. 465. 2009.

IEC. **Reliability data handbook – Universal model for reliability prediction of electronics components, PCBs and equipment**. IEC TR 62380. p. 96. 2003.

RABELLO, A. P. S. S., SOUZA, M. L. O. **Relatório de comparação entre os métodos de cálculo para obtenção da taxa de falhas dos conectores “Retangular” e “Rack and Panel” do China Brazil Earth Resources Satellite CBERS 3&4**. INPE, S. J. Campos, SP, dezembro de 2011.

RELIASOFT CORPORATION, **Reliability Engineering Resource Website**. Desenvolvido por Reliasoft. Disponível em: <<http://www.weibull.com/>>. Acesso em: 06. Out. 2019.

## **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

Aeroportos 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

