



**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 “A Aplicação do Conhecimento Científico 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>

## A RELEVÂNCIA DA PRODUÇÃO ACADÊMICA E PESQUISA CIENTÍFICA NO ENSINO SUPERIOR DOS CURSOS DE ENGENHARIA

Data de aceite: 03/12/2019

### **Fabiano Battemarco da Silva Martins**

Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Centro Universitário Celso Lisboa - RJ  
Especialista em Administração e Supervisão Escolar pela Universidade Candido Mendes - RJ  
Mestrando em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ  
Graduando em Engenharia de Produção pela Universidade Santa Úrsula – RJ  
Instituição: Centro Universitário Gama e Souza - RJ  
E-mail: fabianobattemarco@gmail.com

### **Patrícia Guedes Pimentel**

Bacharel em Engenharia Ambiental pela Universidade Veiga de Almeida - RJ  
Especialista em Docência do Ensino Superior pela FAVENI - ES  
Mestranda em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ  
Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Santa Úrsula – RJ  
Instituição: Universidade Santa Úrsula - RJ  
E-mail: engpatriciapimentel@gmail.com

### **Marcelo de Jesus Rodrigues da Nóbrega**

Bacharel em Engenharia Mecânica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica - CEFET - RJ  
Bacharel em Engenharia Civil pelo Centro

Universitário Augusto Motta - UNISUAM

Licenciado em Matemática pelo Centro Universitário Augusto Motta - UNISUAM

Licenciado em Física pelo Centro Universitário Augusto Motta - UNISUAM

Especialista em Docência do Ensino Superior pela Faculdade São Judas Tadeu -RJ

Especialista em Engenharia de Meio Ambiente pela Universidade Iguazu - UNIG - RJ

Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade Integrada Silva e Souza - FISS - RJ

Mestre em Tecnologia pelo Centro Federal de Educação Tecnológica - CEFET - RJ

Doutor em Engenharia Mecânica pela Pontifícia Universidade Católica - PUC - RJ

Pós-Doutor em Engenharia Civil pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

Instituição: Universidade Santa Úrsula  
E-mail: engmarcelocefet@terra.com.br

## 1 | INTRODUÇÃO

Entende-se que a prática da pesquisa na graduação pode agregar conhecimento ao processo de ensino e aprendizagem, auxiliando paralelamente no desempenho do docente e, conseqüentemente, trazendo visibilidade para a instituição de ensino superior, é preciso tratar as produções acadêmicas durante o percurso da graduação de forma a valorizar a

pesquisa, estimular os alunos a produzir trabalhos que levem ao desenvolvimento de competências e, buscar evidenciar uma maior percepção entre a realidade prática e a teoria adquirida em sala de aula.

Para atingir os objetivos propostos, é feita uma revisão bibliográfica trabalhando com a ideia central de que fomentar a pesquisa no meio acadêmico, provoca mudanças reais no processo de formação do aluno no ensino superior. Assim, na sequência do artigo, buscaremos discutir o processo de formação do profissional e do professor do ensino superior, demonstrando a importância da busca contínua pelo conhecimento.

Em seguida, o artigo relaciona a relevância do autoconhecimento com a pesquisa acadêmica. Tal trecho do estudo, qualifica o indivíduo que desenvolve o autoconhecimento, como aquele que tem consciência das suas metas e objetivos, capazes de enfrentar as eventuais problemáticas que possam surgir. O estudo define ainda, alguns conceitos de pesquisa e atrela que a sua prática deve ser feita de forma complementar à teoria abordada nas salas de aula. Por fim, a pesquisa pontua a importância da experiência de pesquisa para o profissional de engenharia.

## 2 | DESENVOLVIMENTO

Considerando que os jovens pesquisadores despertam seus interesses e constroem seu saber durante o curso na Universidade, espaço rodeado por dados científicos, ao investigarmos a forma com que a pesquisa se torna relevante no ensino superior, podemos correlacionar a informação adquirida e sua contribuição para a formação profissional e pessoal de jovens e seu desenvolvimento acadêmico.

Desta forma, é válido iniciar o estudo com algumas definições, a fim de permitir um melhor esclarecimento do tema e facilitar a compreensão da relação direta da pesquisa com o curso em questão. Engenharia segundo Michaelis (2015), “[...] é a *arte de aplicar os conhecimentos ou utilização da técnica industrial em todas suas determinações*”. Já o conceito de engenheiro pode ser definido por Agostinho (2015), como:

“[...] aquele que usa o seu conhecimento para transformar uma determinada ciência, como física e química, em um produto ou serviço que proporcione uma melhora no bem-estar do ser humano. Ele atua na solução de problemas práticos, projetos de ferramentas e equipamentos, e na administração de sistemas e processos de modo racional e eficiente” (AGOSTINHO, 2015, p. 74).

Sendo assim, se o engenheiro deve possuir a capacidade de colocar em prática a ciência e a tecnologia, adaptando seus conhecimentos teóricos às necessidades humanas, entende-se que no seu período de ensino lhe seja proporcionada a possibilidade de manusear equipamentos, aprender programas computacionais

relacionados à sua área, bem como ter a acessibilidade no desenvolvimento de projetos e estudos em condições próximas às que o aluno possivelmente encontrará no mundo profissional.

É importante mencionar ainda que, conforme a Lei das Diretrizes e Bases da Educação nº 9.394/1996, fica estabelecido em seu Art. 52:

“Art. 52. As universidades são instituições pluridisciplinares de formação dos quadros profissionais de nível superior, de pesquisa, de extensão e de domínio e cultivo do saber humano, que se caracterizam por: I - produção intelectual institucionalizada mediante o estudo sistemático dos temas e problemas mais relevantes, tanto do ponto de vista científico e cultural, quanto regional e nacional; II - um terço do corpo docente, pelo menos, com titulação acadêmica de mestrado ou doutorado; III - um terço do corpo docente em regime de tempo integral. Parágrafo único. É facultada a criação de universidades especializadas por campo do saber” (BRASIL, 1996).

Portanto, é durante a graduação que os alunos de cursos superiores devem começar as suas produções acadêmicas, sendo inseridos em projetos de pesquisa e extensão orientados por seus respectivos docentes, que são capazes de construir a ponte entre a teoria da sala de aula e a prática.

## 2.1 Influência das metodologias de ensino utilizadas pelo professor

A postura do professor em sala de aula e suas maneiras de transmitir determinado conteúdo teórico, juntamente com atividades mais dinâmicas e uma abordagem mais moderna e atualizada são, sem dúvida, questões fundamentais a serem discutidas a fim de equacionar os problemas evidenciados pelos alunos, tanto no sentido disciplinar quanto no rendimento acadêmico durante o curso.

É possível ainda, observar uma certa necessidade na ampliação de linhas de pesquisa, a fim de buscar conectar a educação do ensino superior com o ensino médio e o ensino fundamental. A formação inicial do professor pesquisador deve ser planejada e realizada na totalidade da formação do ser humano, focando o profissional que trabalha com a educação, em todos esses níveis (PIRES, 2009).

Considerada crucial para o desenvolvimento do pensamento crítico do aluno, a metodologia complementar é dada por meio da utilização de laboratórios e aulas experimentais nos cursos de engenharia. Porém, muitas disciplinas buscando não aumentar consideravelmente a carga horária proposta, acabam integrando aulas experimentais de laboratórios como aulas de extensão da teoria/exercício da própria disciplina. Os laboratórios devem estar voltados para a aplicação didática nas disciplinas as quais estão ligadas e ainda servir de apoio para pesquisas de trabalhos.

Portanto, proporcionar aulas práticas pode ajudar no desenvolvimento dos conceitos científicos, e retornar um assunto já abordado em sala de aula com outros enfoques, deixando o aluno ter uma nova visão sobre o mesmo tema. Desta

forma, a capacidade de ampliar a reflexão sobre determinado assunto, pode gerar conseqüentemente, discussões durante as aulas e com isso, trazer à tona o pensamento crítico (OLISKOVICZ & PIVA, 2012).

Morin (2000), deixa clara a importância de se desenvolver uma inteligência geral que saiba discernir a complexa interação dos elementos. Assim, o autor descreve:

“(...) o desenvolvimento de aptidões gerais da mente permite melhor desenvolvimento das competências particulares ou especializadas. Quanto mais poderosa é a inteligência geral, maior é sua faculdade de tratar problemas especiais. A compreensão dos dados particulares também necessita da ativação da inteligência geral, que opera e organiza a mobilização dos conhecimentos de conjunto em cada caso particular” (MORIN, 2000, p. 39).

Paulo Freire, ao escrever *Pedagogia da Autonomia* enfatiza que, no seu entendimento, o que existe de pesquisador no professor não é um jeito de ser ou de atuar que se soma ao de ensinar, “faz parte da natureza da prática docente a indagação, a busca, a pesquisa” (FREIRE, 1997, p. 29). Portanto, a pesquisa deve ser parte integrante do processo de formação acadêmica dos professores, que conseqüentemente terá reflexos notáveis em seu processo de ensino. Tal processo, é considerado a base que impulsiona um ensino de qualidade. Demo (2011) define que:

“Primeiro, é preciso distinguir a pesquisa como princípio científico e a pesquisa como princípio educativo. Nós estamos trabalhando a pesquisa principalmente como pedagogia, como modo de educar, e não apenas como construção técnica do conhecimento. Bem, se nós aceitamos isso, então a pesquisa indica a necessidade de a educação ser questionadora, do indivíduo saber pensar. É a noção do sujeito autônomo que se emancipa através de sua consciência crítica e da capacidade de fazer propostas próprias” (DEMO, 2011, p. 22).

De acordo com Franco (2000), sob o ponto de vista situacional, o professor:

“(...) é aquele que trabalha em uma grande e complexa universidade brasileira, seja ela pública ou privada, com um sólido sistema de pós-graduação e com a presença de grupos consolidados de pesquisa. É, também, o que trabalha em uma instituição de ensino superior isolada e na qual o ensino é a própria razão de ser. É tanto o que trabalha na universidade orientada para o mercado como o que atua na instituição comunitária ancorada no seu meio” (FRANCO, 2000, p. 63).

Já com relação ao ponto de vista institucional, Franco (2000) destaca que o professor “é aquele cujo plano de trabalho dispõe de horários para a pesquisa, mas é também aquele cujas horas em ensino são tantas que não sobra espaço para investigações, às vezes, nem sequer para preparar suas aulas” (FRANCO, 2000, p. 63).

Sob o ponto de vista profissional, Franco (2000) define que o professor:

“(…) é aquele que privilegia a universidade como espaço de trabalho, mas também o que está inserido num contexto profissional com suas demandas específicas, como é o caso prevalente de professores de áreas (...) que vê o aluno como um impulsionador do trabalho, mas também como o futuro concorrente em um mercado recessivo. É aquele profissional permanentemente avaliado, desde o ingresso na carreira, através de concursos, de avaliações sistemáticas para a ascensão profissional, da submissão de trabalhos em eventos, da apresentação de projetos para financiamento e de relatórios de atividades e de pesquisa” (FRANCO, 2000, p. 63).

Por fim, Franco (2000) classifica o professor sob o ponto de vista do avanço do conhecimento, o inserindo no processo produtivo que colabora com o avanço, disseminando-o. Assim, a autora nos lembra que “é inegável que as várias áreas do conhecimento tenham sofrido mudanças de base no seu modo de encarar a busca da verdade e nos conhecimentos sobre seus respectivos objetos de estudo” (FRANCO, 2000, p. 63).

De acordo com Liberali (1999), a reflexão que o professor deve providenciar sobre seu próprio trabalho, consiste em verificar quatro ações: descrever, informar, confrontar e reconstruir. Cortez (2003), apoiado em Liberali (1999) nos exemplifica estas quatro ações. Segundo o autor, o momento de descrever, consiste no ato do professor relatar por escrito suas ações em aula, a fim de realizar uma autocrítica de suas estratégias e objetivos traçados para certo conteúdo. No que diz respeito a informar, o autor define para esta etapa que o professor vai em busca de teorias para embasamento e fundamentação da aula planejada. “A maneira como ensino demonstra qual a relação de poder existente na sala de aula” (CORTEZ, 2003, p. 225).

O confrontar consiste em uma análise sobre a postura e as atitudes nos momentos de ensinar. Assim, o professor será capaz de concluir se a sua forma de ensino está sendo realizada de maneira a proporcionar o verdadeiro conhecimento e crescimento de seus alunos. E, finalmente o reconstruir, tratado como a fase em que é importante encarar com maturidade e humildade, que não estamos prontos/acabados, que estamos sempre em crescimento/mudança (Cortez, 2003, p. 225).

Portanto, a fase de reconstruir é considerada no presente estudo como uma das mais importantes, que objetiva elucidar ao docente que a formação continuada é imprescindível para alcançar melhores rendimentos acadêmicos, ou seja, que existem lacunas em nossa prática cotidiana que podem ser melhoradas/preenchidas, à medida que entendemos e aprendemos novas formas de agir (Cortez, 2003, p. 225).

## 2.2 Metodologias ativas no ensino da engenharia

Considerando a amplitude das iniciativas de ensino superior, pode-se verificar que há um aumento do interesse por parte dos políticos e dos professores, motivados

tanto por uma pressão social que reivindica acesso ao ensino superior, como pela integração no mercado de trabalho dos estudantes formados. A partir daí, percebe-se uma preocupação com a prática docente, especialmente relacionada à forma de organização dos professores que sistematizam a metodologia de abordagem pedagógica no cotidiano (SATOLO; MONARO, 2014).

Entretanto, é possível citar outros autores que analisam de forma crítica as deficiências no atual modelo de formação profissional, como no texto de Escrivão Filho e Ribeiro (2009, p. 23):

“Muito se escreve e se discute sobre as deficiências do atual modelo de formação profissional. As denúncias são variadas: vão desde o desinteresse e a apatia dos alunos em sala de aula até a falta de iniciativa e o comportamento profissional inadequado dos egressos. Ou seja, parece haver consenso de que o modelo educacional convencional não mais dá conta de preparar indivíduos para a complexa atuação profissional no mundo de hoje” (RIBEIRO 2009, p. 23).

Desta forma, verifica-se que nos processos de educação superior, em especial nas engenharias, há predominância de matrizes curriculares com baixa, ou quase nenhuma, interdisciplinaridade. Esta deficiência está inserida entre diferentes componentes curriculares e na relação desenvolvida entre a teoria e a prática (GONÇALVES, 2012).

Em outras palavras, conforme descreve Escrivão Filho e Ribeiro (2009), é comum enxergar os alunos como recebedores de um conjunto de informações e, a tentativa de transmissão de conhecimento, fica a cargo de ser distribuído de forma teórica pelo professor.

Deve-se mencionar ainda, que antes o professor era o centro do sistema educacional, agora se busca uma aprendizagem centrada no aluno. A filosofia subjacente a essa mudança está na constatação de que as pessoas aprendem melhor quando se engajam ativamente na resolução de um problema, por meio de conhecimentos e habilidades (SATOLO; MONARO, 2014). Na opinião de Bordenave e Pereira (1977), o professor universitário não pode dedicar-se exclusivamente a transmitir a matéria, mas deve também preocupar-se pela evolução do aluno, através da observação de suas atitudes e hábitos morais, pela formação de valores e pelo comportamento de participação e cooperação responsáveis.

Portanto, é necessária que a prática pedagógica seja vista no seu sentido mais amplo, com ênfase nos métodos de ensino e na abordagem de conceitos acerca do papel do professor em relação à formação profissional do aluno, ao ambiente institucional, ao destino do homem e à ciência (DANTAS, 2014).

Ao analisar os textos de Ausubel (1963), fica claro o conceito de aprendizagem significativa. A obra aborda o contexto em que o aluno cria um significado para os signos de aprendizagem e se transforma em significado cognitivo para o sujeito.

Para Dewey (1959), o conhecimento se inicia a partir de um problema e se encerra com a sua resolução, passando assim por um processo reflexivo e ordenado de ideias. O estímulo do pensamento torna-se necessário nesse processo, portanto o aprendizado só ganha significado quando estimulado de forma correta.

Sendo assim, observa-se uma necessidade de capacitar o aluno, e reafirmando que o conhecimento recebido deve estar atrelado à forma ativa de aprendizado em busca do simples entendimento de determinado assunto. Considerando o exposto, existem diversos métodos de ensino-aprendizagem. De certo modo, todas as formas de aprendizagem ativa e/ou colaborativa, centradas no processo e/ou alunos, e os métodos de ensino construtivistas atendem a esse propósito (ESCRIVÃO FILHO; RIBEIRO, 2009).

O uso de metodologias mais ativas, consiste na elaboração ou seleção de atividades que tornam os alunos, protagonistas do seu próprio conhecimento. Desta forma, promove-se uma melhoria do aprendizado, tornando-os autônomos na busca de conhecimentos, sejam estes novos ou melhorando os já construídos (BASTOS, 2006).

De acordo com Zanotto (2003), a adoção de metodologias ativas deve estar relacionada à motivação do aluno e ressignificação de suas descobertas. Deve haver uma situação de experiências, com objetivos bem definidos pelo docente que sejam capazes de motivar e estimular nos alunos, a busca da solução. Ribeiro define ainda que, o estudo do correto uso de cada metodologia ativa, pode desencadear possíveis intervenções em currículos de ensino de Graduação na área das Engenharias ou pelo menos, trazer a reflexão sobre o ensino de graduação.

Dentre as metodologias ativas abordadas, temos:

- Aprendizagem Baseada em Problemas (*Problem-Based Learning* - PBL);
- Metodologia da Problematização (*Methodology of Problematization* - MP) e
- Orientação por Meio de Projetos (*Project-Centered Learning* – PCL).

### *2.2.1 Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL)*

A PBL é “uma metodologia de ensino-aprendizagem colaborativa, construtivista e contextualizada, na qual situações-problema são utilizadas para iniciar, direcionar e motivar a aprendizagem de conceitos, teorias e o desenvolvimento de habilidades e atitudes no contexto de sala de aula, isto é, sem a necessidade de conceber disciplinas especificamente para esse fim” (RIBEIRO, 2010, pág. 10).

Originalmente elaborada para o ensino de medicina na Universidade McMaster, vem sendo utilizada por algumas instituições em seus diversos cursos nas mais diferentes áreas (MCMASTER, 2013). Como menciona Soares (2011), sempre que os problemas forem bem articulados com a teoria e a prática profissional, a

metodologia será um sucesso.

De modo geral, a PBL é uma proposta pedagógica que vem sendo aplicada em alguns cursos superiores de saúde no Brasil, em especial Medicina e Enfermagem. (CALTABIANO, 2014, p.02). No entanto, não é apenas nos cursos da área de saúde que a PBL vem sendo utilizada. A metodologia em questão é uma ferramenta importante para o ensino e aprendizagem de variados cursos de áreas diferentes, já que sua aplicabilidade está baseada na mediação entre a teoria e a prática (Marin et al., 2010).

Sabe-se ainda, que os problemas típicos ensinados, são frequentemente bem estruturados e normalmente conduzem a resultados, muitas das vezes, previsíveis. As capacidades e habilidades necessárias para resolver problemas, não são desenvolvidas nas instituições de ensino, pois tal capacidade é vista como pequena contribuinte no pensar crítico e pouco relevante nas habilidades dos estudantes (MARTINS, 2002). Porém, essas habilidades são importantes para que os estudantes resolvam problemas que enfrentarão após formados, em meio à sociedade.

Ao utilizar a metodologia PBL, o desafio é elaborado ou selecionado pelo professor, e o aluno deve além de identificar o problema a partir da observação da realidade, buscar meios de solucioná-lo. No caso de utilização de casos reais, em tempo real, o aluno é envolvido pela problemática e sente a responsabilidade de suas ações e as incertezas de sua formulação teórica e de suas hipóteses (ESCRIVÃO FILHO; RIBEIRO, 2009). Segundo Masson (2012), o aluno vivencia a complexidade de sua atividade profissional, a qual exige abordagem interdisciplinar e sistêmica, preparo emocional, avaliação de riscos e conhecimentos técnicos (MASSON, 2012).

Por fim, o presente estudo cita algumas das etapas da metodologia PBL:

- Problema: etapa inicial de identificação de um problema existente ou apresentação de um problema prático;
- Ideias: discussões para trazer à tona os conhecimentos sobre o tema na busca da solução do problema;
- Conhecimento: etapa que utiliza todas as ferramentas possíveis de pesquisa (livros, sites, artigos científicos, outros trabalhos acadêmicos). Todo o conhecimento possível, é compartilhado. É realizada então, a decomposição do problema em partes para a compreensão da relação entre elas;
- Questões de aprendizagem: nesta etapa são estabelecidas as questões que visam orientar a investigação do problema;
- Curso de Ação: nesta etapa final, é feita a síntese de tudo que foi estudado e toma-se a decisão de qual será a solução apresentada pelo grupo.

### 2.2.2 Metodologia da Problematização (MP)

A MP envolve, em geral, apenas uma única disciplina e a realidade é o ponto de partida e de chegada. Dessa forma, a aprendizagem dar-se-á por meio da solução de problemas e situações reais que o futuro profissional poderá enfrentar. Nesta metodologia, o conhecimento científico é buscado certamente nas literaturas e nas consultas com especialistas, mas também na realidade onde o problema está ocorrendo, ou seja, é natural o uso de técnicas não convencionais construindo o conhecimento que envolve o campo social, político e ético (BERBEL & GAMBOA, 2012).

O conhecimento adquirido na etapa da teoria, busca pontos importantes e culmina em uma hipótese aplicada à realidade. Se solucionado o problema, encerra-se a atividade, caso contrário, recomeça o ciclo. Por se tratar da realidade, intervenções podem afetar os resultados.

Portanto, o docente terá que selecionar a realidade com potencial para que tal conhecimento seja ministrado. Pode-se afirmar que a “interferência”, em maior ou menor grau do professor-facilitador, será fator para o sucesso da implantação dessa metodologia, uma vez que o obstáculo da “primeira experiência” não é desejável na solução dos problemas por meio da MP (SOARES, 2011).

### 2.2.3 Orientação por Meio de Projetos (OMP)

A OMP consiste na produção de projetos propostos pelo docente, que para a sua confecção utiliza todo o conteúdo da disciplina ministrada. Dessa forma, o aprendente tem o docente apenas como um professor-orientador. Os resultados dos projetos propostos devem ser próximos aos esperados pelo docente, tornando possível assim sua avaliação. Essa metodologia é mais “perigosa” no sentido que o obstáculo da “experiência primeira” e do “conhecimento generalizado, fechado” pode ficar evidenciado (SOARES, 2011).

Em especial, isso acontece sempre quando o docente “orienta” seus alunos na busca de uma solução do(s) projeto(s) muitas vezes estruturada por técnicas e padrões pré-estabelecidos, muito comuns nos Cursos de Engenharia e que, muitas vezes, é até compreensível no mundo do trabalho. Nesse contexto, fica mais fácil afirmar que essa metodologia é muito útil quando aplicada corretamente nas disciplinas específicas e optativas, geralmente disponíveis ao aluno no final dos cursos de graduação com aplicação no mundo do trabalho.

### 2.2.4 Aprendizagem Baseada em Times

O *Team Based Learning* surgiu a partir do estudo de um método que conectasse os alunos sem o uso de aulas expositivas, método muito usado na abordagem

tradicional de ensino (MARQUES et al., 2017).

Assim, por meio de grupos, este método dinâmico de aprendizagem proporciona um ambiente construído de forma cooperativa em que as vezes pode existir competição, mas seu foco é a valorização da produção coletiva. Seu objetivo é otimizar o interesse do aluno com aulas dinâmicas e voltadas para a realidade e aplicação dos conhecimentos adquiridos (FARIAS; MARTIN; CRISTO, 2015).

Quanto à relação da avaliação dos estudantes e o uso da metodologia TBL, esta é individual e/ou pelo resultado do trabalho em equipe, e o caráter da avaliação é formativo e/ou somativo, o que reforça a construção do conhecimento (BOLELLA et al., 2014). Os autores lembram que, a prática do TBL deve obedecer a quatro princípios essenciais: grupos heterogêneos; estudantes responsabilizados pelo trabalho individual e em grupo; tarefas promovendo aprendizagem e desenvolvimento da equipe e o feedback fornecido em vários momentos.

Dessa forma, a partir das experiências apresentadas, destacam-se algumas peculiaridades na utilização de metodologias ativas. Primeiramente, o fato de os alunos procurarem o conhecimento em outras fontes além do próprio professor, faz com que tais fontes estejam em maior evidência se comparado com o meio de ensino tradicional. Desta forma, os alunos fazem maior uso de bibliotecas, salas de estudos, laboratórios e outros espaços.

Outro ponto a ser considerado é que, por apresentar uma tipologia muito diferente da tradicional, é necessário treinamento do corpo docente, a fim de que cumpram a função somente de facilitador do conhecimento, deixando ao aluno a tarefa de buscá-lo.

Dependendo da metodologia ativa adotada, é necessária a formação de uma equipe de docentes para a integração multidisciplinar do conteúdo, que deverá se reunir para planejar o curso e suas atividades PBL. Por fim, a adesão das metodologias ativas gera uma abertura maior para que os alunos sejam capazes de frequentar entre ambientes, como laboratórios e salas, utilizando equipamentos de testes, realizando experiências e pesquisas. Dessa forma, eles podem fazer uso da Universidade de forma integral.

### **2.3 A relevância do autoconhecimento para pesquisa acadêmica**

Possuir autoconhecimento, é o mesmo que ter a nossa disposição respostas que nos permitem compreender porque pensamos da forma que pensamos, porque agimos da maneira como agimos e, porque somos do jeito que somos. Sendo assim, também é válido mencionar, que os benefícios provenientes do processo de pesquisa, agregam características imprescindíveis como saber planejar, ter foco, ter disciplina, ser crítico, saber escrever, entre tantas outras.

Quando o indivíduo desenvolve o autoconhecimento, toma consciência das suas metas, desejos, objetivos e propósitos, repensa suas atitudes, fortalece suas qualidades, enfrenta as eventuais problemáticas que possam surgir, reconhece e aceita suas emoções negativas, assim como suas falhas, e trabalha para que elas sejam modificadas. Portanto, esse processo é um desafio que pode ser superado. “Aprender a aprender e saber pensar, para intervir de modo inovador, são as habilidades indispensáveis do cidadão e do trabalhador modernos, para além dos meros treinamentos, aulas, ensinamentos, instruções etc.” (DEMO, 2011, p. 9).

Ao discutirmos a relação que a vida pessoal do discente e o seu autoconhecimento, estão ligados ao processo de busca por pesquisas e inserção no meio científico, é possível avaliar ainda que, “[...] os problemas não se reduzem ao campo científico, mas carregam valores e aspectos sociais, éticos e culturais, o que exige uma educação em ciência e tecnologia, uma verdadeira alfabetização científica” (ROSA; TREVISAN, 2016, p. 735).

A prática de pesquisar e analisar dados, propor soluções, bem como trabalhos voltados para apresentação em público, é fator determinante na carreira profissional do discente no futuro. Sendo assim, fica evidenciado por Bridi (2010, p.184) que contribuições das práticas da iniciação científica, “[...] pode ser um espaço de produção criativa com valor educativo e pedagógico”.

## 2.4 Afinal, o que é Pesquisa?

A pesquisa é fundamental para qualquer área, principalmente para a Engenharia, na qual o aluno deve ser estimulado a produzir trabalhos acadêmicos, capazes de desenvolver um conjunto de competências no campo da sua futura atuação profissional. Sendo assim, é através de uma maior compreensão entre a realidade prática e a teoria apreendida em sala de aula, que podemos concluir que a produção de conhecimento não pode estar dissociada da prática da pesquisa.

No contexto da avaliação da Educação Superior, é importante situar a pesquisa acadêmica ou a produção acadêmica. O Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), busca através de instrumentos de avaliação institucional e curso, definir pesquisa como:

“[...] um processo sistemático de construção do conhecimento que tem como metas principais gerar novos conhecimentos e/ou corroborar ou refutar algum conhecimento preexistente. É basicamente um processo de aprendizagem tanto do indivíduo que a realiza quanto da sociedade na qual esta se desenvolve. A pesquisa como atividade regular também pode ser definida como o conjunto de atividades orientadas e planejadas pela busca de um conhecimento”. (INEP, 2015).

A atividade de pesquisa é ainda definida pelo INEP, como “[...] toda atividade que seja desenvolvida por meio de ações de pesquisa, em grupos de pesquisa

institucionalizados, organizadas por cursos de graduação e de pós-graduação seguindo a política das Instituições de Ensino Superior (IES)”. Assim, o ato de pesquisar faz relação com uma questão para ser resolvida, de um problema que exige soluções ou explicações. Gil (2002), define pesquisa como:

“[...] procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. A pesquisa é requerida quando não se dispõe de informação suficiente para responder ao problema, ou então quando a informação disponível se encontra em tal estado de desordem que não se possa adequadamente relacionar ao problema”. (GIL, 2002, p. 17)

Reis e Horvath (2014), definem que a pesquisa científica pode ser originada a partir de situações voltadas à resolução de problemas, mais utilizadas em pesquisas acadêmicas, na formulação de teorias novas que está mais associada ao uso nas ciências sociais e por fim, para testar teorias já criadas, como é o caso da Engenharia e outras ciências exatas.

O pensamento de que os alunos desde os primeiros semestres desenvolvam um estilo de vida construtivo e participativo, está de acordo com o pensamento de Demo (2001, p. 17), “pesquisa é processo que deve aparecer em todo trajeto educativo, como princípio educativo que é, na base de qualquer proposta emancipatória”.

Podemos mencionar ainda, que são de extrema importância os grupos de pesquisa, que fomentam e incentivam cada vez mais os jovens e adultos dos cursos superior e de pós-graduação, a realizarem estudos científicos com o intuito de aprimorar os conhecimentos até então adquiridos. Portanto, o crescimento dos grupos consolidados de pesquisa, se relaciona diretamente com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). É procedente lembrar que, por definição, grupo de pesquisa consiste em:

“(…) um conjunto de indivíduos organizados hierarquicamente onde o fundamento organizador dessa hierarquia é a experiência, o destaque e a liderança no terreno científico ou tecnológico, existindo envolvimento profissional e permanente com atividades de pesquisa; onde o trabalho se organiza em torno de linhas comuns de pesquisa; e onde, em algum grau, compartilham-se instalações e equipamentos” (CNPq, 1999).

## **2.5 A importância da experiência de pesquisa para o profissional de engenharia**

Ao encontrarmos determinados trabalhos de engenheiros com resultados incríveis, porém de material técnico em nível inferior ao condizente, podemos associar tal fenômeno à formação destes que, por sua vez, necessitavam uma adaptação às demandas em pesquisa e escrita científica. Segundo Agostinho (2015), um relatório técnico é definido como:

“[...] um relato sobre atividades técnicas executadas. Ele se presta tanto à

documentação quanto à comunicação de experiências realizadas e resultados obtidos, contribuindo assim para a geração de conhecimento. Também pode ser utilizado para construção de argumentos para a tomada de decisão, legitimando a escolha de certas alternativas de ação” (AGOSTINHO, 2015, p. 83).

Sendo assim, é importante salientar que a confecção de relatórios técnicos reflete o profissional que os elabora, assim como é o espelho de sua formação como engenheiro. Aquele que vivencia uma prática de pesquisa, colabora com um mercado de trabalho cujos profissionais são considerados autônomos, curiosos que buscam compreender uma situação vivenciada, seus desafios e, por sua vez, encontrar explicações e soluções para superarem cada obstáculo que possivelmente possam encontrar na carreira.

Porém, para usufruir de tais privilégios, é preciso desenvolver algumas competências que formam as qualidades essenciais dos engenheiros. Na busca por contribuir com a formação pelas quais os profissionais da engenharia serão valorizados, são então listadas algumas qualidades consideradas fundamentais.

A investigação de novas propriedades e técnicas que possam ser incorporadas a seu trabalho, de forma a aumentar a produtividade, é uma das qualidades que o profissional de engenharia deve possuir. Conseqüentemente, a curiosidade por investigar está atrelada à atualização de conhecimentos que o profissional deve ter, ou seja, é preciso que o engenheiro esteja sempre atualizado com as novas tecnologias e as vantagens que elas podem oferecer (AGOSTINHO, 2015).

Em um mundo onde a demora pode significar obsolescência, a agilidade é considerada característica essencial e, portanto, agir com rapidez nos prazos e etapas de um determinado empreendimento, é fator determinante e bastante favorável (AGOSTINHO, 2015). Segundo Agostinho (2015, p. 54), “a flexibilidade e a criatividade são fortes aliadas que o engenheiro deve ter à mão, uma vez que são usadas para adaptar os meios concretos de realização às necessidades”.

Ainda de acordo com a autora, o senso prático é normalmente adquirido durante a carreira, que tem como requisitos prévios a experiência e um conhecimento das técnicas, normas e dimensões (AGOSTINHO, 2015). Conforme Agostinho (2015, p. 54) “saber trabalhar em grupo é uma qualidade essencial. Além da boa comunicação, é fundamental a capacidade de liderança em vários níveis”.

A autora aproveita para destacar que, na maioria dos casos, os projetos são grandes e complexos, exigindo cada vez mais requisitos do profissional de engenharia. Portanto, todas estas qualidades podem ser responsáveis por atenuar as possíveis pressões sofridas por estes profissionais. Por fim, ela levanta a questão da enorme responsabilidade que o engenheiro tem, relacionando os erros de cálculo à vida da sociedade (AGOSTINHO, 2015).

### 3 | CONCLUSÃO

A pesquisa e curiosidade em assuntos desconhecidos se tornam importantes para a sociedade que, desde muito cedo, apresenta dúvidas vivenciadas no cotidiano. Sendo assim, um dos objetivos de pesquisar ao explorar informações e dados científicos, é desenvolver habilidades e atitudes de investigação, levantar questionamentos para a busca de soluções de problemas, sejam eles sociais, culturais, entre outros.

Ao nos dedicarmos às pesquisas, estamos dando maior enfoque à nossa formação profissional e, ainda contribuindo de forma reflexiva e crítica para os problemas do meio no qual estamos inseridos. Portanto, o ato de pesquisar tem consequências positivas para a evolução do profissional, permitindo a composição do pensamento crítico e na função de engenheiro, elaborar projetos direcionados ao bem-estar social.

Contudo, ainda existem muitos desafios a serem enfrentados. Para que o interesse na elaboração de pesquisa e produção acadêmica seja despertado no aluno do curso de engenharia, é importante mencionar fatores como uma boa qualificação dos docentes, o incentivo às aulas experimentais e laboratoriais, o aumento de projetos como iniciação científica, workshop, palestras e seminários, dentre outras ações que visam ampliar as possibilidades de inserir a pesquisa na vida acadêmica do aluno.

Por fim, e baseando-se nos estudos abordados, é possível afirmar que a pesquisa científica é uma prática fundamental geradora de questionamentos, que além de ter benefícios na vida profissional do engenheiro, também agrega valores pessoais. Além disto, este artigo deixa clara a relação da pesquisa e do processo de autoconhecimento, em que os resultados finais são cada vez mais satisfatórios e visíveis, como por exemplo, na análise de relatórios técnicos bem elaborados e fundamentados no campo da engenharia e áreas afins.

### REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, M. **Introdução à engenharia**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Lexikon, 2015.

AUSUBEL, D. P. **The psychology of meaningful verbal learning**. New York, Grune and Stratton, 1963.

BASTOS, C. C. **Metodologias Ativas**. 2006. Disponível em: <http://educacaoemedicina.blogspot.com.br/2006/02/metodologias-ativas.html>> Acesso em 31/10/2019.

BERBEL, Neusi Aparecida Navas; GAMBOA, Sívio Ancizar Sánchez. **A metodologia da problematização com o Arco de Maguerez: uma perspectiva teórica e epistemológica**. Revista Filosofia e Educação on-line, Campinas-SP, v. 3, n. 2, p. 264-287, 2012.

- BOLLELA V. R., SENGER M. H., TOURINHO F. S. V., AMARAL E. **Aprendizagem baseada em equipes: da teoria à prática.** In: Medicina (Ribeirão Preto) 2014; 47(3):293-300 <http://revista.fmrp.usp.br/> Acesso em 31/10/19.
- BORDENAVE, J. D.; PEREIRA, A. M. **Estratégias de ensino-aprendizagem.** 27. ed. Rio de Janeiro: Vozes, 1977.
- BRASIL. Lei nº 9.394 de 20 de dezembro de 1996. **Diretrizes e Bases da Educação Nacional.** *Diário Oficial da União*, 1996.
- BRIDI, J. C. A., **A pesquisa na formação do estudante universitário: a Iniciação Científica como espaço de possibilidades.** 214 f. 2010. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade de Campinas, Campinas, 2010.
- CALTABIANDO, Daniel. **Uma nova Educação para uma nova Medicina: o método PBL.** In: NOVA MEDICINA. 24 de março de 2014. Acesso em 31/10/19.
- CNPq. **Diretório dos Grupos de Pesquisa.** v. 3, base de dados de 1997. Brasília, 1999.
- CORTEZ, C. D. C. **Estudar...Aprender...Ensinar...Mudar...Transformar-se: Um processo contínuo.** In: BARBARA, L.; RAMOS, R. de C. G. **Reflexão e ações no ensino-aprendizagem de línguas.** Campinas: Mercado de letras, 2003. p. 221-234.
- DANTAS, C. M. M. Docentes engenheiros e sua preparação didático-pedagógica. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 33, n. 2, 2014. p. 45-52.
- DEMO, P. **Educar pela pesquisa.** 7ª ed. Campinas: Autores Associados, 2001.
- DEMO, P. **Pesquisa: princípio científico e educativo.** 14ª ed. São Paulo: Cortez, 2011.
- ESCRIVÃO FILHO, E.; RIBEIRO, L. R. C. **Aprendendo com PBL – aprendizagem baseada em problemas: relato de uma experiência em cursos de engenharia da eesc-usp.** Revista Minerva – Pesquisa & Tecnologia, v. 06, n. 1, p. 23-30, 2009.
- FARIAS, P. A. M.; MARTIN, A. L. A. R.; CRISTO, C. S. **Aprendizagem ativa na educação em saúde: percurso histórico e aplicações.** Rev. bras. educ. med, v. 39, n. 1, p. 143-150, 2015.
- FRANCO, M. E. D. P. **Comunidade de conhecimento, pesquisa e formação do professor do ensino superior.** Apostila do Professor do ensino superior: identidade, docência e formação. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais, 2000.
- FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática docente.** Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1997.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4ª ed. - São Paulo: Atlas, 2002.
- GONÇALVES, H. H. A. B. Q. **O engenheiro professor e o desafio de educar.** In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 40, 2012. Belém – PA Anais... Belém, 2012. p. 1-5.
- INEP, Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Instrumento de Avaliação de Cursos de Graduação presencial e a distância.** Brasília, DF: jun. 2015.
- LIBERALLI, F. C. **O diário como ferramenta para a reflexão crítica: tese de doutorado em linguística aplicada ao ensino de línguas.** São Paulo: PUC, 1999.
- MACMASTER UNIVERSITY. **MacMaster University**, 2013.

MARIN, Maria José Sanches. **Aspectos das fortalezas e fragilidades no uso das Metodologias Ativas de Aprendizagem**. In: Revista Brasileira de Educação Médica, 13<sup>a</sup> ed. 2010. p. 13-20.

MARQUES, A. P. A. Z. et al. **Team based learning: aplicação e resultados**. Etic-encontro de iniciação científica-ISSN 21-76-8498, v. 13, n. 13, 2017.

MARTINS, J. G. **Aprendizagem Baseada em Problemas Aplicada a Ambiente Virtual de Aprendizagem**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

MASSON, T. J. ET AL. **Metodologia de Ensino: Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL)**. COBENGE 2012.

MICHAELIS. **Moderno Dicionário da Língua Portuguesa**. São Paulo, Companhia Melhoramentos, 2015.

MORIN, E. **Os sete saberes necessários à educação do futuro**. São Paulo, Cortez/Unesco, 2000.

OLISKOVICZ, K., PIVA, C. D. – **As estratégias didáticas no ensino superior**. Revista Educação – Anhanguera Educacional Ltda. v. 15, n. 19, 2012.

PIRES, R. C. M. **Formação inicial do professor pesquisador através do programa PIBIC/CNPq: o que nos diz a prática profissional de egressos?** Avaliação, Campinas; Sorocaba, v. 14, n. 2, jul. 2009.

REIS, L. G. dos; HORVATH, J. **Uma análise sobre a produção acadêmica dos docentes das universidades estaduais paranaenses de 2008 a 2012**. Revista GUAL, Florianópolis, v. 7, n. 3, p. 22-42, set. 2014.

RIBEIRO, Luis Roberto de Camargo. **Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL)**. São Carlos: EdUFSCar, 2010. 151f.

ROSA, G. A. da; TREVISAN, A. L. **Filosofia da tecnologia e educação: conservação ou crítica inovadora da modernidade?** Avaliação, Campinas; Sorocaba, SP, v. 21, n. 3, p. 719-737, nov. 2016.

SATOLO, E. G.; MONARO, R. L. G. **DOCÊNCIA NO ENSINO SUPERIOR: RELATO SOBRE A CAPACITAÇÃO PARA OS MECANISMOS DE AVALIAÇÃO ENADE/MEC. 2014**. II Congresso Nacional de Formação de Professores. Disponível em <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/141650/ISSN2357-7819-2014-9486-9499.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em 31/10/2019.

SOARES, Daniel Aldo. Epistemologia e Educação: **O Obstáculo da Experiência Primeira e a ‘Falsa’ Doutrina do Conhecimento Geral**. In: Epistemologia e Educação, Goiânia: Editora da PUC-Goiás, 2011.

ZANOTTO, M. R. T. **Problematizar a Própria Realidade: análise de uma experiência de formação contínua**. Rev Educação e Pesquisa 2003;29(1):45-54.

## APLICATIVO DEDICADO AO DIMENSIONAMENTO DE PARAQUEDAS

Data de aceite: 03/12/2019

Data de submissão: 14/10/2019

### Rafael Andrade E Silva

Universidade de Taubaté, Taubaté – SP. <http://lattes.cnpq.br/3603963435140579>

### Maurício Guimarães da Silva

Instituto de Aeronáutica e Espaço, São José dos Campo – SP. <http://lattes.cnpq.br/6537334481030616>

**RESUMO:** O presente trabalho apresenta uma interface gráfica que auxilia, de forma direta, no dimensionamento de paraquedas para aeronaves, drones, cargas aéreas e foguetes (propulsores, coifa e carga útil). Outra facilidade que o código disponibiliza é uma interface gráfica para a inclusão dos dados de entrada do *software* FEMAP NX NASTRAN®, da Siemens PLM Software, de forma a ser possível a realização de análises estáticas. O programa tem como objetivo auxiliar o projetista mecânico na resolução dos cálculos e visualização de resultados. O desenvolvimento do programa se deu na plataforma VBA (*Visual Basic for Applications*). Foram implementados os modelos matemáticos associados aos principais requisitos de projeto preliminar de paraquedas de uso aeroespacial, quais sejam: Velocidade Terminal, Força de Abertura, Análise

Estrutural, Esteira Aerodinâmica decorrente da carga útil, Desaceleração devido ao impacto com a água, Tempo de Abertura do paraquedas e Flutuabilidade da carga.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dimensionamento, Paraquedas, Foguete

### DEDICATED APPLICATION FOR PARACHUTE DESIGNING

**ABSTRACT:** This paper presents a graphical interface that directly assists in the design of aircraft parachutes, drones, air cargo and rockets (thrusters and payload). Another feature that the code provides is a graphical interface for data input of FEMAP NX NASTRAN®, from Siemens PLM Software, to perform static analysis. The program aims to assist the mechanical designer in the resolution of calculations and visualization of results. The program was developed on the Visual Basic for Applications (VBA) platform. Mathematical models associated with the main preliminary design requirements for aerospace parachutes are implemented, namely: Terminal Speed, Opening Force, Structural Analysis, Payload Aerodynamic Track, Deceleration due to water impact, Parachute Opening Time and Load Buoyancy.

**PALAVRAS-CHAVE:** Designing, Parachute, Rocket

## 1 | INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o Brasil teve evolução significativa no domínio de tecnologia de projeto, construção, testes e lançamento de veículos espaciais. Como exemplo, citam-se o Veículo Lançador de Satélites (VLS) e o Veículo de Sondagem (VSB-30), qualificado internacionalmente, tendo como importante cliente a Agência Espacial Alemã (DLR - *Deutsches Zentrum für Luft*). O VSB-30 vem sendo utilizado, desde 2004, em lançamentos no Brasil e no exterior, possibilitando a realização de experimentos científicos em ambiente de microgravidade.

Apesar do sucesso no desenvolvimento e lançamento destes veículos, não existe no mercado interno uma tecnologia de recuperação dos experimentos embarcados qualificada e certificada por órgãos de fomento. Atualmente o sistema de recuperação utilizado é adquirido a partir da empresa alemã DLR, o que encarece significativamente o custo do lançamento, uma vez que sua produção e posterior integração no veículo envolvem processos complexos e consequente mão de obra especializada além de dependência tecnológica.

Existem vários trabalhos com ênfase na recuperação de cargas. Contudo, tratam de problemas extremamente específicos como, por exemplo, abertura de paraquedas e força de abertura, e utilizam ferramentas computacionais com elevados custos financeiros. Neste contexto, este projeto de pesquisa se insere nesta necessidade: compilar os trabalhos já existentes em um programa de baixo custo computacional com a finalidade de agilizar na obtenção de resultados que sejam do interesse do projetista mecânico e gerar os modelos estruturais dos paraquedas para realizar a análise estática.

Ressalta-se que este estudo pode ser aplicado tanto para fins civis como militares. Alguns exemplos de usos civis são: dimensionamento de paraquedas para aeronaves leves, cargas aeronáuticas e foguetes acadêmicos. Para fins militares citam-se: dimensionamento de paraquedas para drones militares, mísseis, alvos aéreos, propulsores, carga útil de foguetes e Mock-Up de treinamento.

### 1.1 Objetivos

O objetivo deste projeto é desenvolver um código computacional para o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) do Departamento de Ciências e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) que auxilie no dimensionamento de paraquedas e no cálculo de todas as etapas da recuperação de cargas por paraquedas. De forma geral, este trabalho visa automatizar as seguintes atividades de projeto:

- i. Cálculo da Força de Abertura do paraquedas, Velocidade Terminal da carga e Esteira Aerodinâmica;
- ii. Cálculo da Desaceleração devido ao Impacto da carga com a água,

- Flutuabilidade da carga e Tempo de Abertura do paraquedas;
- iii. Gerar interface gráfica para realizar o cálculo dos modelos matemáticos de cada item supramencionados;
  - iv. Opção de gerar Relatório Técnico com os resultados gerados;
  - v. Opção de gerar Modelo Estrutural do paraquedas dimensionado para realizar a Análise Estática.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho são utilizadas literaturas técnicas da área de paraquedas, artigos científicos e dissertação de mestrado. É utilizada a plataforma VBA do *software* EXCEL® na implementação numérica das referidas equações e na visualização dos respectivos resultados. É utilizado o *software* FEMAP NX NASTRAN® para modelar o paraquedas e para realizar a análise estática da estrutura do paraquedas. Nos parágrafos subsequentes estão descritas as formulações matemáticas implementadas em VBA.

### 2.1 Força de Abertura

A Força de Abertura ( $F$ ) de um paraquedas (PQD) pode ser modelada conforme a referência KNACKE (1992):

$$F = p_{dyn} S_{Ref} C_D C_x X_1 \quad (1)$$

Sendo  $p_{dyn}$  a pressão dinâmica local,  $S_{Ref}$  a área de referência (baseada no diâmetro do PQD), e os coeficientes de força  $C_D$ ,  $C_x$  e  $X_1$ , obtidos a partir de valores tabelados para uma determinada configuração de PQD.

### 2.2 Velocidade Terminal

O modelo matemático para a Velocidade Terminal ( $V_t$ ) está descrito na referência ESDU 09012, qual seja:

$$V_t = \sqrt{\frac{2mg}{\rho C_D S_{Ref}}} \quad (2)$$

As variáveis  $m$  e  $g$  representam a massa da carga útil adicionada da massa do sistema de recuperação (PQD mais linhas de suspensão e umbilical) e a aceleração da gravidade, respectivamente. O coeficiente de arrasto  $C_D$  é obtido a partir do PQD específico que se pretende utilizar. A massa específica  $\rho$  deve ser obtida a partir das condições atmosféricas locais.

## 2.3 Esteira Aerodinâmica

O cálculo da esteira aerodinâmica criada pela base da carga útil foi adaptado do gráfico “Sketch 5.9 Drag loss due to forebody wake” do periódico ESDU 09012. No gráfico adaptado as duas curvas foram reproduzidas ponto a ponto para a implementação de linhas de tendências. A partir do conhecimento das linhas de tendência foi possível realizar a interpolação dos dados de entrada e fornecer ao usuário três valores (máximo, médio e mínimo) de coeficiente de redução de arrasto ( $Cd_{Correct}$ ), Figura 1. A variável de saída é o coeficiente de arrasto do sistema corrigido pela influência da esteira aerodinâmica, qual seja, Equação (3).

$$Cd_{Correct} = \frac{l_T}{d_B} \quad (3)$$

O parâmetro  $l_T$  é a distância entre a base da carga útil e o velame do PQD e  $d_B$  o diâmetro da base da carga sendo recuperada.

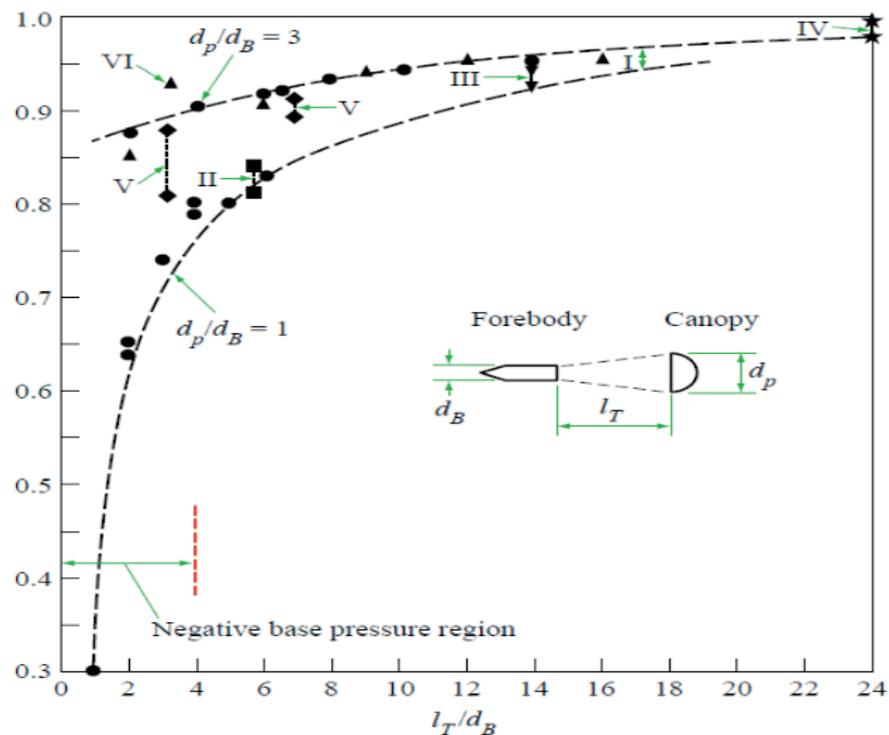


Figura 1 – Coeficiente de Correção de Arrasto (ESDU 09012)

## 2.4 Impacto na Água

O modelo matemático para o Impacto na água ( $I_A$ ) está descrito na referência CASTELLÕES (2019), qual seja:

$$I_A = mg - \rho Vg \pm \frac{C_D \rho A v^2}{2} \quad (4)$$

As variáveis  $m$  e  $g$  representam a massa da carga útil adicionada da massa do sistema de recuperação (PQD mais linhas de suspensão e umbilical) e a aceleração

da gravidade, respectivamente. Usualmente o coeficiente de arrasto  $C_D$  é adotado com valor de 2(dois), pois,  $C_D$  é o da superfície de contato da carga com a água. A massa específica  $\rho$  deve ser obtida a partir das condições atmosférica locais. A variável  $v$  é a velocidade da qual a carga atinge a água.

## 2.5 Tempo de Abertura

Para determinar o Tempo de Abertura ( $t_f$ ), foi utilizado o modelo matemático conforme descrito na referência devido a KNACKE (1992):

$$t_f = \frac{n D_0}{v} \quad (5)$$

A variável  $n$  corresponde a constante de enchimento, a constante de cada modelo de paraquedas está tabelado conforme a referência ESDU 09012. A variável  $v$  é a velocidade da carga no momento em que atinge a água. O diâmetro de construção do paraquedas é representado por  $D_0$ .

## 2.6 Flutuabilidade

A flutuabilidade da carga é calculada com base na resultante das forças atuantes no corpo quando submerso na água. Se a resultante for positiva, o corpo não precisará de flutuadores, desde que o mesmo é hermético o suficiente para prover flutuabilidade. Portanto, para garantir flutuabilidade, a resultante de forças deve satisfazer a relação

$$mg - \rho V g \geq 0 \quad (6)$$

sendo  $V$  o volume do corpo.

## 2.7 Análise Estática da Estrutura do Paraquedas

Outra funcionalidade implementada no código computacional desenvolvido neste trabalho é a interface gráfica para entrada de dados que serão utilizados no *software* FEMAP NX NASTRAN®. Esta interface gráfica viabiliza a entrada de dados das dimensões do paraquedas, material e comprimento das linhas de suspensão e força de abertura. Esta implementação foi necessária tendo em vista que a plataforma EXCEL não apresenta um *solver* que realize análise estrutural estática. A metodologia de uso está descrita nos parágrafos subsequentes.

A primeira etapa para realizar a análise estrutural é gerar o modelo estrutural com base nos dados de entrada na interface do programa na plataforma VBA. Os dados são processados em planilhas específicas e o modelo estrutural é gerado em código de forma que o FEMAP® consiga modelar e o *solver* NASTRAN consiga realizar a análise estática. O arquivo é exportado no formato específico para ser

executado pela ferramenta “Program File” do FEMAP®. A Figura 2 abaixo mostra o resultado final da análise estática gerada pelo *software* após as etapas supracitadas.

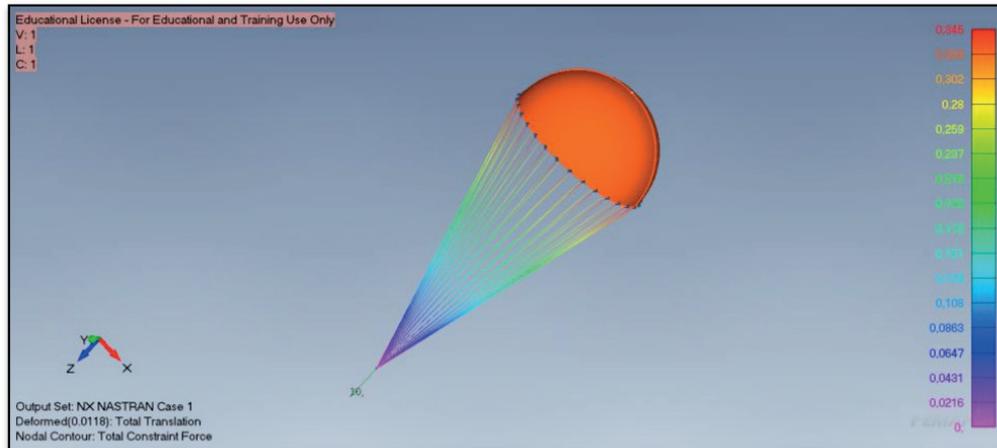


Figura 2 – Análise Estrutural do Paraquedas Circular.

## 2.8 Interface Gráfica para Dimensionamento Preliminar de Paraquedas

Após a implementação dos itens citados no Tópico 2. **Materiais e Métodos**, foi elaborada uma interface gráfica para auxiliar na entrada dos dados e visualização dos resultados. A Figura 3 exibe uma das abas da interface.



Figura 3 - Interface Gráfica de Dimensionamento de Paraquedas

Na aba *Input* existem duas ferramentas de apoio que aceleram a resolução de contas e conseqüentemente o projeto de dimensionamento de paraquedas. A primeira ferramentas é a “Calcular Área” ferramenta capaz de determinar área e

diâmetro de paraquedas circulares e cruciformes. A segunda ferramenta de apoio calcula a relação citada no item **2.3. Esteira Aerodinâmica**. No topo do *Frame* os Requisitos de Projeto podem ser definidos. Para calcular cada item citado no Tópico **2. Materiais e Métodos** é necessário selecionar o parâmetro, tipo de paraquedas e inserir os dados de entrada.

Na aba “*Output*” é possível visualizar os resultados calculados assim como gerar o Relatório Técnico. Esta opção permite gerar um relatório em formato PDF com todos os dados de entrada de cada parâmetro, gráficos gerados e resultados obtidos. Também é informado ao usuário se os requisitos de projeto foram cumpridos. Ao lado da aba “*Output*” tem-se a aba de “Gráficos” na qual é possível visualizar, de forma separada, os gráficos dos itens **2.1. Força de Abertura** e **2.3. Eficiência do**.

Na última aba da interface existem as informações adicionais, como: nomenclatura, informações específicas sobre cada tipo de paraquedas e ilustrações para auxiliar no desenvolvimento do projeto.

### 3 | RESULTADOS

Com o intuito de apresentar os resultados obtidos com o código computacional desenvolvido foi calculada a Velocidade Terminal com base nas dimensões e propriedades das cargas recuperadas na Operação Mock-Up e foi feita a comparação entre os resultados e referências pertinentes da área.

Para determinar a confiabilidade dos dados obtidos foi calculada a relação entre os resultados, conforme mostra a coluna assertividade da Tabela 2.

Parâmetro	Dimensionamento de PQD	Referências	Assertividade
Velocidade Terminal [m/s]	7,11	7,12 [2]	99,85 %
Força de Abertura [kgf]	1500	1500 [3],[4]	100 %
Impacto na Água [g]	6	6 [5]	100 %
Tempo de Abertura [s]	0,11	0,11 [1]	100 %
Eficiência do $C_D$	95%	97% [1]	97,93 %

Tabela 1 - Resultados

### 4 | PRÓXIMAS ETAPAS

Com base nos resultados obtidos, foi observada a extrema importância da continuidade do projeto. Com o objetivo de seguir com o desenvolvimento e aprimoramento do trabalho, foram definidas as seguintes etapas:

- i. Implementação da dinâmica de voo com 2(dois) e 3(três) graus de liberdade com mais de um evento em voo (voo livre, abertura de paraquedas, *slider*)
- ii. Implementação de modelos de ordem reduzida de abertura de paraquedas

- iii. Implementação do cálculo da dispersão da região de impacto (cálculo do erro circular provável);
- iv. Implementação do “planejamento de missão”;
- v. Aprimorar os modelos e propriedades da Análise Estática.

## 5 | CONCLUSÕES

Este trabalho trata do desenvolvimento de um programa para auxiliar no projeto de sistemas de recuperação baseados em paraquedas. Foi dada ênfase ao cálculo dos parâmetros de projeto Força de Abertura, Velocidade Terminal, Esteira Aerodinâmica, Desaceleração devido ao impacto com a água, Flutuabilidade da carga, Tempo de Abertura do Paraquedas e Análise Estática do Modelo Estrutural. Pôde-se concluir que as simulações produzidas neste trabalho estão consistentes com literatura técnica e resultados já publicados pelo grupo de trabalho da Divisão de Sistemas de Defesa – ASD. Faz-se necessário a continuidade deste trabalho para que seja possível a confecção final de um *toolbox* de dimensionamento de paraquedas de fácil acesso e com características modulares que permita a inclusão de novas metodologias ou mesmo novas ferramentas de projeto como, por exemplo, ferramentas de otimização, desde que o EXCEL® comporta inúmeras funções que permitem este empreendimento sem grandes dificuldades.

Vale ressaltar que durante o desenvolvimento do programa o mesmo foi utilizado como ferramenta auxiliar no dimensionamento preliminar de paraquedas para a Operação Mock-Up. Com isso, foi possível observar a utilidade e a importância desta ferramenta para futuros projetos que necessitam de recuperação de cargas por paraquedas, é importante salientar que o programa será utilizado para realizar o dimensionamento preliminar dos paraquedas para as operações **Mock-Up 2, Alvo Aéreo, Orion e PSR-02.**

## 6 | POTENCIAL DE INOVAÇÃO

Não existe, em nível DCTA, um *toolbox* de dimensionamento preliminar de Paraquedas para os projetistas da área. Trata-se de uma contribuição direta para o grupo de Aerodinâmica e Dinâmica do Voo do DCTA.

## 7 | DIVULGAÇÃO DOS RESULTADOS

Com base no presente trabalho, foi elaborado um artigo científico e submetido ao 8º Congresso Internacional de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento (CICTED)

– Universidade de Taubaté (UNITAU). O artigo foi aprovado e será publicado no Congresso Internacional, em outubro de 2019.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE E SILVA, L., 2009, **Simulação Computacional da Dinâmica de Paraquedas em 2DOF - X ENIC**.

DE OLIVEIRA CASTELLÕES, G., 2019, **Impacto de Corpo Cilíndrico com a Água**, Instituto de Aeronáutica e Espaço.

ESDU 09012, 2009, **Aerodynamics of Parachutes**, ITA.

KNACKKE, M.T. **Parachute Recovery Systems Design Manual**. 1. ed. Santa Barbara, CA: Para Publishing, 1992 (NWC TP 6575).

POTOLSKY, L., 2017, **Projeto Preliminar de Paraquedas de Uso Aeroespacial**, Dissertação de Mestrado, UNESP – Campus de Guaratinguetá, SP, 78 pp.

## APLICAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS NA SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA PRODUÇÃO E EXPORTAÇÃO DE SOJA NO ESTADO DO TOCANTINS ATÉ 2025

Data de aceite: 03/12/2019

**Laina Pires Rosa**

Universidade Federal do Tocantins, Gurupi-TO

**Leandra Cristina Crema Cruz**

Universidade Federal do Tocantins, Gurupi-TO

**Pedro Alexandre da Cruz**

Universidade Federal do Tocantins, Gurupi-TO

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi fazer o uso da modelagem matemática, aplicando modelos matemáticos e realizando simulações numéricas, buscando obter perspectivas futuras para a tomada de melhores decisões com relação a produção e exportação de soja no Tocantins. O Estado vem se destacando ao longo dos anos na área agrícola, principalmente no cultivo de grãos. Após a criação da região MATOPIBA, formada por municípios dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, fez que o Estado do Tocantins se tornasse alvo para grandes produtores, devido a extensa área para produtividade e o baixo preço de suas terras. A soja é uma fonte abundante para aproveitamento alimentício, devido ao alto valor proteico. O Estado do Tocantins produziu na safra 2014/2015 2,4 milhões de toneladas de soja. Modelos de dinâmica populacional, como os modelos de *Malthus* e *Verhulst*, são aplicados para realizar projeções da produção e exportação de soja até

2025 no estado do Tocantins, sendo que ambos os modelos possuem viabilidade quanto à sua utilização, e apresentando assim resultados confiáveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelagem Matemática, Soja, Tocantins, Modelo de Malthus, Modelo de Verhulst.

### APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELS IN THE NUMBER SIMULATION OF SOY PRODUCTION AND EXPORT IN TOCANTINS STATE UNTIL 2025

**ABSTRACT:** The objective of this work was to make use of mathematical modeling, applying mathematical models and performing numerical simulations, seeking future perspectives to make better decisions regarding soybean production and export in Tocantins. The state has been highlighting over the years in the agricultural area, mainly in the cultivation of grains. After the creation of the MATOPIBA region, made up of municipalities from the states of Maranhão, Tocantins, Piauí and Bahia, made the state of Tocantins target for large producers, due to the large area for productivity and the low price of their land. Soybean is an abundant source of food for its high protein value. The State of Tocantins produced in the 2014/2015 harvest 2.4 million tons of soy. Population dynamics models, such as the Malthus and Verhulst

models, are applied to perform soybean production and export projections until 2025 in the state of Tocantins, both models being viable for their use, and thus presenting reliable results

**KEYWORDS:** Mathematical Modeling, Soybeans, Tocantins, Malthus Model, Verhulst Model

## 1 | INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, poucos países cresceram tanto quanto o Brasil no comércio internacional de produtos agropecuários. Hoje, o Brasil é um dos líderes mundiais na produção e exportação de vários produtos agropecuários, dentre eles a soja. Em 2013, o Brasil se tornou o maior exportador mundial de soja e desde então, vem mantendo esta posição de líder mundial. Em 2014, o Brasil exportou 45,6 milhões de toneladas de soja em grãos (ANEC, 2015; SECEX, 2015). De acordo com a ABIOVE (2015), foram exportadas 48 milhões de toneladas de soja em 2015. Segundo o United States Department of Agriculture (USDA), na safra 2015/2016 o Brasil será o maior exportador de soja do mundo, com 54,5 milhões de toneladas de soja em grão exportadas, correspondendo num aumento de 9,44% em relação à safra de 2014/2015 (CONAB, 2015).

A cultura da soja além de ser uma fonte abundante para aproveitamento alimentício, o grão possui alto valor proteico (até 50%), o que a torna uma das culturas que vem recebendo mais investimentos, sendo alvo de pesquisadores e suas pesquisas, com o objetivo de melhorar sua qualidade e produtividade (DROS, 2004; MARION, 2004).

Desde a criação do Estado do Tocantins (5 de Outubro de 1988), o mesmo vem crescendo no setor do agronegócio. Novas áreas estão se abrindo para produção, lavouras em crescimento e principalmente o aumento da produtividade. Muitos fatores contribuem para o crescimento da produção de grãos, como água abundante, energia, logística de escoamento e principalmente o uso de novas tecnologias no campo, como manejo do solo, escolha da semente, até a adubação. Hoje o Estado conta com uma área plantada de 1,2 milhão de hectares de soja, com possibilidade para expansão de até 8 milhões de hectares (SEAGRO, 2015).

Em 1990, o Estado contabilizava apenas 35.140 toneladas de soja produzidas por ano. Na safra 2014/2015, esse número saltou para 2,4 milhões de toneladas, ou seja, um aumento de 6,9%. A tendência, é que o crescimento permaneça, com safras recordes (SEAGRO, 2016). “Na safra 2014/15, segundo a Conab (2015), a produção de grãos no Tocantins já cresceu 25,7%. O Estado produziu 4,2 milhões de toneladas de grãos, contra 3,3 milhões da safra passada.

A soja é o carro-chefe da exportação tocantinense sendo responsável por

80,17% dos embarques, pois toda a soja produzida no Tocantins tem uma preferência grande do mercado asiático, principal comprador da leguminosa no mundo, devido ser produzida a soja convencional, vendida em grão, enquanto outros exportadores, plantam a soja transgênica que não corresponde à expectativa de aumento na produtividade.

O trabalho teve como objetivo fazer o uso da modelagem matemática aplicando modelos matemáticos e realizando simulações numéricas para perspectivas futuras de produção e exportação de soja do Estado do Tocantins, a partir dos dados fornecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2015), Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) e Secretaria de Agricultura do Estado do Tocantins (SEAGRO) provenientes das Projeções do Agronegócio.

## 2 | MODELAGEM MATEMÁTICA E MÉTODOS UTILIZADOS

Os modelos matemáticos de simulação são ferramentas que permitem analisar cenários, considerando diversos fatores que influenciam a produtividade das culturas. Dessa forma, é possível avaliar as estratégias mais adequadas em cada condição específica, podendo modificar essa estratégia, caso a mesma não seja a mais adequada (PARIZI, 2010). Na agricultura, podem ser empregados diversos tipos de modelos, mas devido à complexidade dos sistemas agrícolas, assim como de outros sistemas naturais, os modelos de simulação de culturas apenas representam uma aproximação do que ocorre na realidade.

O estudo da dinâmica de populações lida com as variações, no espaço – tempo, das densidades demográficas e tamanhos das populações. Tal estudo, não se restringe apenas à compreensão da variação do número de indivíduos de uma certa população, mas também pode ser aplicado ao estudo do crescimento de animais, controle biológico de pragas, estratégia de crescimento de cidades, estratégias de pesca, dentre outras aplicações. Os modelos matemáticos mais simples e aplicados que tratam da dinâmica populacional são os Modelos de *Malthus* e *Verhulst* (GRACIAS, LOURENÇO, 2010). Esses modelos contam com um inestimável valor histórico: o modelo de *Malthus*, introduziu a percepção de que os recursos da natureza não são inesgotáveis e o modelo de *Verhulst*, deu um passo a mais mostrando que os modelos matemáticos de dinâmica populacional, dentro de suas hipóteses básicas, permitam que se possam fazer previsões bastantes acuradas do crescimento de uma população. Esses modelos tratam do crescimento de populações (CRUZ et al., 2016), porém, é possível aplicá-los no estudo da produção e exportação de soja, pois os dados apresentados nas projeções do agronegócio brasileiro mostram características de crescimento populacional, ou seja, dados com crescimento exponencial e regiões com estabilidade.

## 2.1 Modelo Exponencial – *Malthus*

O primeiro modelo matemático para o crescimento populacional de espécies foi o modelo de *Malthus*, proposto pelo britânico Reverendo Thomas Robert Malthus (1766-1834). Seu primeiro artigo sobre populações surgiu em 1798, e seus trabalhos tiveram grande influência nas ideias de Charles Darwin e Alfred Russel Wallace e, proveu-os com fundamentos básicos para o conceito de seleção natural. A hipótese básica do modelo é que a população cresce sem qualquer restrição, não admitindo fatores que regulam seu crescimento (ZILL, 2009), e é representado por uma equação diferencial de primeira ordem e pode ser escrita da seguinte forma:

$$\frac{dP}{dt} = rP(t) \quad (1)$$

Admitindo-se uma taxa de crescimento contínua, o modelo de *Malthus* apresenta como solução a função:

$$P(t) = P_0 e^{rt} \quad (2)$$

onde  $P_0$  é a população inicial,  $r$  é a taxa de crescimento e  $t$  é o tempo.

O modelo de *Malthus* não prevê qualquer tipo de inibição para o crescimento populacional, ou seja, este modelo pode não ser adequado para representar o que ocorre em muitas populações durante um intervalo de tempo razoavelmente longo.

## 2.2 Modelo de *Verhulst*

O matemático belga Pierre-François *Verhulst* (1804-1849) foi quem propôs o modelo de *Verhulst*, um modelo mais realista, em que introduziu uma equação como um modelo de crescimento da população humana, seguindo uma formulação moderna. O modelo supõe que a população sofre inibições naturais em seu crescimento, ou seja, a população crescerá até um limite máximo, tendendo a se estabilizar (ZILL, 2009), conforme a equação diferencial abaixo:

$$\frac{dP}{dt} = rP\left(1 - \frac{P}{K}\right) \quad (3)$$

A solução da Equação (3) é obtida utilizando o método das variáveis separáveis, juntamente com o uso da técnica de integração de frações parciais, sendo:

$$P(t) = \frac{K.P_0}{P_0 + (K - P_0).e^{-rt}} \quad (4)$$

onde  $P$  é o número de indivíduos no instante  $t$ ,  $K$  representa o valor limite para a população,  $P_0$  é a população inicial,  $r$  é a taxa de crescimento.

## 2.3 Métodos para aplicação dos modelos matemáticos

Para a realização deste trabalho foram aplicados os modelos de *Malthus* e

*Verhulst*, nos quais possuem viabilidade de aplicação ao estudo da produção e exportação de soja do Estado do Tocantins. As Tabelas 1 e 2 representam, respectivamente os dados da produção e exportação de soja no Estado do Tocantins.

Safra	Tempo	Produção (em mil toneladas)
1997/98	0	80,2
1998/99	1	93,8
1999/00	2	136,7
2000/01	3	138,6
2001/02	4	262,5
2002/03	5	377,7
2003/04	6	606,6
2004/05	7	921,3
2005/06	8	700,4
2006/07	9	646,5
2007/08	10	910,9
2008/09	11	856,4
2009/10	12	1071
2010/11	13	1227,1
2011/12	14	1382,9
2012/13	15	1536,4
2013/14	16	2058,2
2014/15	17	2475,7
2015/16	18	1808,8

Tabela 1: Produção de soja no Tocantins.

Fonte: CONAB 2015

Ano	Tempo	Exportação (em mil toneladas)
1997	0	9,4
1998	1	22,7
1999	2	20,5
2000	3	20,4
2001	4	6,4
2002	5	83,7
2003	6	185,2
2004	7	362,6
2005	8	590
2006	9	633,9
2007	10	434,5
2008	11	551,8

2009	12	557,8
2010	13	677,1
2011	14	712,9
2012	15	796,8
2013	16	875,6
2014	17	1243,2
2015	18	1570,5

Tabela 2: Exportação de soja no Tocantins.

Fonte: MAPA 2015

Para utilizar o modelo de *Malthus* na produção e exportação de soja foi considerado que a taxa de crescimento da população  $r$  (Eq. 1) é a taxa de crescimento da produção e exportação de soja no Tocantins. Utilizando os dados da Tabela 1 e aplicando a metodologia do método dos quadrados mínimos para a calibração do modelo foram obtidos os valores da taxa de crescimento  $r$  a produção inicial de soja  $P_0$  (Eq. 2).

Para a calibração do Modelo de *Verhulst*, foi suposto que o parâmetro  $P_0$  (Eq. 4) é muito próximo ao do Modelo de *Malthus* (Eq. 2) e para estimar qual seria o valor limite  $K$  (Eq. 3 e 4) para a produção e exportação de soja no Estado de Tocantins, utilizou-se o método de Ford-Walford (BASSANEZI, 2002). Para obter uma boa estimativa do valor  $K$  é necessário que sejam conhecidos níveis de produção e exportação, no período no qual a taxa de crescimento da produção já começou a estabilizar e não no início do processo, onde o modelo funciona como modelo exponencial (Modelo de *Malthus*). Após obter o valor limite  $K$  para a produção e exportação, a estimativa para a taxa de crescimento  $r$  foi realizada com base nos dados das Tabelas 1 e 2 e na expressão do próprio modelo de *Verhulst*. Isolando-se o valor de  $r$  no modelo, obtém-se:

$$r = -\frac{1}{t} \ln \left[ \frac{P_0 \left( \frac{K}{P} - 1 \right)}{P(K - P_0)} \right] \quad (5)$$

A parte computacional do trabalho foi desenvolvida utilizando os *softwares* Excell® e Gnuplot®.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho para a produção e exportação da soja são apresentados a seguir separadamente. Em cada conjunto de dados, produção

e exportação da soja, aplicando-se os dois modelos propostos acima para verificar qual deles descreve melhor o perfil de produção e exportação, e ao final, realizou-se projeções futuras.

### 3.1 Produção de soja

Os resultados obtidos aplicando os modelos de *Malthus* e *Verhulst* nos dados apresentados na Tabela 1 são apresentados a seguir. Para o modelo de *Malthus* a taxa de crescimento média da produção  $r$  obtida pelo método dos mínimos quadrados, foi de (Eq. 1), com  $P_0 = 117.4 \times 10^3$  toneladas de soja (Eq. 2). A figura 1 apresenta os resultados obtidos com o Modelo de Malthus para os dados da produção de soja (Tabela 1).

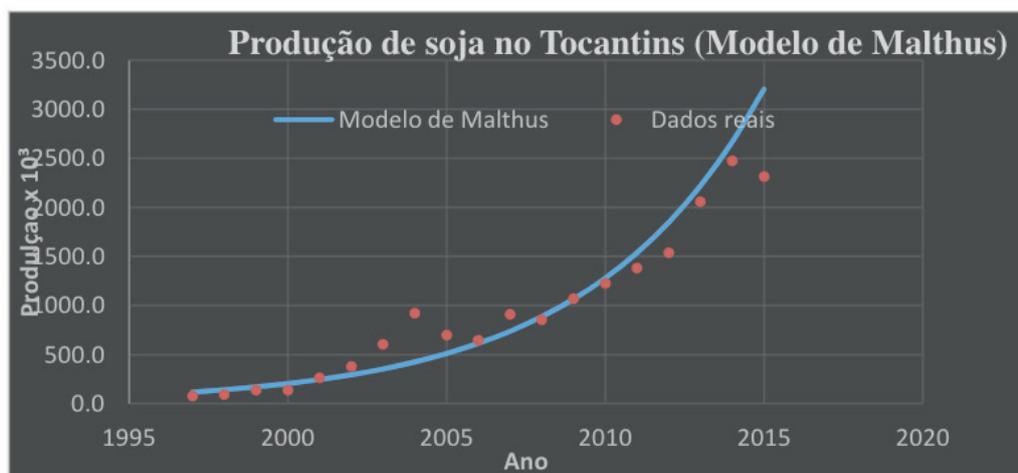


Figura 1: Produção de soja no Tocantins em função do tempo com ajuste do Modelo de Malthus.

Para o modelo de *Verhulst* foi suposto que o parâmetro  $P_0$  é muito próximo ao do Modelo de *Malthus*. O valor limite  $K$  estimado utilizando o método de Ford-Walford. Para obter uma boa estimativa de  $K$ , necessita-se de dados da produção onde a taxa de crescimento começa a se estabilizar. Observando a Tabela 3, nota-se que este fato ocorre a partir de 2008 ( $t = 11$ ).

A estimativa do valor limite  $K$  foi obtida relacionando os valores da produção nos instante  $t$  e  $t + 1$ , e a partir dos pontos obtidos, ajustou-se uma reta que descreve como as produções estão relacionadas,  $P_{t+1} = aP_t + b$ , conforme apresentado na figura 2. Para encontrar este valor, bastou determinar a intersecção desta reta com a bissetriz, supondo que no valor limite, a produção não irá variar,  $P_{t+1} = P_t$ . Desta forma, fazendo a intersecção desta reta com a bissetriz, obteve-se o valor limite da produção.

Tempo	Produção (em mil toneladas)	Crescimento Relativo
11	856,4	-0,059830936
12	1071	0,250583839
13	1227,1	0,145751634
14	1382,9	0,126966017
15	1536,4	0,110998626
16	2058,2	0,339625098
17	2475,7	0,202847148
18	2314,8	-0,06499172

Tabela 3: Crescimento Relativo da Produção de soja no Tocantins

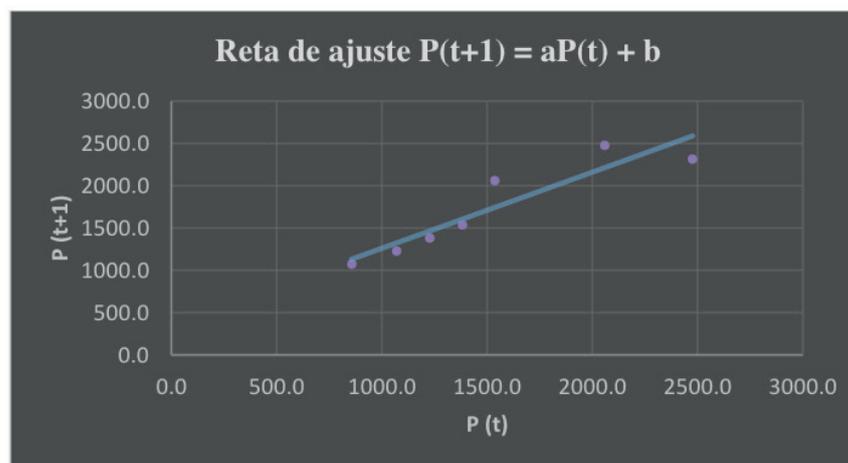


Figura 2: Reta de ajuste para o modelo *Verhulst*

A estimativa para taxa de crescimento  $r$  aplicando o modelo e *Verhulst* foi obtida com base nos valores da CONAB (2015) e na expressão dada pela eq 5. O valor médio do parâmetro  $r$  para período considerado foi de  $r = 0.218118$ . Nos cálculos e simulações, o valor utilizado para  $r = 0.2181$ . A figura 3 apresenta os resultados obtidos com o modelo de *Verhulst* para os dados da produção de soja (Tabela 1).

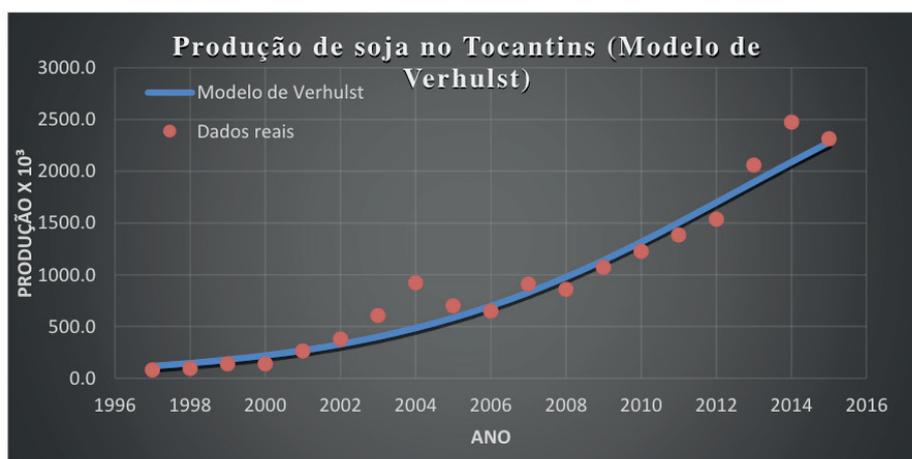


Figura 3: Produção de soja no Tocantins em função do tempo com o ajuste do Modelo de *Verhulst*.

Através dos resultados obtidos uma comparação básica entre os modelos propostos foi realizada a partir do cálculo do erro relativo. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Tempo	Malthus	Verhulst
	$IP_{real} - P_{obs} / P_{obs}$	$IP_{real} - P_{obs} / P_{obs}$
0	0,3166	0,3166
1	0,3349	0,3523
2	0,1933	0,2337
3	0,3194	0,3678
4	0,0727	0,023
5	0,2845	0,1507
6	0,7167	0,5187
7	1,1698	0,9044
8	0,3727	0,202
9	0,0544	0,0729
10	0,2364	0,0995
11	0,0327	0,1225
12	0,0067	0,0597
13	0,0401	0,0673
14	0,0998	0,08
15	0,1677	0,0951
16	0,0719	0,0864
17	0,0712	0,1844
18	0,2773	0,0157
Média	0,2547	0,2080

Tabela 4: Erro Relativo entre os valores obtidos pelos modelos e os valores apresentados pela CONAB

Os resultados mostram que com os ajustes feitos para ambos os modelos (figuras 1 e 3), o modelo de *Verhulst* apresentou o melhor ajuste aos dados da produção de soja. Além disso, observa-se que em média, os erros relativos do modelo de *Verhulst* foram menores que os obtidos pelo modelo de *Malthus* (Tabela 4).

### 3.2 Exportação de soja

O mesmo procedimento feito para a produção de soja no estado do Tocantins foi aplicado para a exportação de soja aplicando os dois modelos propostos aos dados do MAPA (2015) (Tabela 2). A figura 4 apresenta o ajuste do modelo de *Malthus* para os dados de exportação da soja. Para o modelo de *Malthus*, a taxa de crescimento médio para a exportação de soja foi a mesma para a produção, ou seja,  $r = 0.18370$

(Eq. 1), com  $P_0 = 16.041$  toneladas de soja (Eq. 2).

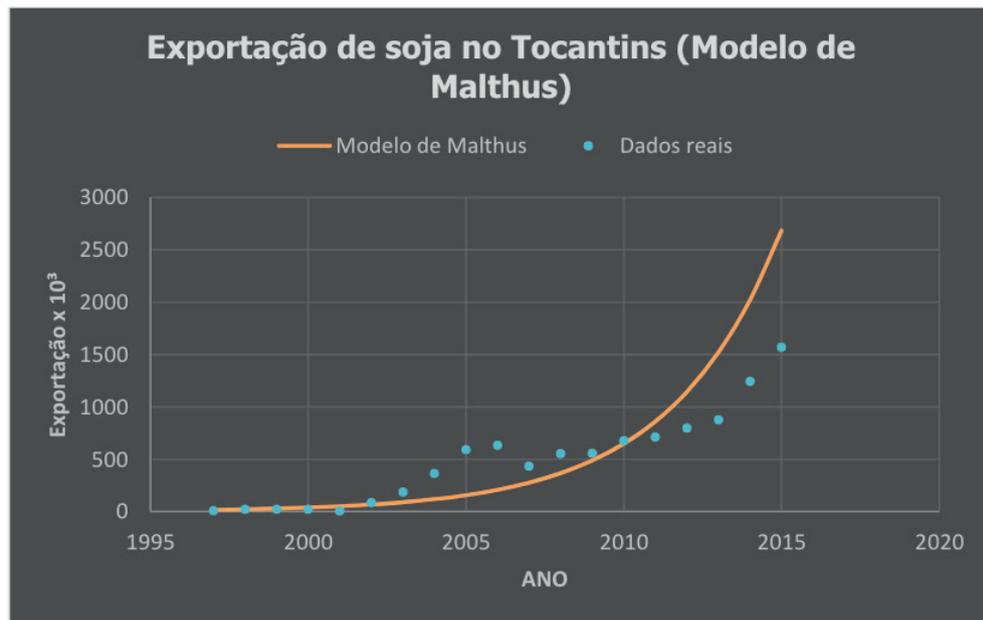


Figura 4: Exportação de soja no Tocantins em função do tempo com ajuste do Modelo de *Malthus*.

Para o modelo de *Verhulst* conforme realizado anteriormente para a produção de soja, obteve-se um valor limite para exportação  $K = 2015,9$  milhões de toneladas de soja, e uma taxa de crescimento  $r = 0.3237$ . A figura 5 apresenta os resultados para o modelo de *Verhulst*.

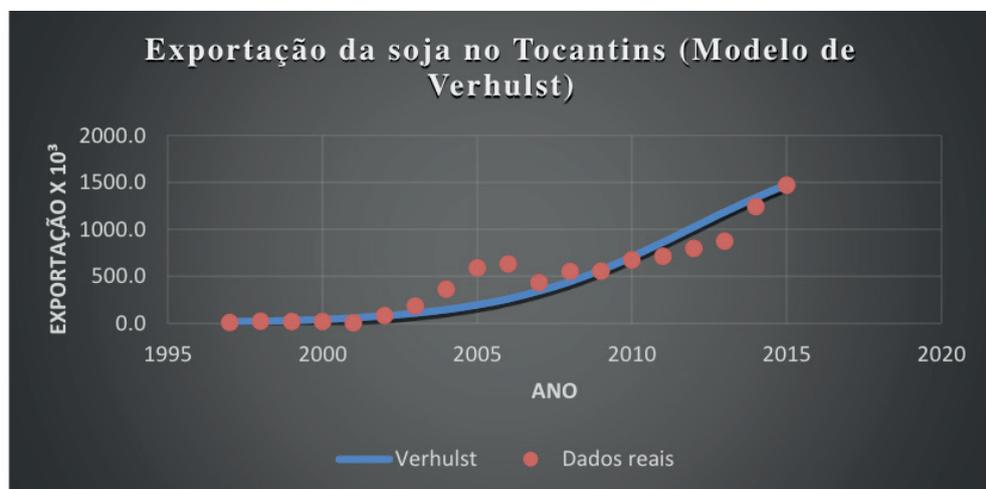


Figura 5: Exportação de soja no Tocantins em função do tempo com o Modelo de *Verhulst*

Observa-se pelas figura 4 e 5 que o Modelo de *Verhulst* apresentou melhor ajuste aos dados de exportação de soja (Tabela 2), observa-se também pela Figura 5 uma tendência à estabilização pois há cada ano, as variações climáticas afetam tanto a produção e consequentemente a exportação.

### 3.3 Projeção da produção e exportação de soja até 2025

Segundo a CONAB (2015) a região MATOPIBA é responsável por 11% da produção brasileira de grãos, que corresponde a uma produção de 10.400 toneladas de soja. A produção de soja nesta região, corresponde à 54,5 % da produção de grãos. Em 2014 a produção de soja foi de 9000 mil toneladas e em 2015 foi de 10559,8 mil toneladas, com expectativa de 12.375 mil toneladas em 2024, segundo o MAPA (2015), com estimativa para a exportação da soja de 66 milhões de toneladas para o mesmo ano. O Tocantins é responsável por 25,7% da produção de soja da região MATOPIBA, conforme a Tabela 5, e estima-se que a produção de soja no Estado em 2024 seja de aproximadamente 3180 mil toneladas (MAPA, 2015).

ANO	PRODUÇÃO	*PRODUÇÃO TOCANTINENSE	EXPORTAÇÃO	**EXPORTAÇÃO TOCANTINENSE
2014	94281	2668,2	46770	1323,59
2015	95871	2713,1	48740	1379,34
2016	100041	2831,2	50710	1435,09
2017	103027	2915,7	52679	1490,82
2018	106480	3013,4	54649	1546,57
2019	109720	3105,1	56619	1602,32
2020	113044	3199,1	58589	1658,07
2021	116330	3292,1	60559	1713,82
2022	119632	3385,6	62528	1769,54
2023	122926	3478,8	64498	1825,29
2024	126223	3572,1	66468	1881,04

Tabela 5: Produção e Exportação Nacional e Tocantinense

Fonte: MAPA (2015).

Como o modelo de *Malthus* não prevê o que ocorre numa população durante um intervalo de tempo razoavelmente longo, as projeções da produção e exportação de soja até 2024 foram simuladas apenas pelo modelo de *Verhulst* (figuras 6 e 7).

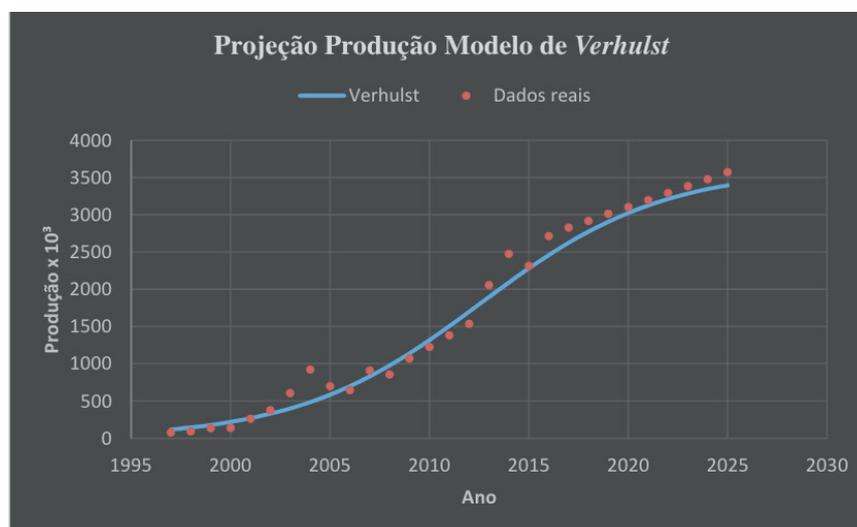


Figura 6: Projeções da Produção de soja no estado do Tocantins até 2025

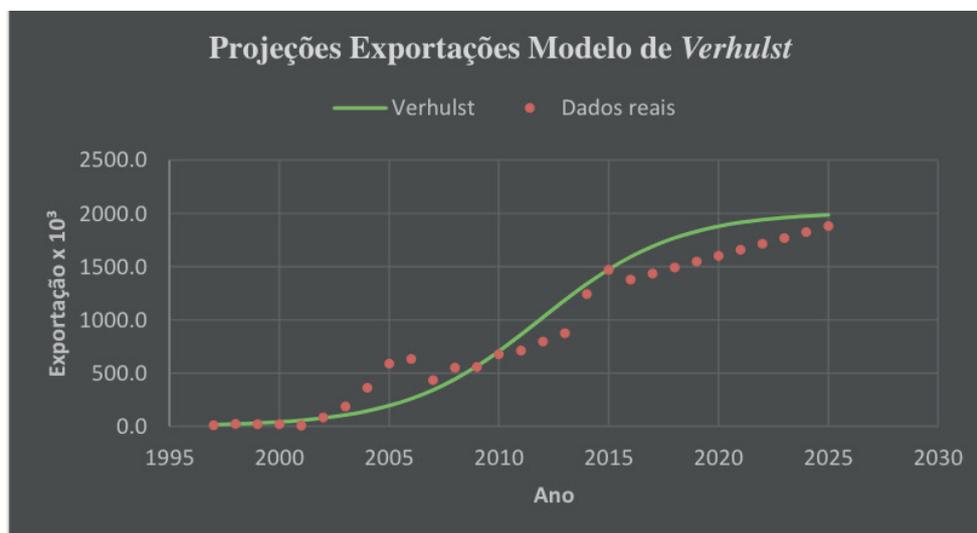


Figura 7: Projeções da Exportação de soja no estado do Tocantins até 2025

Nas Figuras 6 e 7 podemos observar que ambas projeções tendem a se estabilizar próximo ao ano de 2025 quando atingi a capacidade suporte tanto para a produção como para a exportação de soja no Estado do Tocantins.

Com base em todos os resultados obtidos, verificou-se que o melhor modelo que descreve a produção e exportação da soja no estado do Tocantins é o modelo logístico ou modelo de *Verhulst*.

## 4 | CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste trabalho mostram que ambos os modelos utilizados no estudo da dinâmica populacional podem ser utilizados para o estudo da produção e exportação de soja. Analisando os resultados obtidos durante todo o trabalho, o modelo de *Verhulst* foi o que ajustou melhor aos dados tanto para a produção quanto para a exportação da soja no estado do Tocantins.

## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira das Indústrias de óleos vegetais (ABIOVE). **Outras Estatísticas do Comércio Exterior**. Disponível em: <<http://aliceweb.mdic.gov.br>> Acesso em: 31 de maio de 2016

Associação Nacional de produtores de Cereais (ANEC). **Desempenho das Exportações Brasileiras de Grãos**. Disponível em: <<http://www.anec.com.br>> Acesso em: 31 de maio de 2016

BASSANEZI, R. C.; **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática**. São Paulo: Contexto, 2002.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: Conab, 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em 12 de Maio 2016.

CRUZ, P. A.; ROSA, L. P.; CRUZ, L. C. C.; A utilização de modelos matemáticos para análise de

parâmetros populacionais da cidade de Gurupi. **Revista Cereus**, v. 8, n. 1, p. 33-45, Gurupi – TO, 2016.

DROZ, J. M.; **Administrando os avanços da soja**: dois cenários de expansão do cultivo da soja na América do Sul. Amsterdã: AIDEnvironment, 2004. 71p.

GRACIAS A. C; LOURENÇO S. R.; Aplicação de um modelo matemático na simulação da produção e importação de gás natural no Brasil até 2017. **Revista Produção Online**, v.10, n.3, 2010.

MARION, E.; Parâmetros hídricos para estimativa do rendimento de grãos de soja. Florianópolis. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro**. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/pages/AGROSTAT.html>> Acesso em: 22 Maio 2016

PARIZI, A.R.C. Funções de produção das culturas de milho e feijão através de estudo experimental e simulado. 205f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Curso de Pós graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2010.

Secretaria do Comercio Exterior (SECEX). Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=1&menu=4859&refr=1695>> Acesso em: 05 junho 2016.

SECRETARIA AGRICULTURA E PECUARIA DO ESTADO DO TOCANTINS (SEAGRO). **Tocantins avança no setor agropecuário consolidando o setor do agronegócio**. Disponível em: <<http://seagro.to.gov.br/noticia/2015/10/2/tocantins-avanca-no-setor-agropecuario-consolidando-o-setor-do-agronegocio/>> Acesso em: 22 Maio 2016

ZILL, D. G.; **Equações Diferenciais com Aplicações em Modelagem**, CENGAGE Learning-2009.

## APPROACH PROPOSAL FOR CRITICAL SOFTWARE PROCESSES SELECTION FOR SPACE PROJECTS IN VERY SMALL ENTITIES (VSE)

*Data de aceite: 03/12/2019*

### **Gledson Hernandes Diniz**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)  
São José dos Campos - SP

### **Ana Maria Ambrosio**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)  
São José dos Campos - SP

### **Carlos Henrique Netto Lahoz**

Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP)  
São José dos Campos - SP

### **Benedito Massayuki Sakugawa**

Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC)  
São José dos Campos - SP

**ABSTRACT:** Space software projects have different required quality according to their criticality, and their quality is highly influenced by their development lifecycle processes. Since 2010, ISO/IEC 29110 set of standards and guides has been used to assist and encourage Very Small Entities (VSEs), defined by ISO as organizations or projects having up to 25 people, in assessing and improving their software development process. This paper proposes a lightweight set of processes to be applied for critical space software development in VSEs, and the criteria for selecting these processes based on the profiles definition from ISO, applicable to space software and covering the

features of the European Cooperation for Space Standardization (ECSS) set of space software standards.

**KEYWORDS:** Software processes; Profiles; VSE.

## 1 | INTRODUCTION

Standardization is a significant instrument for increasing quality and communication among stakeholders during planning and implementation of projects, while it also helps to reduce risks and costs associated, making business more profitable as less time is spent on non-productive work (Yilmaz, O'Connor, & Clarke, 2016). Standards published by committees, international technical entities or regulatory agencies influence the development of software, through guidelines for processes and software products considering their associated risks (MUNCH, ARMBRUNT, KOWALCZYK, & SOTO, 2012).

One of the possible uses of standardization for software development is the concept of Standardized Profile (SP), which is defined by ISO as a “set of one or more base standards and/or SPs, and, where applicable, the identification of chosen classes, conforming

subsets, options and parameters of those base standards, or SPs necessary to accomplish a particular function”. A possible analogy is that a profile is like a bill of materials composed of parts of standards such as ISO/IEC/IEEE 12207 or ISO/IEC / IEEE 15288. (ISO, 2015)

Although it is commonly assumed that the organizational performance is increased by using reference models for process assessments and improvement (Goldenson & Gibson, 2003), this is not a common practice, as they are usually adopted by just a small number of organizations, mainly large and medium-sized ones (Kalinowski, Weber, Santos, Franco, Duarte, & Travassos, 2015).

Most of the space software have been developed by small groups (Lahoz, Richter, & Rico, 2015), demanding particular attention to this scenario with establishment of process approaches suitable for small organizations. In Europe, 85% of the information technology (IT) sector’s companies have up to 10 employees and in Brazil, IT companies with up to 19 people account for around 95% of companies. (Laporte, Séguin, Boas, & Buasung, 2013)

Agencies such as ESA and NASA have been proponents of space standardization for a long time, but frequently small organizations are not ready to comply with their stringent requirements. Most of the software development standards do not specifically aim the needs of small enterprises, although they represent the majority of software market. (O’Connor & Laporte, 2010)

Research has shown that small organizations usually lack the resources to implement the standards as they do not have the necessary resources and maturity in the development process (Laporte, O’Connor, & Paucar, 2015).

For many small software companies, it is a major challenge implementing controls and structures to properly manage their software development activities (Larrucea, O’Connor, Colomo-Palacios, & Laporte, 2016). Small organizations typically have limited ways to be recognized in their domain as producers of quality systems within budget and schedule, consequently they may be put aside from space projects (Rodríguez-Dapena & Lohier, 2017).

Very Small Entities (VSEs), defined as entities (enterprise, organization, department or project) with up to 25 people, have had their importance developing products and services recognized by industries worldwide (Laporte, Séguin, Boas, & Buasung, 2013), even though ISO acknowledged that many organizations are not ready to fulfil the whole set of requirements from standards such as ISO 15504/330xx (ISO/IEC, 2008) or CMMI (SEI, 2010). Therefore, the ISO/IEC 29110 series of systems and software engineering process standards and guides were developed, aiming a more realistic way of implementing process standardization (Larrucea, O’Connor, Colomo-Palacios, & Laporte, 2016).

The objective of this paper is to present the structure and basic contents of the

proposal approach for selecting processes profiles from a new profile group, which we named VSE Critical Profiles, comprising simplified and flexible sets of processes for software development in VSEs within the space domain compliant with its quality requirements and considering their typical resources limitations.

## 2 | METHODOLOGY

This work comprises an approach for critical software development in VSE, comprising the definition and application of a VSE Critical profile group based on ECSS-Q-ST-80C (ECSS, 2017a) and ISO/IEC 29110 (ISO/IEC, 2011b) standards and related literature.

The profiles approach is issued to give assistance for selection and appliance of processes for space related software development, helping to ensure that a development organization establishes appropriate processes and procedures that result in quality space software.

There is a potential risk in not using the full implementation of the space software specifications from the adopted standards, such as ECSS or NASA. Managing risks on projects includes risk assessment and a mitigation strategy for those risks. Consequently, a risk mitigation scheme must be designed to eliminate or minimize the negative impacts on the project according to the potential impact of this risk.

As a reference approach for determining the kind of assessment to be performed on candidate projects, *Order 8110.49 Chg 1 - Software Approval Guidelines* (FAA, 2011) was used, as in its Chapter 3 it contains information about determining the level of FAA Involvement in Software Projects. That content was reviewed, adapted and used as basis for the evaluation proposed in this paper.

## 3 | RESULTS AND DISCUSSION

This section comprises the proposal for determining critical space software processes affordable for VSE with specific criteria to evaluate projects candidate to use a minimal processes approach based on profiles definition, minimizing the risks by addressing specific profiles to projects given their associated risk based on an evaluation result.

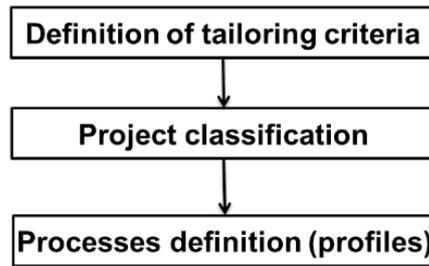


Figure 1 presents the proposed 3-step approach.

Figure 1: 3-step approach

### 3.1 Definition of tailoring criteria

The following considerations are examples of what may influence the profile level to be used in the software development process:

- (1) The software criticality classification level(s), as determined by a dependability and safety analysis of the software products, using the results of system-level safety and dependability analyses.
- (2) The product attributes (such as size, complexity, system functionality or novelty, and software design).
- (3) The use of new technologies or unusual design features.
- (4) Proposals for novel software methods or life cycle model(s).
- (5) The knowledge and previous success of the organization in software development to comply with the objectives of space software standards (ECSS).

Therefore, to determine which parameters impact process selection for space software projects in VSE, this first step comprises an evaluation of the project's characteristics to determine the tailoring criteria, shown in Figure 2.

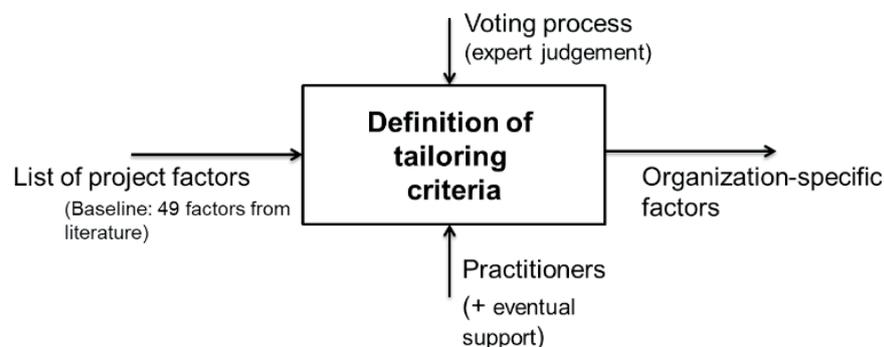


Figure 2: Determination of tailoring criteria

## 3.2 Project classification

### 3.2.1 General

This section provides the criteria for determining to what extent apply the

presented profiles in determining the software aspects for a given project:

- When the Software Product Assurance (SwPA) should be involved (for example, planning, development, integration/verification, or final software approval).
- The extent of SwPA involvement in the project (for example, how many reviews are conducted; how much surveillance is delegated; and how much and what types of documented data are reviewed, submitted for approval and approved).
- The areas for SwPA involvement, parts of the software processes where the SwPA should focus its involvement to ensure fulfillment of the appropriate objectives (for example, focus on plans, design, or code).

Figure 3 illustrates this step.

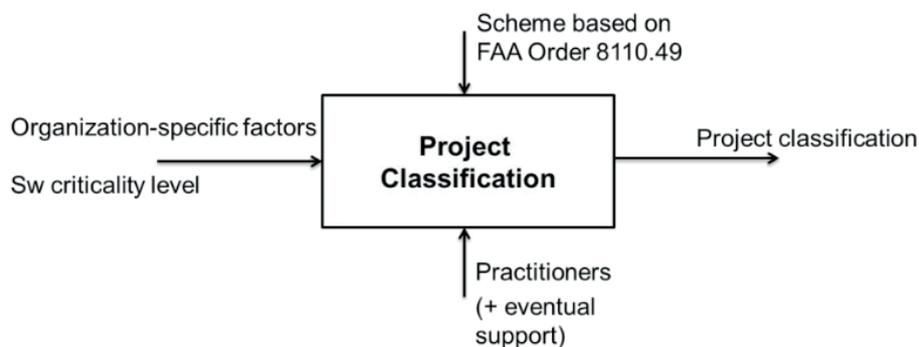


Figure 3: Project classification

### 3.2.2 Determining the tailoring criteria

This section discusses the usage of tailoring criteria for determining the Profile to be applied in the software project. An assessment has to be carried out and documented at the start of the software development project to enable the SwPA to plan and address the project details as early as possible. There are two major areas of criteria: software criticality level and project-specific aspects.

#### a. Software criticality classification criteria

The first criterion for determining the PLA for the software aspects of a project is the software criticality classification of the software product being developed or modified, which comes from a system-level analyses that leads to the criticality classification based on the severity of failures consequences.

The software criticality classification is used as a starting point, applied as shown in Table 1. For example, a Level D software project would initially indicate a PLA ONE; however, a Level A project might lead to PLA THREE or N/A. For the cases where the proposed profiles are considered not applicable (N/A), the project is supposed to adopt the original standards of the given area, ECSS in this case.

Software criticality	Profile Level
D	ISO/IEC 29110 or ONE
C	ONE or TWO
B	TWO or THREE
A	THREE or N/A

Table 1: Software criticality classification criteria

### b. Project-specific criteria

Table 1 shows duality for all software criticality classifications. Therefore, it is necessary to look at other relevant project criteria for determining the PLA. In this work, the project criteria proposed are divided in organization and product. The organization aspects are summarized in Table 2, the product aspects in Table 3, and the uses of those tables are explained in section 3.2.3.

#	Criteria	Scale	Grade			Score
			Min		Max	
1.	Developer critical software experience					
1.1	Experience with space software development.	Scale:	0	5	10	_____
		Experience:	< 2 yrs	2 - 4 yrs	4 yrs	
1.2	Experience with ECSS system.	Scale:	0	5	10	_____
		Experience:	< 2 yrs	2 - 4 yrs	4 yrs	
1.3	Experience with other critical software standards.	Scale:	0	5	10	_____
		Experience:	< 2 yrs	2 - 4 yrs	4 yrs	
2.	Demonstrated software development capability					
2.1	Capability assessments (i. e.: SEI CMM, ISO 9001)	Scale:	0	5	10	_____
		Ability:	Low	Med	High	
2.2	Development team experience average based on relevant software development experience.	Scale:	0	5	10	_____
		Experience:	< 2 yrs	2 - 4 yrs	4 yrs	
3.	Developer software service history					
3.1	Entity software quality assurance organization and configuration management process.	Scale:	0	5	10	_____
		Quality:	Low	Med	High	
Organization Score:						_____

Table 2: Organization Criteria

4.	System and software application					
4.1	Complexity of the system architecture, functions and interfaces.	Scale:	0	5	10	_____
		Complex:	High	Med	Low	
4.2	Complexity and size of the software and safety features.	Scale:	0	5	10	_____
		Complex:	High	Med	Low	
4.3	Novelty of design and use of new technology.	Scale:	0	5	10	_____
		Newness:	Much	Some	None	
4.4	Software development and verification environment.	Scale:	0	5	10	_____
		Environ:	None	Older	Modern	
Product Score:						_____

Table 3: Product Criteria

### 3.2.3 Criteria description

#### 1. Developer Software Certification Experience

##### 1.1 Experience with space software development.

Time (in years) during which the developer entity has worked with space software projects.

##### 1.2 Experience with ECSS system.

Time (in years) during which the developer entity has worked with ECSS system based space software projects.

##### 1.3 Experience with other critical software standards.

Time (in years) during which the developer entity has worked with critical software projects.

#### 2. Demonstrated software development capability

##### 2.1 Capability assessments (i. e.: SEI CMM, ISO 9001)

Previous capability assessments reports results.

2.2 Development team experience average based on relevant software development experience.

Team's experience in software projects considered similar to the project under evaluation.

#### 3. Developer software service history

3.1 Entity software quality assurance organization and configuration management process.

Evaluation of the entity's organization and processes maturity.

#### 4. System and software application

##### 4.1 Complexity of the system architecture, functions and interfaces.

Number of different functions and interfaces of the system under development.

4.2 Complexity and size of the software and safety features.

Number of safety features and their size.

4.3 Novelty of design and use of new technology.

Number or percentage of new features and/or methodology of the system under development.

4.4 Software development and verification environment.

Maturity of the development and verification environment.

**3.3 Adequate Profiles Selection**

As result of the software development project assessment the Profile Level Applicability (PLA) is defined as described in Figure 3, allowing the usage of Table 3 for the selection of adequate profiles for software projects.

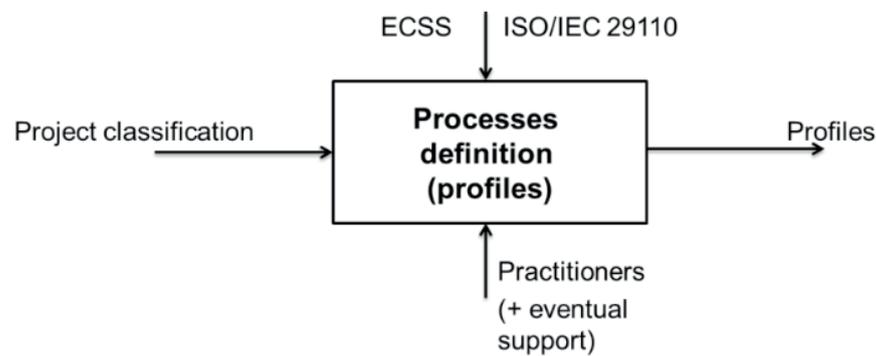


Figure 3: Process definition

Project score	Software Criticality Level			
	A	B	C	D
$70 < s$	N/A	THREE	TWO	ONE
$35 < s \leq 70$	N/A	TWO	TWO	ISO/IEC 29110
$s \leq 35$	THREE	TWO	ONE	ISO/IEC 29110

Table 3: Profile Level Applicability

**4 | CONCLUSION**

Based on the Profile Level Applicability (PLA) results, VSEs are able to use a profile from the VSE Critical Profile Group, which considers their limitations, comprising a simplified and flexible set of processes.

The next steps of this work are: conduction of software projects case studies; and evaluation of the completeness, applicability and usability of the proposed VSE Critical Profile Group for critical space software.

## REFERENCES

- ECSS. (2017a). ECSS-Q-ST-80C-Rev.1. **Space product assurance - Software product assurance**. Noordwijk, The Netherlands: ESA Requirements and Standards Division.
- FAA. (28 de 9 de 2011). Order 8110.49 Chg 1. **Software Approval Guidelines**. United States of America: U.S. Department of Transportation.
- Goldenson, D. R., & Gibson, D. L. (2003). **Demonstrating the impact and benefits of CMMI: An update and preliminary results**. *SEI Special Report*.
- ISO. (2015). ISO 9000:2015. **Quality management systems — Fundamentals and vocabulary**. ISO.
- ISO/IEC. (2008). ISO/IEC 15504. **Software process assessment - Software Process Improvement and Capability Determination (SPICE)**. ISO.
- ISO/IEC. (2011b). *ISO/IEC TR 29110-5-1-2 - Software engineering — Lifecycle profiles for Very Small Entities (VSEs) — Part 5-1-2: Management and engineering guide: Generic profile group: Basic profile*. Geneva - Switzerland: ISO.
- Kalinowski, M., Weber, K., Santos, G., Franco, N., Duarte, V., & Travassos, G. (September de 2015). **Software Process Improvement Results in Brazil Based on the MPS-SW Model**. *Software Quality Professional*, pp. 14 - 28.
- Lahoz, C. H., Richter, S., & Rico, D. E. (2015). **Rapid Software Process Assessment in the space domain for Very Small Entities**. *ESA Software Product Assurance Workshop*. Frascati, Italy.
- Laporte, C. Y., O'Connor, R. V., & Paucar, L. H. (2015). **The Implementation of ISO/IEC 29110 Software Engineering Standards and Guides in Very Small Entities**. *10th International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering*, (pp. 162-179). Barcelona, Spain.
- Laporte, C. Y., Séguin, N., Boas, G. V., & Buasung, S. (2013). **Small tech firms: Seizing the benefits of software and systems engineering standards**. *ISO Focus+*, 32-35.
- Larrucea, X., O'Connor, R. V., Colomo-Palacios, R., & Laporte, C. Y. (March-April de 2016). **Software Process Improvement in Very Small Organizations**. *IEEE Software*, pp. 85 - 89.
- MUNCH, J., ARMBRUNT, O., KOWALCZYK, M., & SOTO, M. (2012). **Software Process Definition and Management**. Berlin: Springer-Verlag.
- O'Connor, R., & Laporte, C. (21-23 de June de 2010). **Towards the Provision of Assistance for Very Small Entities in Deploying Software Lifecycle Standards**. *11th International Conference on Product Focused Software Development and Process Improvement (Profes2010)*.
- Rodríguez-Dapena, P., & Lohier, P. (2017). **How small organizations could participate in Space projects**. *MAS2017*.
- SEI. (Nov de 2010). CMMI-DEV, V1.3. **CMMI for Development, Version 1.3**. Pittsburgh, PA, USA: Carnegie Mellon University.
- Yilmaz, M., O'Connor, R. V., & Clarke, P. (2016). **Effective Social Productivity Measurements during Software Development - An Empirical Study**. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*.

## 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.

## CADEIA DO QUEROSENE DE AVIAÇÃO NO BRASIL EM UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Data de aceite: 03/12/2019

**Pedro Henrique Beghelli**

Universidade de Brasília, Faculdade UnB Gama -  
Brasília – DF

**Josiane do Socorro Aguiar de Souza  
Oliveira Campos**

Universidade de Brasília, Faculdade UnB Gama -  
Brasília – DF

**Maria Vitória Duarte Ferrari**

Universidade de Brasília, Faculdade UnB Gama -  
Brasília – DF

**RESUMO:** Este trabalho teve como finalidade investigar a cadeia logística de abastecimento do querosene de aviação (QAV) nos vinte principais aeroportos do Brasil no ano de 2017. Essa investigação foi motivada pelas perguntas: Quais os fatores que tornam os preços das passagens aéreas diferentes em cada cidade? Quais os fatores para o preço do querosene de aviação nos principais aeroportos brasileiros ser maior do que em outros aeroportos pelo mundo? A metodologia do artigo se baseou em levantamento de dados, informações e referencial teórico. Os objetivos específicos do trabalho foram criar um projeto em uma multiplataforma de sistema de informação geográfica com código fonte aberto, QGIS, construir um banco de dados,

espacializar e analisar os dados. Cartogramas foram construídos com a localização das fontes de produção, com os modais de distribuição e com os aeroportos, a fim de compreender a dimensão espacial desta cadeia produtiva. Além disso, foram levantados dados e informações sobre o setor referentes ao ano de 2017 como o volume de QAV importado e produzido no país, o consumo ao longo do ano, os modais de transporte utilizados na distribuição do combustível, o preço médio final do combustível e os critérios usados na composição do preço. Estes dados foram submetidos a uma análise em conjunto com os produtos cartográficos. O resultado dessa análise revelou que a principal causa para o elevado preço do QAV no Brasil é a carga tributária. Portanto, a principal ação que poderia ser tomada para a redução deste preço seria a redução e a isonomia do ICMS sobre QAV nos Estados. Além disso, outra opção é a redução dos custos a partir do incentivo ao uso de outros modais como ferrovias e hidrovias como complementares ao rodoviário para o transporte do combustível.

**PALAVRAS-CHAVE:** Querosene de aviação; Cadeia de distribuição; Aeroportos brasileiros

### 1 | INTRODUÇÃO

O preço crescente das passagens aéreas para voos domésticos no Brasil é mais uma

realidade incômoda enfrentada pelos brasileiros. Entre o período de maio de 2018 e abril de 2019, por exemplo, as passagens aéreas ficaram em média 35% mais caras. Esse fato foi causado por diferentes fatores como a crise e o processo de recuperação judicial vividos pela companhia aérea Avianca Brasil. Independentemente disto, já se tornaram habituais aos brasileiros notícias como esta da elevação do preço das passagens aéreas e de companhias aéreas brasileiras em crise. A partir desses fatos surgiu a motivação para se investigar a justificativa das empresas aéreas pela manutenção desses preços (Portal de Notícias G1, 2018).

Ao analisar o balanço financeiro das companhias aéreas brasileiras, observou-se que o principal custo de um voo operado é o valor do querosene de aviação (CNT, 2015).

O Desempenho Econômico-Financeiro das empresas aéreas comerciais regulares e o balanço das despesas entre os anos de 2010 e 2017 mostram que os percentuais dos custos com combustíveis e lubrificantes tiveram destaque na precificação das passagens aéreas (ANAC 2010, 2017).

Ao longo desse período a despesa com combustíveis oscilou entre 24,5% e 39% do custo total das empresas e no ano de 2017 atingiu a taxa de 27,5%. Segundo o mesmo documento, o preço do querosene em dezembro de 2016 era R\$1,46 e em dezembro de 2017 era R\$1,81, um aumento de 24%. Essas variações podem causar instabilidade e ter reflexos negativos tanto para o consumidor, quanto para a saúde financeira da própria empresa (ANAC,2017).

O preço do Querosene de Aviação (QAV) nos aeroportos brasileiros é superior ao de outros países (CNT, 2015). Essa informação foi ratificada posteriormente pela Associação Brasileira das Empresas Aéreas (ABEAR) que elaborou o gráfico da figura 1. Pode-se verificar uma diferença de preços entre os aeroportos brasileiros, sendo que o valor mais alto foi verificado no aeroporto de Vitória (ES) com 3,34 \$/litro e o aeroporto do Guarulhos (SP) com 2,07 \$/litro.

## Preço do querosene de aviação em diversos aeroportos do mundo (2016)

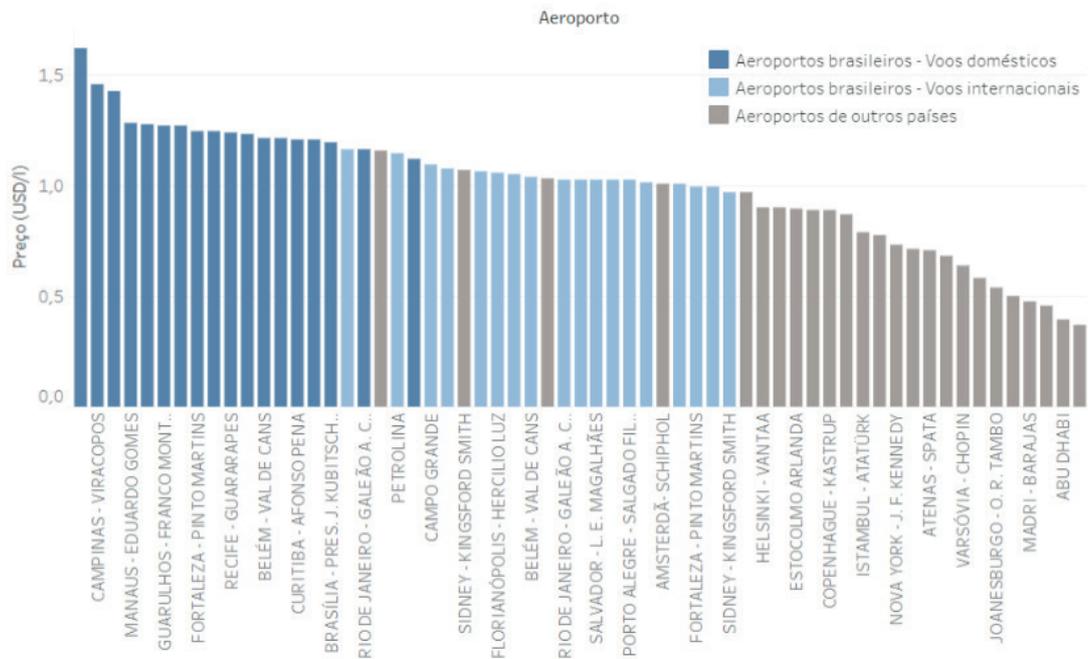


Figura 1: Gráfico de comparação do preço, em dólar, do QAV entre aeroportos brasileiros e outros países.

Fonte: ABEAR, 2016

Este trabalho teve como finalidade investigar a cadeia logística de abastecimento do querosene de aviação (QAV) nos vinte principais aeroportos do Brasil no ano de 2017. Esta investigação foi motivada pelas seguintes perguntas: Qual(is) o(s) motivo(s) da significativa divergência de preços das passagens aéreas praticados entre os principais aeroportos brasileiros? Qual(is) a(s) explicação(ões) para os preços do querosene de aviação nos principais aeroportos brasileiros serem maiores do que em outros aeroportos pelo mundo?

## 2 | OS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente foram coletados todos os dados considerados importantes para a compreensão da dimensão do mercado de querosene de aviação no Brasil seguindo a lógica apresentada no fluxograma da Figura 2.

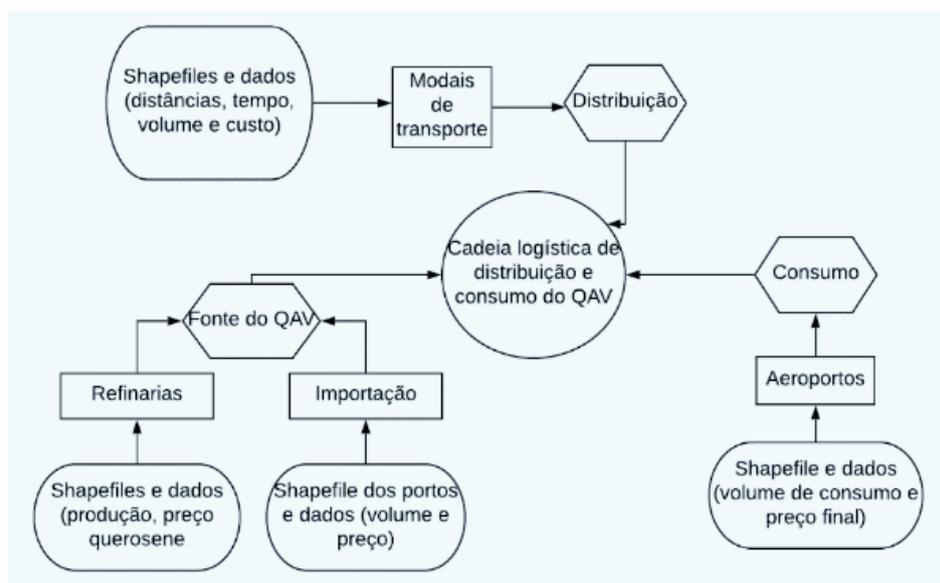


Figura 2: fluxograma de dados coletados

Fonte: Autores, 2019.

A especificação dos dados e informações coletados para o desenvolvimento do trabalho é apresentada no Quadro 1.

Cod	Dado
a)	Lista das companhias aéreas da aviação regular em 2017
b)	Lista do tipo das aeronaves e do tipo de combustível usadas pelas companhias aéreas
c)	Nome, localização e quantidade de QAV produzido em cada refinaria produtora
d)	Lista dos países que exportam QAV e quantidades importadas do combustível pelo Brasil
e)	Listagem dos 20 principais aeroportos brasileiros usados pelas companhias aéreas regulares em 2017
f)	Listagem das empresas distribuidoras de QAV para os aeroportos brasileiros
g)	Listagem dos modais de transporte do QAV entre as refinarias ou portos até os 20 principais aeroportos brasileiros
h)	Preço médio final dos combustíveis nos aeroportos
i)	Espacialização dos dados em QGIS
j)	Coleta de informações sobre a composição do preço do QAV no Brasil

Quadro – Critérios para coleta de dados e informações sobre a cadeia d

Fonte: Autores, 2019.

Os dados coletados foram selecionados, tratados e transformados em atributos com geo-objetos nas camadas no Sistema Geográfico de Informações QGIS. Uma breve discussão e análise da dimensão do mercado de combustível de aviação, a logística de transporte e os gargalos desse mercado que tornam o preço do QAV diferente entre os aeroportos brasileiros e mais caro do que em outros países pelo mundo.

### 3 | OS RESULTADOS ELABORADOS

Nesta seção estão apresentados os dados coletados de acordo com os critérios já descritos na metodologia e os dados especializados no QGIS.

#### a) Listagem das companhias aéreas da aviação regular em 2017

No quadro 4 estão listadas todas as companhias aéreas que operaram voos regulares em 2017, num total de doze empresas. Dentre essas, as empresas Azul, Gol, Latam e Avianca responderam por 99,1% dos transportes de passageiros em voos domésticos (ANAC, 2017).

Todas as Empresa Regulares	Modelo da Aeronave	Todos modelos utilizam QAV?
Abaete	Cessna Citation CC550	SIM
Azul	A320, E195,E190	SIM
Gol	B737-8, B737-7	SIM
Avianca	Família Airbus	SIM
Passaredo	ATR-72	SIM
Rio Linhas Aéreas	B767	SIM
Sideral	B767	SIM
Latam	Família Airbus + B777. B767	SIM
Total Linhas Aéreas	ATR 42-500, B727	SIM
Absa	Informação não encontrada	-
Modern	Informação não encontrada	-
MAP	Informação não encontrada	-

Quadro 4 - Empresas aéreas e os seus respectivos modelos de aeronaves

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos dados da ANAC, 2017

#### b) Tipo das aeronaves e tipo de combustível

Na aviação civil, privada ou comercial, existem basicamente dois tipos de combustíveis que são usados de acordo com o modelo da aeronave: gasolina de aviação e o querosene de aviação. No quadro, mostram-se os modelos das aeronaves de cada companhia aérea e o tipo de combustível usado. Como se observa todos os veículos usam o mesmo tipo de combustível que é o Querosene de Aviação.

#### c) Nome, localização e quantidade de QAV produzido em cada refinaria produtora no Brasil

No total existem nove refinarias nacionais pertencentes a Petrobras S.A. que produzem QAV para abastecimento do mercado interno mostradas na Tabela 1. O preço médio do QAV vendido pelas refinarias em 2017 foi de R\$1,57 por litro sem os impostos.

Refinaria	Produção total 2017-m <sup>3</sup>
Refinaria Henrique Lage (Revap) -SP	1.957.106
Refinaria de Paulínia (Replan) - SP	1.246.746
Refinaria Presidente Getúlio Vargas (Repar) - PR	301.037
Refinaria Isaac Sabbá (Reman)-AM	147.135
Refinaria Gabriel Passos (Regap)-MG	470.518
Refinaria Alberto Pasqualini (Refap) -RS	205.389
Refinaria Duque de Caxias (Reduc) - RJ	1.326.731
Refinaria Landulpho Alves (RLAM)– BA	335.213
Refinaria Potiguar Clara Camarão – RN	178.725

Tabela 1: Refinaria x produção total de 2017 em m<sup>3</sup>

Fonte: ANP, 2018a

No ano de 2017 a produção total de QAV pelas refinarias brasileiras 1 foi de 6.168.600 metros cúbicos. Contudo, esta produção não foi suficiente para abastecer a consumo nacional, suprimindo cerca de 92%. Ainda segundo a ANP (2018b), o consumo total nacional em 2017 foi de 6.694.180 m<sup>3</sup>.

A Figura 5 apresenta o consumo do combustível por estado que contém um ou mais aeroportos dentre a lista dos vinte principais segundo a ANAC (2017). O consumo de QAV somado destes Estados foi de 6.400.606 metros cúbicos, um consumo de quase 4% acima da produção nacional.

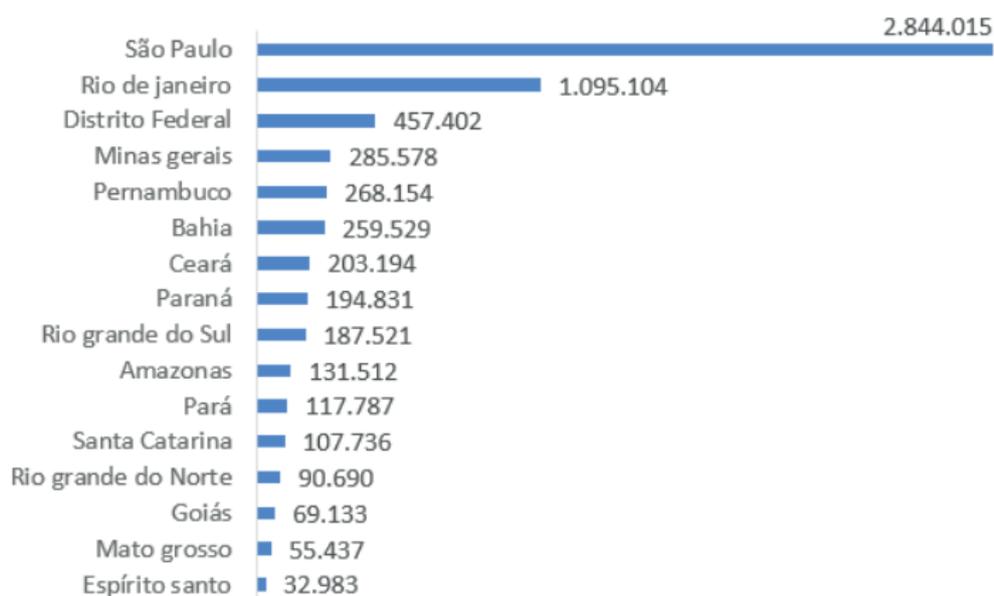


Figura 5: Consumo por Estado que contém um ou mais aeroportos dentre a lista dos vinte principais aeroportos brasileiros segundo a ANAC (2017).

Fonte: Elaborado com dados da ANP, 2018

Esse déficit da produção nacional no abastecimento do QAV para o consumo

nacional foi compensado com a importação de aproximadamente 8%.

#### **d) Países que exportam QAV e as respectivas quantidades importadas do combustível pelo Brasil**

O Brasil não foi autossuficiente na produção do QAV em 2017 e necessitou importar combustível de quatro países (ANP,2018), conforme demonstrado na tabela 2.

<b>País exportador</b>	<b>Porcentagem da importação</b>	<b>Total importado em m<sup>3</sup> - 2017</b>
EUA	44%	250,7
Arábia Saudita	9%	50,1
Kuwait	39%	223,3
Cingapura	9%	51,8
Total	575,8	[m3]

Tabela 2: País e quantidade exportada em m<sup>3</sup>

Fonte: ANP, 2018

O desembarque destes volumes importados é feito historicamente por quatro portos marítimos: Porto de Suape (PE), Porto de Santos (SP), Porto de São Sebastião (RJ) e Porto de São Luís (MA) (Slide ANP, 2017). No ano de 2017 o Porto de Suape desembarcou 99,6% do total importado e o Porto de Santos 0,4% (SISCOMEX,2018). Em 2017, o preço da importação na condição de venda do QAV nos portos brasileiros foi de R\$2,00/Litro (SISCOMEX,2018).

#### **e) Principais aeroportos brasileiros utilizados pelas companhias aéreas regulares em 2017**

O termo aeroporto é utilizado para definir os aeródromos de uso público que contém infraestrutura de apoio para a operação de aeronaves e para o embarque e desembarque de passageiros (CBA,). Em 2017 de cerca de 2500 aeródromos no Brasil, 124 aeroportos receberam voos regulares e não regulares. Dentre estes, estão os vinte principais aeroportos do país, analisados por esse trabalho e que foram responsáveis pelo tráfego de 82,3% das decolagens domésticas em 2017 (ANAC, 2017).

#### **f) Listagem dos modais de transporte do QAV entre as refinarias ou portos até os 20 principais aeroportos brasileiros**

Os modais de abastecimento são duto vias, caminhões e navegação de cabotagem. A figura 6 sintetiza esse processo. O combustível produzido nas refinarias ou importado são direcionados para tanques ou *pools* de armazenamento por meio de dutos ou barcos. A partir desses tanques o transporte até os aeroportos é feito de modo geral por caminhões-tanque. Cerca de 50% da distribuição é feita por rodovias, em um país de dimensões continentais.



A malha duto viária que conecta a refinaria de REVAP até o aeroporto de Guarulhos tem em torno de 120 quilômetros e além disso dentro do aeroporto há uma malha de 9,5 quilômetros para transporte do QAV (CNT, 2018).

O custo do transporte de QAV por um duto entre a refinaria REDUC e o Aeroporto do Galeão é de 6,48 R\$/m<sup>3</sup>. Já o trajeto do QAV da refinaria REVAP até o aeroporto de Guarulhos passa por diferentes dutos e por um terminal que abastece o consumo da região. Os preços de transporte da refinaria REVAP até o Terminal de armazenamento de Guarulhos, passando pelo duto OSVAT 22/RV22 (REVAP-Terminal Guararema) e o duto OSVAT 22/GG22 (GUARAREMA – Terminal Guarulhos) são respectivamente 9,16 R\$/m<sup>3</sup> e 11,54 R\$/m<sup>3</sup>. Por fim, o abastecimento duto viário do Terminal Guarulhos até o Aeroporto de Guarulhos custa 5,35 R\$/m<sup>3</sup> (Transpetro, 2018). Portanto um total de aproximadamente 26 R\$/m<sup>3</sup>.

#### **g) Listagem das empresas distribuidoras de QAV para os aeroportos brasileiros**

posteriormente ao processo de venda da produção nacional ou do volume importado de combustível há a fase de venda e distribuição deste aos vinte principais aeroportos (figura 6). O mercado de distribuição é dominado por três empresas principais. Pode-se dizer que a BR Distribuidora e Raízen vendem QAV em todos os aeroportos listados; Air BP vende para os aeroportos de Brasília, Cuiabá, Curitiba, Galeão, Guarulhos, Goiânia, Belo horizonte, Recife, Congonhas, Vitoria e Ribeirão Preto. Tais informações foram obtidas a partir dos próprios sítios institucionais das respectivas empresas (Shell, 2019), (AirBP, 2019) e (BR Aviation, 2019).

#### **h) Preço médio final dos combustíveis nos aeroportos**

O anuário estatístico de 2018 da Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2018) divulgou a informação sobre preços ao consumidor de apenas alguns aeroportos e estes valores estão mostrados na Figura 7. Os preços apresentados não incluem a incidência do ICMS. O preço médio ao consumidor em 2017 foi de R\$ 1,843.



Figura 7: Preços repassados ao consumidor final.

Fonte: Gráfico elaborado com dados da ANP,2018

## i) Espacialização dos dados em QGIS

A espacialização dos dados coletados será mostrada seguindo a sequência cronológica da cadeia de distribuição do QAV. A Figura 8 apresenta as localizações das refinarias produtoras de QAV e dos portos que historicamente desembarcam o combustível. Nessa figura, observa-se que a maior produção de QAV do Brasil está na região Sudeste, que corresponde a 81% da produção nacional.

Ao acrescentar ao cartograma da Figura 8 os vinte principais aeroportos do ano de 2017, obteve-se a Figura 9. A partir desta figura torna-se evidente a relativa proximidade da maioria dos aeroportos consumidores com uma fonte do querosene de aviação, seja de uma refinaria ou de um porto. Os aeroportos de Goiânia (GO), Brasília (DF), Cuiabá (MT), Vitória (ES), Florianópolis (SC) são os mais distantes de uma fonte de QAV.

Observa-se ainda que os principais aeroportos brasileiros estão próximos a região litorânea ou com via de acesso ao mar, como no caso de Manaus. Na região central do país apenas os aeroportos de Brasília, Goiânia e Cuiabá figuram na lista dos aeroportos mais movimentados do país. Vale destacar que no ano de 2017, o aeroporto de Juscelino Kubitschek em Brasília teve o 3º maior volume de decolagens do país com 8,9%, contra os 12,8% de Guarulhos (SP) e os 11,7% de Congonhas (SP).

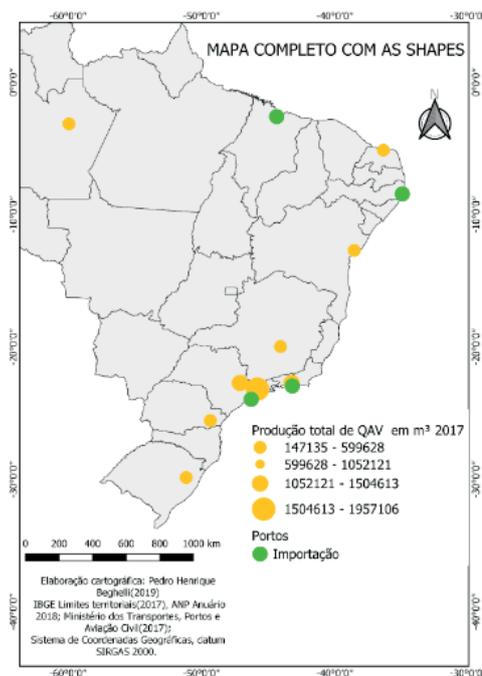


Figura 8: Portos e refinarias

fornecedoras de QAV

Fonte Figura 8: Elaborado a partir de IBGE Limites Territoriais (2017), Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (2017), ANP Anuário (2018), Fontes de base EPE – Refinarias de Petróleo Instalada (2017)

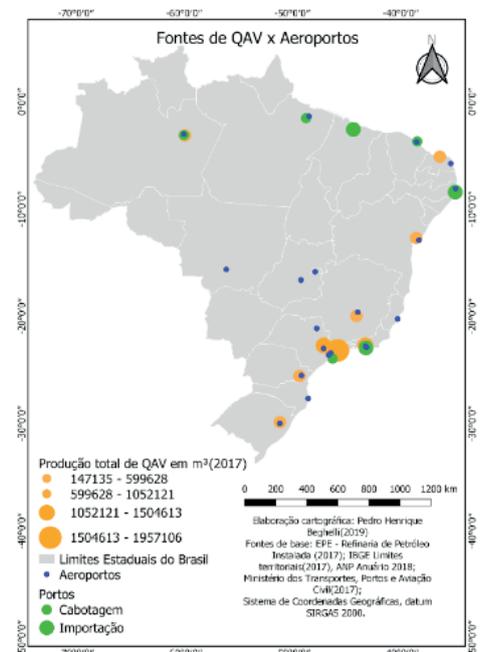


Figura 9: Fontes de QAV x

Aeroportos

Fonte Figura 9: Elaborado a partir de IBGE Limites Territoriais (2017), Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (2017), ANP Anuário (2018), Fontes de base EPE – Refinarias de Petróleo Instalada (2017)

A Figura 10 evidencia a relação de proximidade entre os maiores consumidores e as principais fontes do combustível. A região Sudeste foi responsável por fornecer 81% do QAV ao mercado, porém foi a responsável por 63% do consumo no ano de 2017. O excedente da produção na região foi fornecido para os aeroportos da região Centro-Oeste.

Essa distribuição para o Centro-Oeste se dá por meio do transporte rodoviário com caminhões-tanque que percorrem distâncias entre 1500 e 800 km. A malha rodoviária utilizada para o abastecimento de aeroportos distantes de refinarias é visualizada na Figura 11. Aproximadamente 6 dos 20 principais aeroportos brasileiros distam um raio maior do que 200 km da fonte de combustível. Além das grandes distâncias o transporte rodoviário é o mais utilizado no transporte de curtas distâncias para aqueles aeroportos que estão próximos a refinarias como no caso de Salvador (BA).

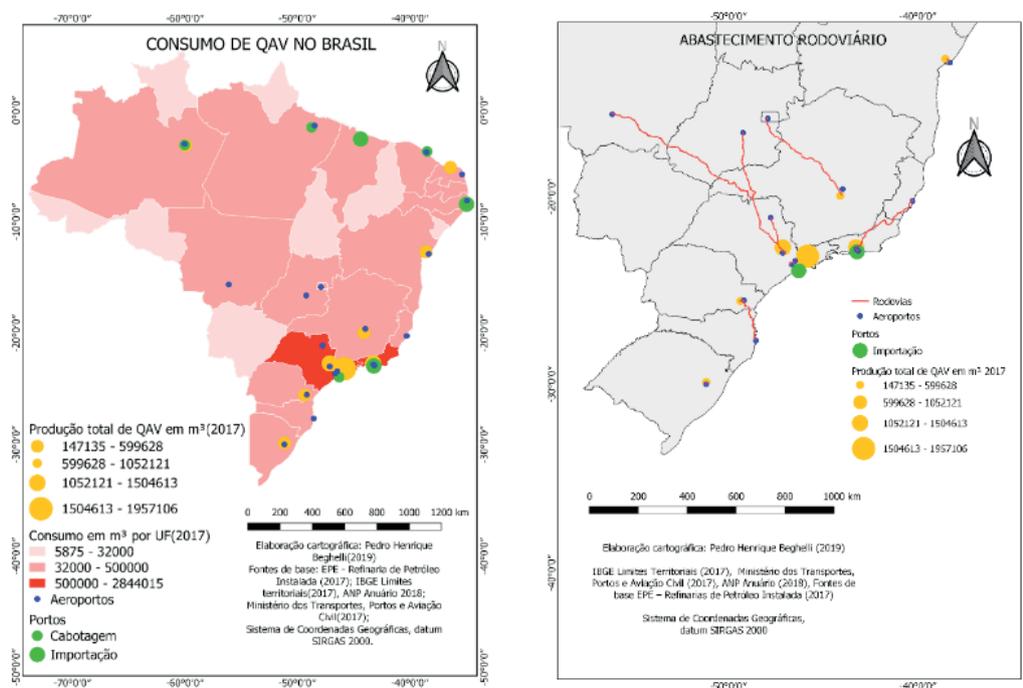


Figura 10: Cartograma do consumo de QAV Figura 11: Cartograma de rodovias de transporte do QAV

Fonte Figura 10: Elaborado a partir de IBGE Limites Territoriais (2017), Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (2017), ANP Anuário (2018), Fontes de base EPE – Refinarias de Petróleo Instalada (2017)

Fonte Figura 11: Elaborado a partir de IBGE Limites Territoriais (2017), Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (2017), ANP Anuário (2018), Fontes de base EPE – Refinarias de Petróleo Instalada (2017)

O cartograma da Figura 12 tem por finalidade ilustrar o uso limitado aos aeroportos de Guarulhos e Galeão de dutovias em pequena escala como modal de abastecimento do QAV.

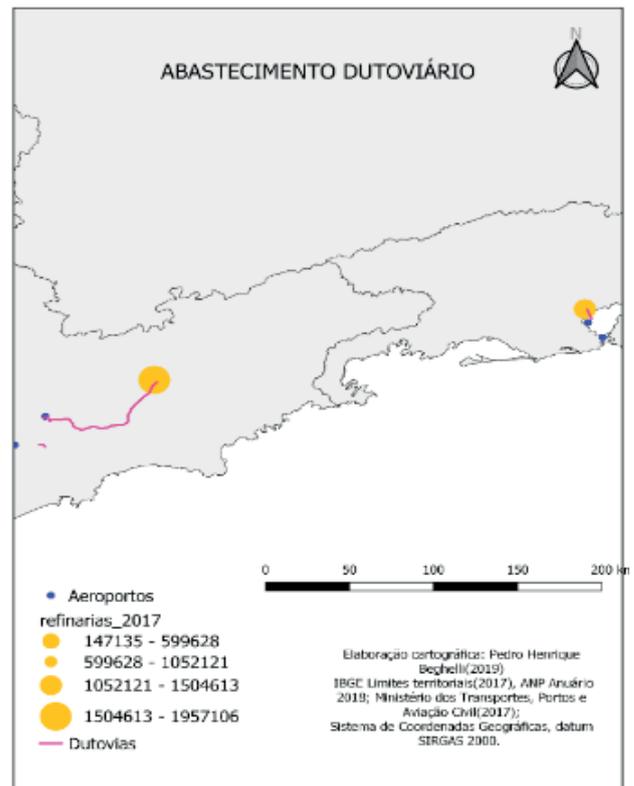


Figura 12: Cartograma de abastecimento dutoviário. Fonte Figura 12: Elaborado a partir de IBGE Limites Territoriais (2017), Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (2017), ANP Anuário (2018),

Fontes de base EPE – Refinarias de Petróleo Instalada (2017).

Na Figura 13 estão sumarizados os modais de transporte do QAV para os principais aeroportos brasileiros. Observa-se que nos Estados do Norte e Nordeste usa-se o transporte aquaviário além do rodoviário. De modo geral os principais aeroportos encontram-se próximos aos portos ou refinarias fornecedoras do QAV.

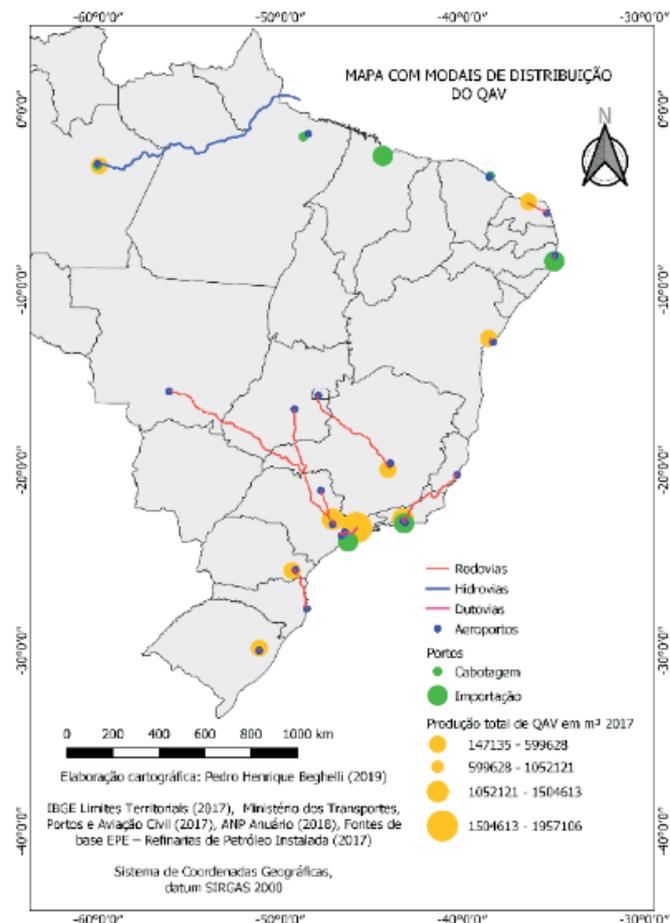


Figura 13: Cartograma com os tipos de modais de distribuição de QAV

Fonte Figura 13: Elaborado a partir de IBGE Limites Territoriais (2017), Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (2017), ANP Anuário (2018), Fontes de base EPE – Refinarias de Petróleo Instalada (2017).

## j) Espacialização dos dados em QGIS

A precificação do QAV no Brasil segue um modelo do Preço de Paridade de Importação implantado há vinte anos, quando o Brasil estava distante de alcançar a autossuficiência no refino do petróleo. Atualmente o país está mais próximo do modelo autossuficiente ao refinar, 92% do QAV comercializado. Portanto, diante a mudança de cenário de país majoritariamente importador para um produtor indica que o modelo de precificação Preço de Paridade de Importação estaria desatualizado e seria inapropriado diante o fato de que atualmente mais produz do que importa que o QAV (ABEAR 2017).

O valor do querosene de aviação **é relativo** à taxa de câmbio entre o real e o dólar. A desvalorização nos últimos anos do real frente ao dólar reduziu qualquer possibilidade de diminuição do preço do QAV no mercado nacional assim como ocorreu no mercado internacional. Outros fatores apontados como causas do elevado preço do QAV no Brasil são as melhorias na infraestrutura rodoviária, ferroviária, aquaviária brasileira e a elevada carga tributária. A melhoria do pavimento das rodovias poderia reduzir cerca de 26% o custo operacional do transporte rodoviário. Além disso, o

investimento na navegação interior e de cabotagem poderia tornar mais competitivo o preço combustível que atende a demanda de regiões mais isoladas e distantes dos fornecedores (CNT 2015).

A realidade da carga tributária a que são submetidas as companhias aéreas é evidenciada pela prática de *tankering*. Segundo a CNT (2015), esta prática consiste pela opção da empresa de abastecer o avião com todo o combustível necessário para cumprir todos os trechos do voo a fim de aproveitar o menor preço do QAV em um dado aeroporto. Isso deve ser bem avaliada pela companhia aérea, pois provoca maior consumo de combustível e reduz a capacidade de carga ou de passageiros.

Segundo a ABEAR (2017) os impostos que incidem na cadeia de fornecimento do QAV são os tributos federais, PIS/COFINS, e o estadual, ICMS, que somados correspondem a 20% do preço final do combustível. As alíquotas de PIS/CONFINS em 2017 foram de 1,25% e 5,8%. A alíquota de ICMS varia entre as unidades da federação podendo chegar a 25%. A Figura 14 apresenta as taxas de ICMS por Estado da Federação em 2016.

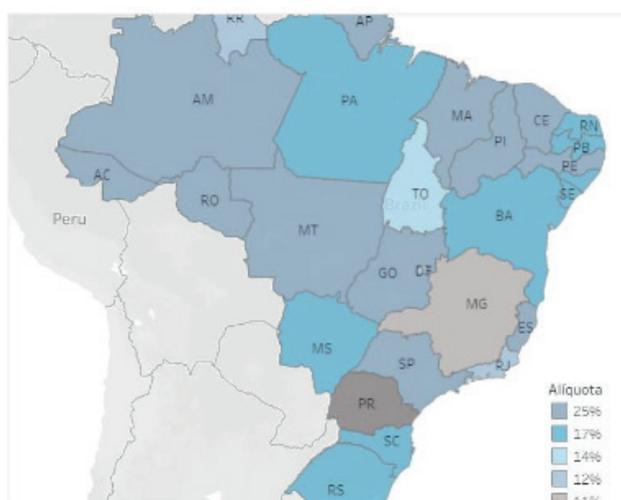


Figura 14: Alíquota incidente ao QAV por Estado em 2016.

Fonte: ABEAR, 2017.

O panorama apresentado pela ABEAR (2017) discriminou a composição do preço do QAV ao longo dos anos como visualizado na Figura 15.

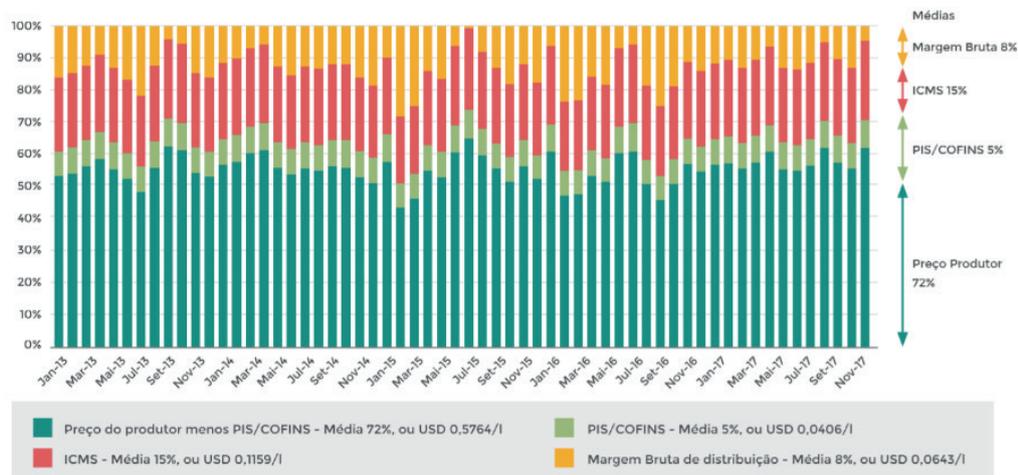


Figura 15: Evolução da composição do preço de QAV para voos domésticos no Brasil de 2013 a 2017.

Fonte: (ABEAR,2017)

Para a ABEAR (2017), o principal fator para a diferença de preços entre o mercado nacional e o internacional está de fato na tributação dos combustíveis. Contudo, outro fator também apontado pela ABEAR (2017) é a concentração do mercado de fornecedores de QAV em poucas empresas. Esta concentração permite que as empresas fornecedoras consigam repassar os seus custos às empresas aéreas e administrar as suas margens (ABEAR, 2017).

#### 4 | DISCUSSÕES

Pode-se dizer há duas principais questões internas que afetam o preço final do querosene de aviação no mercado nacional. A primeira é a questão tributária e a segunda é de infraestrutura.

Segundo a CNT e a ABEAR a questão tributária é a causa mais imediata para o elevado preço no Brasil. A solução proposta por ambas seria a redução da alíquota desse imposto vinculado à definição de um teto para o ICMS entre os Estados. Esta redução do tributo poderia estimular o surgimento de novas rotas, bem como a aviação regional e o turismo nacional.

De fato, nos últimos meses alguns Estados adotaram tal estratégia. Em setembro de 2019 o Estado de São Paulo anunciou uma redução de 25% para 12% do ICMS incidente sobre o QAV. (Governo de São Paulo, 2019). Além de São Paulo, os Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul, Paraná, Minas Gerais e Espírito Santo já reduziram as suas respectivas alíquotas de ICMS (Plural, 2019).

Para além da questão tributária está a questão de infraestrutura e logística da cadeia de distribuição do combustível aos aeroportos brasileiros. A partir das

informações coletadas observou-se que o Brasil está próximo de alcançar a autossuficiência na produção de QAV. O volume importado em 2017 foi de apenas 8% da demanda nacional. A busca pela autossuficiência se mostra necessária para a redução do preço final do combustível nos aeroportos, pois o querosene refinado no país foi vendido em média a R\$1,57 por m<sup>3</sup> enquanto o mesmo combustível importado foi vendido em média a R\$2,00 por m<sup>3</sup>. Além disso, a autossuficiência garante maior estabilidade e previsibilidade ao torná-los menos suscetíveis às mudanças cambiais e às tarifas praticadas de interesse dos países exportadores.

Na logística de distribuição do QAV observou-se que esse mercado está concentrado em três empresas principais. Esta concentração pode ser negativa, pois cria condições para que as distribuidoras controlem o mercado. Esse possível domínio sobre o mercado está sob investigação pelo Conselho Administrativo de Defesa Econômica (CADE) em um caso ocorrido no Aeroporto de Guarulhos, cujas distribuidoras são acusadas de dificultar a entrada de uma nova concorrente no mercado de distribuição (CADE, 2018). A entrada de mais empresas nesse segmento poderia diversificar os fornecedores e alimentar a concorrência na oferta do melhor preço final aos aeroportos.

Numa comparação entre a Figura 7 que apresenta os preços finais em alguns aeroportos brasileiros e a Figura 9 que apresenta a localização desses aeroportos, observa-se que a relação de proximidade e menor custo não é sempre verdadeira. O aeroporto de Belo Horizonte, por exemplo, apresentou o maior preço dentre os listados, contudo, observa-se no cartograma que esse se localiza na região metropolitana onde está a Refinaria Gabriel Passos (REGAP). Essa mesma refinaria fornece o QAV ao aeroporto de Brasília distante cerca de 800 quilômetros. Apesar disso, o preço de Brasília foi de R\$1,89 por litro em comparação com R\$2,28 por litro em Belo Horizonte. Vale salientar que segundo a fontes dos dados (ANP, 2018) estes valores não consideram os impostos. Portanto, há outro fator não identificado que influencia nessa discrepância. Talvez a justificativa seja o fato de que o consumo no aeroporto de Brasília seja maior do que o de Belo Horizonte, pois é o terceiro maior em movimentação do país (ANAC, 2017).

A partir dos cartogramas gerados foi possível observar que 14 dos 20 aeroportos de maior movimentação se encontram próximos às refinarias ou de algum porto de desembarque do combustível importado, como o Aeroporto de Recife. Esse é um fato positivo para tais aeroportos ao reduzir os gastos de distribuição. Contudo, os aeroportos da Região Centro-Oeste como Brasília, Goiânia e Cuiabá e outros aeroportos menores próximo distam entre 800 a 1400 km de uma refinaria produtora. Esta distância implica em viagens mais frequentes, longas e onerosas para o fornecimento. Por dia, somente o aeroporto de Brasília recebe em média 20 caminhões-tanque para suprir o consumo (Portal G1, 2018).

Pelo cartograma da Figura 9 fica evidente a concentração das fontes de QAV ao longo do litoral e o vazio no interior do país de até mesmo um terminal de estocagem e distribuição. Esse vazio pode sinalizar uma necessidade de otimização na distribuição nas regiões interiores do país. De fato, os vinte principais aeroportos do país correspondem à maior porcentagem de consumo de combustível por ano.

Uma possível proposta para fomentar o consumo de QAV no interior do Brasil, barateando os custos e facilitando o transporte do combustível poderia ser a combinação de modais de transporte associados a terminais de estocagem e distribuição. A instalação de Terminais de estocagem de QAV na região central do país poderia permitir a redução das distâncias percorridas pelo caminhões-tanque, uma vez que estes terminais sejam abastecidos por dutovias, ferrovias ou hidrovias. Cada um destes três modais tem suas vantagens e desvantagens, com tudo os custos operacionais são menores e o volume transportado de todos é superior ao modal rodoviário (CRUZ, 2019).

A diversificação dos modais de distribuição é também uma necessidade estratégica tendo em vista que diante a greve dos caminhoneiros em 2018 praticamente todos os aeroportos brasileiros, com exceção de Guarulhos e Galeão tiveram o abastecimento prejudicado.

A partir do cartograma da figura 9 é possível observar que os portos de cabotagem estão concentrados nas regiões Norte e Nordeste do país. Esse é o principal tipo de transporte de QAV nas regiões (Workshop, 2017). A região Norte, devido à extensão e características dos seus rios favoráveis à navegação, utiliza a navegação fluvial como modal para abastecimento de diversos aeroportos na região. Contudo, segundo a CNT (2015) deve-se investir mais na expansão deste tipo de transporte.

O uso de duto vias apesar de ter um custo operacional baixo implica em um alto custo de implantação devido à complexidade do processo. A relação custo/benefício só é positiva quando se tem um grande volume e taxa de consumo como no caso dos aeroportos de Guarulhos e Galeão. Devido ao custo elevado de implantação e à necessidade de um consumo mínimo adequado para justificar o investimento, nenhum novo projeto de construção de dutovias pode ser implantado.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O anuário da Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2015) aponta que o alto preço do QAV no Brasil é reflexo não só das distâncias continentais ou do uso de transporte de rodoviário, mas principalmente devido aos impostos cobrados. A questão tributária por meio do ICMS contribui sensivelmente para a diferença de preços finais do QAV entre os aeroportos brasileiros. Recentemente, sete Estados

brasileiros, como Espírito Santo, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Piauí, Mato Grosso do Sul e Ceará reajustaram a alíquota do ICMS a fim de incentivar a redução no preço das passagens, o crescimento do turismo e o aumento do número de rotas aéreas nos respectivos Estados.

Para além da questão tributária, pode-se argumentar que o método de precificação do combustível produzido no país está desatualizado e, por conseguinte, calcula-se um preço do combustível mais caro do que o necessário. Além disso, existem sinais que há a existência de uma oferta limitada de fornecedoras do QAV que acabam detendo o controle do mercado. Devido à baixa diversidade de opções, estas empresas fornecedoras têm espaço para conseguirem manter suas margens de lucro ao repassar os seus custos ao consumidor final (ABEAR, 2017).

Apesar das questões tributárias e de mercado, a logística de distribuição poderia ser melhorada para baratear o custo do QAV. A região central do país é abastecida por vários caminhões-tanque que partem diariamente do Sudeste e percorrem longas distâncias para suprir o consumo diário de aeroportos como Brasília, Goiânia e Cuiabá. Uma análise de viabilidade de instalação de um Terminal de estocagem de QAV na região central do país e que fosse abastecido a partir das refinarias pelos modais de grande volume como duto vias, ferrovias ou hidrovias poderia ser desenvolvida a fim de encurtar as distâncias percorridas pelos caminhões-tanque e aumentar a oferta de QAV na região, diminuindo custos e fomentando a aviação regional nos aeroportos menores.

O modal rodoviário torna-se ainda mais oneroso devido às más condições das rodovias brasileiras. A melhoria no pavimento das rodovias já poderia resultar na redução em cerca de 26% nos custos do transporte. O modal duto viário tem um menor custo de operação se comparado ao rodoviário, porém necessita de vultosos investimentos para sua implantação. Na região Norte e Nordeste o modal aquaviário já é utilizado, porém pode ser expandido e receber mais incentivos a fim de beneficiar diversas áreas de difícil acesso. O modal ferroviário também é uma alternativa de distribuição. Contudo, este depende da instalação de uma infraestrutura e de um consumo suficiente para torná-lo um modal viável.

Em suma, o principal fator identificado como causador da discrepância de preços de QAV entre os aeroportos brasileiros em comparação com os aeroportos pelo mundo é a questão tributária. Associado a esse fator está o modelo de precificação atualmente adotado estar aparentemente desatualizado da atual realidade de produção do QAV no Brasil. E além disso, a infraestrutura de distribuição do QAV que atualmente é capaz de suprir as necessidades dos aeroportos, pode ser otimizada e expandida a fim de fomentar novas demandas a partir do surgimento de novas rotas aéreas e novos aeroportos.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC). Anuário do Transporte Aéreo. 2017

Agência Nacional do Petróleo (ANP). Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2018a.

Agência Nacional do Petróleo (ANP). Workshop Mercado de Combustíveis de Aviação. 2017.

Agência Nacional do Petróleo (ANP). Relatório de Comércio Exterior - Superintendência de Distribuição e Logística - Nº 06. 2018b.

Air BP. Combustíveis de Aviação, 2019. [https://www.bp.com/pt\\_br/brazil/home/produtos-e-servicos/combustiveis-de-aviacao.html](https://www.bp.com/pt_br/brazil/home/produtos-e-servicos/combustiveis-de-aviacao.html) (Acesso em 04/05/2019)

Associação Brasileiras das Empresas Aéreas (ABEAR). Panorama 2017.

Associação Brasileiras das Empresas Aéreas (ABEAR). Preço do querosene de aviação em diversos aeroportos do mundo, 2016. <http://panorama.abear.com.br/dados-e-estatisticas/custos-das-empresas/> (Acesso em 06/10/2019)

BR AVIATION. Rede de aeroportos onde abastecer, 2019. <http://www.br.com.br/wcm/connect/edf86957-5c8b-4a8e-872e-858a45784ebb/br-aviation-rede-de-aeroportos-onde-abastecer-20190503.pdf?MOD=AJPERES&CVID=mF.fHIP> (Acesso em 04/05/2019)

BR Distribuidora, Suprimento de QAV Da Produção e Importação aos Aeroportos, 1º Workshop sobre Compras Centralizadas – Centro Logístico da Aeronáutica. 2016.

Confederação Nacional dos Transportes (CNT). Transporte Aéreo de passageiros. 2015.

Conselho Administrativo de Defesa Econômica (CADE), Cade abre processo contra distribuidoras de querosene de aviação e administradora do aeroporto de Guarulhos. <http://www.cade.gov.br/noticias/cade-abre-processo-contradistribuidoras-de-querosene-de-aviacao-e-administradora-do-aeroporto-de-guarulhos>, 2018. (Acesso em 06/10/2019)

CRUZ, Cassia Maria Santos et al. MODAIS DE TRANSPORTE NO BRASIL. Revista Pesquisa e Ação, v. 5, n. 2, p. 1-27, 2019

Folha de São Paulo. Greve afeta abastecimento de aviões; aeroportos têm combustível até 6ª. <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2018/05/greve-afeta-abastecimento-de-avioes-aeroportos-tem-combustivel-ate-6a.shtml>, 2018. (Acesso em 06/10/2019).

Folha de São Paulo. Preço do combustível de aviação no Brasil é 46% maior do que nos EUA, 2017. <http://estudio.folha.uol.com.br/brasil-que-voa/2017/05/1886629-preco-do-combustivel-de-aviacao-no-brasil-e-46-maior-do-que-nos-eua.shtml> (Acesso em 04/05/2019) .

Plural. Como a redução do ICMS para o QAV (querosene de aviação) impacta no mercado e no bolso dos consumidores. <https://somosplural.com.br/noticia/como-a-reducao-do-icms-para-o-qav-querosene-de-aviacao-impacta-no-mercado-e-no-bolso-dos-consumidores/>, 2019. (Acesso em 06/10/2019).

Portal de notícias G1. Passagens aéreas ficaram em média 35% mais caras em 12 meses. <https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/05/10/passagens-aereas-ficaram-em-media-35percent-mais-caras-em-12-meses.ghtml>, 2019. (Acesso em 06/10/2019)

Portal de notícias G1. Aeroporto de Brasília sai do zero e chega a 18% das reservas com novo abastecimento, 2018. <https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/aeroporto-de-brasilia-sai-do-zero-e-chega-a-18-das-reservas-com-novo-abastecimento.ghtml> (Acesso em 06/10/2019)

Shell. Lista de postos de abastecimento no Brasil, 2019. <https://www.shell.com.br/shell-para-negocios/aviacao/postos-de-abastecimento.html> (Acesso em 04/05/2019)

Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes (SINDICOM). Distribuição e Abastecimento de Aeronaves – Combustíveis de Aviação. 2017.

TRANSPETRO. Tarifas de referência para serviços de Transporte dutoviário – dutos longos e dutos longos. 2018

TRANSPETRO. Tarifas de referência para serviços de Movimentação em terminais aquaviários. 2019

## CORTADOR DE GRAMA AUTOMATIZADO

*Data de aceite: 03/12/2019*

*Data de submissão: 13/10/2019*

### **João Vitor Silveira Cercená**

Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus  
Criciúma

Siderópolis - Santa Catarina

<http://lattes.cnpq.br/3381323891384008>

### **Ana Carolina Marcelo da Silva**

Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus  
Criciúma

Içara - Santa Catarina

<http://lattes.cnpq.br/4127445905217995>

### **Luiz Gustavo de Souza Soares**

Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus  
Criciúma

Criciúma - Santa Catarina

<http://lattes.cnpq.br/7990676455881469>

### **Vaime Trescher de Moraes Junior**

Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus  
Criciúma

Criciúma - Santa Catarina

<http://lattes.cnpq.br/5224476383636656>

**RESUMO:** As pessoas perdem muito tempo e dinheiro cortando grama, quer seja com cortadores convencionais ou pagando terceiros, estes poderiam ser utilizados de maneiras mais produtivas. Outro ponto extremamente importante são os acidentes de trabalho

facilmente evitados a que estão expostos os jardineiros responsáveis por esses serviços (choques elétricos, cortes, acidentes com crianças e animais, produtos inflamáveis, pedras e etc) e também a ineficiência e falta de padronização do corte da grama. Nosso cortador não necessitará de um operador controlando e/ou monitorando o seu funcionamento todavia terá um custo mais acessível se comparado aos outros cortadores automáticos encontrados no mercado. Esse projeto tem por objetivo poupar tempo, dinheiro e esforço, além de garantir segurança para o proprietário e maior qualidade no corte do gramado. Aprimorando mecanismos pré existentes no processo de corte, otimizando e simplificando o trabalho que seria realizado. Nossa automação visa eliminar o trabalho físico feito pelo operador ao andar por terrenos muito extensos, muitas vezes exposto às condições climáticas bastante desfavoráveis. O cortador de grama automatizado é um projeto de pesquisa e extensão da disciplina de práticas profissionais, no qual serão feitos estudos de viabilidade, pesquisas, planejamento teórico, simulações, orçamentos e por fim a construção do produto final cortador de grama automatizado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cortador-de-grama; automatizado; segurança; eficiência e economia.

**ABSTRACT:** People spend a lot of time and money mowing grass, either with conventional mowers or by paying for it. Third parties, these could be used in more productive ways. Another extremely important point is accidents at work to which the gardeners responsible for these services are easily prevented (electric shocks, cuts, accidents to children and animals, flammable products, stones, etc.) and also to inefficiency and lack of standardization of lawn mowing. Our mower will not require an operator. Controlling and/or monitoring its operation will however be more affordable compared to others automatic cutters found on the market. This project aims to save time, money and effort, in addition to ensuring safety for the owner and higher quality in lawn mowing. Enhancing mechanisms preexisting in the cutting process, optimizing and simplifying the work that would be done. Our automation aims to eliminate the physical work done by the operator when walking on very extensive terrain, often exposed to the very unfavourable weather conditions. The automated lawnmower is a research and development project. Extension of the discipline of professional practices, in which feasibility and research studies will be carried out, theoretical planning, simulations, budgets and finally the construction of the final product lawnmower automated.

**KEYWORDS:** Lawnmower; automated; safety; efficiency and economy.

### 1 | INTRODUÇÃO

O crescimento da robótica móvel vem sendo muito relevante e atual no Brasil, tanto que essa área obteve um grande salto em desenvolvimento nas duas últimas décadas. Quase 254 mil robôs foram comprados pela indústria de todo o mundo apenas em 2015, segundo a Federação Internacional de Robótica (IFR, em inglês). Dentre os pontos que sustentam essa necessidade, temos o fato de que, segundo uma pesquisa britânica, foi calculado que as pessoas passam quase dois meses de suas vidas cortando a grama. Além de que o manuseio sem o devido cuidado dos cortadores leva a mais de 55 mil lesões por ano nos EUA e, embora não se tenha uma estatística oficial, este número deve ser semelhante no nosso país, segundo a sociedade Americana de Cirurgia do Pé e tornozelo. As áreas com grandes extensões de grama necessitam de cuidados constantes quanto ao corte de grama, seja com a finalidade de saneamento, segurança ou estética. A partir dos fatores o projeto busca automatizar uma área de aplicação doméstica: cortar a grama.

Teremos como base de pesquisa os artigos e projetos de autores como Fernando Luiz Ribeiro que produziu um cortador de grama automatizado a partir de um residencial, Taj Mohammad Baloch e Timothy Thien Ching Kae que desenvolveram um protótipo de um robô cortador de grama e ainda todos os autores citados por Dutta P.P, Baruah A, Konwar A e Kumar.V em sua revisão técnica sobre a tecnologia atual dos cortadores de grama.

Dentre os objetivos da nossa proposta, o geral abrange a potencialização do trabalho que seria realizado manualmente, também a simplificação da operação e manutenção do sistema, mas principalmente a diminuição do custo deste produto final. Dentre os objetivos específicos, pode-se destacar: Otimizar o processo do corte de grama; melhorar o aspecto da grama reutilizando o excesso de grama como adubo; condicionar mais segurança ao proprietário; tornar o custo da máquina baixo.

O projeto acontecerá na disciplina de Práticas Profissionais com a turma do terceiro ano de 2019 no Instituto Federal de Santa Catarina - Criciúma, na qual será desenvolvido um cortador de grama automatizado. A proposta respeita o tripé formado pelo ensino, pela pesquisa e pela extensão: A disciplina abre espaço para a pesquisa e fundamentação teórica dos alunos sobre o assunto da proposta para, então, iniciar-se o desenvolvimento do projeto. Tendo o estudo, começa-se a etapa de desenvolver algo que inove nos quesitos de automatização pela pesquisa de novas formas de controle e programação. O projeto atenderá a demanda tanto da população local por meio de produto, quanto a divulgação da proposta por meio de artigos, trabalhos e apresentações em mesas redondas e simpósios.

## 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para melhor atendimento da proposta do projeto, serão apresentadas as principais ferramentas utilizadas no estudo.

### 2.1 Arduino

O Arduino é uma plataforma de prototipagem e código abertos, baseada nos microcontroladores AVR Atmel, que proporciona o desenvolvimento de projetos eletrônicos de automação, robótica e controle. A Figura 1 mostra o Arduino em sua versão MEGA. Ele possui suporte de entradas e saídas digitais e analógicas, além de uma interface serial via USB, que possibilita executar sua programação de forma simples e comunicação facilitada.



Figura 1: Arduino mega.

Fonte 1: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>

Para a programação da plataforma Arduino é utilizada uma aplicação multiplataforma escrita em Java, conhecida como Arduino IDE, que possibilita carregar os programas para a placa com muita facilidade. As linguagens aceitas pela IDE para programar o dispositivo são C ou C++. A plataforma de hardware livre Arduino proporciona a implementação de projetos e protótipos de baixo custo devido suas características de hardware e de livre licença.

## 2.2 Solidworks

O SolidWorks é um software CAD 3D completo, intuitivo e fácil de usar, que possibilita a criação de projetos de diversas áreas. Na área mecânica, por exemplo, permite criar máquinas e ferramentas e simular seu comportamento quando os esforços são aplicados.

Fornecer grande variedade de ferramentas para modelamento de superfícies, facilitando o desenvolvimento de produtos com geometrias complexas. Fornece ferramentas para criação de chapas, estruturas, soldas, entre outros elementos. O SolidWorks também facilita a interação com outros “softwares”, permitindo importar e exportar arquivos de forma prática e rápida. A biblioteca de projeto permite a utilização de componentes padronizados, conforme a norma desejada, facilitando a fabricação de produtos para exportação. Possibilita também a criação de renderizações realistas e animações de projetos. Enfim, o SolidWorks é um software 3D completo e muito utilizado nas áreas de projeto e desenvolvimento de produtos em todo o mundo.

## 2.3 Proteus

É um software de desenho e simulação, ele permite o desenho de circuitos empregando um entorno gráfico no qual é possível colocar os símbolos representativos

dos componentes e realizar a simulação de seu funcionamento sem o risco de ocasionar danos aos circuitos.

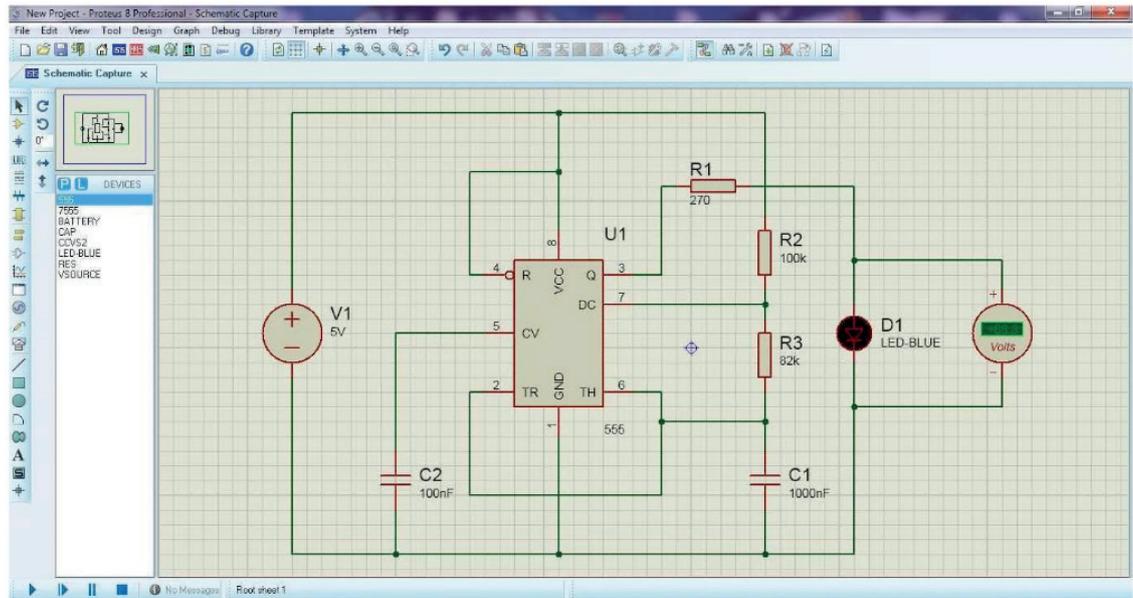


Figura 2 (representativa): Proteus.

Fonte 2: Os autores.

A simulação pode incluir instrumentos de medição e a inclusão de gráficos que representam os sinais obtidos na simulação. Também tem a capacidade de passar o desenho a um programa integrado chamado ARES no qual se pode levar a cabo o desenvolvimento de placas de circuitos impressos.

### 3 | METODOLOGIA

O projeto teve como objetivo a construção um cortador de grama automatizado, que foi realizado inicialmente com estudos e pesquisas sobre modelos anteriores no mercado global, tendo como objetivo adquirir conhecimento da área, tanto para obter uma base concreta, como para incentivar o solucionamento de algum possível problema e melhoria do maquinário.

#### 3.4 Planejamento

Foi iniciado um planejamento teórico, este processo incluiu a utilização de softwares para simulações, tendo assim maior versatilidade para a criação de múltiplos modelos, podendo então possuir uma maior variedade de possíveis resultados.

Fizemos o planejamento e as simulações da estrutura mecânica, utilizando o software SolidWorks, pois ele atendia as nossas necessidades de criarmos peças totalmente sob medida. Depois de várias mudanças, essa foi a nossa estrutura final:



Figura 3: Estrutura final.

Fonte 3: Os autores.

O seu interior também foi planejado antes da construção, para sabermos o espaço que cada componente ocuparia e assim definirmos o tamanho da estrutura.

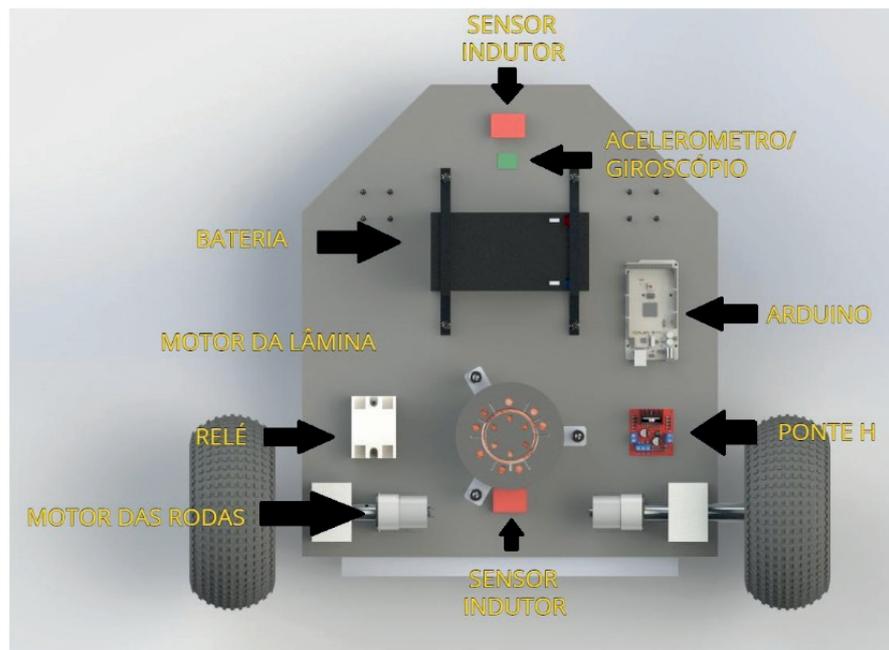


Figura 4: Parte interna da estrutura.

Fonte 4: os autores

Para a delimitação da área de corte construímos um gerador e um sensor. O gerador emite uma frequência de 34 KHz que percorre o fio delimitando a área que será cortada, quando o sensor, que está acoplado no cortador, passar por cima desse fio irá detectar a frequência, fazendo a máquina mudar de direção. Da mesma forma da estrutura mecânica o esquema elétrico do sensor e do gerador foram simulados,



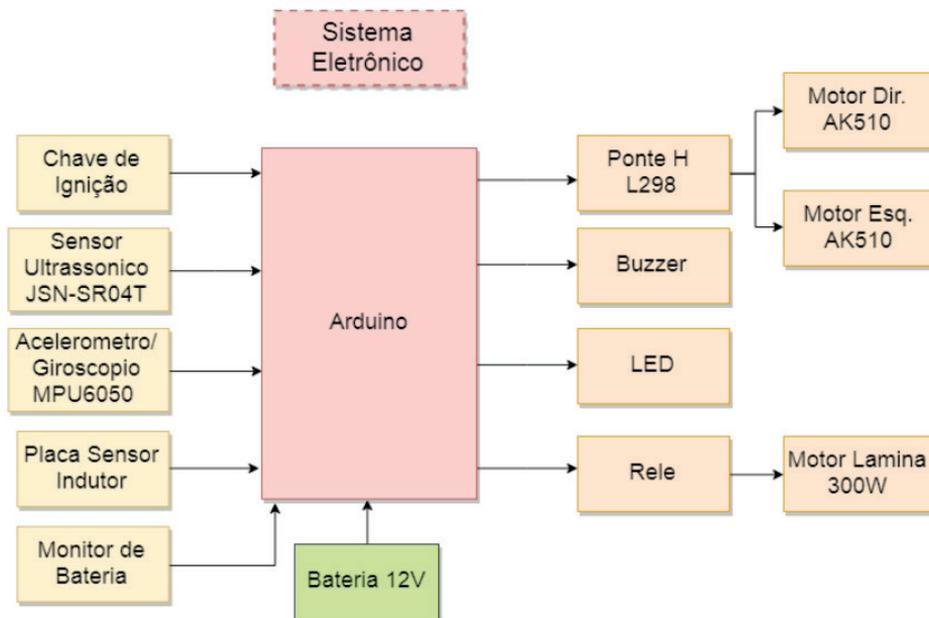


Figura 7: Sistema eletrônico

Fonte 7: Os autores

### 3.5 Procedimentos

Após todo o planejamento iniciamos a construção da máquina, começando pelo dimensionamento de uma chapa metálica, em seguida a adaptamos fazendo furos para o acoplamento dos componentes. Acoplamos primeiramente os motores e as rodas para os testes de movimentação e rotação da lâmina serem realizados, depois montamos o sistema eletroeletrônico da figura 7 na estrutura mecânica ficando exatamente como na figura 4, e por último elaboramos uma programação no arduino assim podendo realizar todos os testes (corte da grama, gerador e sensor, duração da bateria, movimentação e funcionamento).

## 4 | RESULTADOS

O projeto tem autonomia de corte para 260m<sup>2</sup> de terreno sem precisar parar para recarregar, dependendo das variações topográficas esse valor pode alterar em mais ou menos 20% e com uma altura de corte de 3,0cm. Ele conta também com um sistema de segurança através de chave, em que o proprietário receberá duas cópias e somente o possuidor desta conseguirá ligar o cortador.

Caso aconteça algum problema ou acidente com o funcionamento da máquina, esta possui um botão de emergência, que ao ser pressionado encerra todo o funcionamento da máquina.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo foi apresentado o uso do Proteus juntamente com o SolidWorks para o desenvolvimento de um cortador de grama automatizado, que teve como objetivo poupar tempo, esforço físico, garantir eficiência no corte do gramado e garantir maior segurança ao proprietário. Além de desenvolver a formação acadêmica e profissional dos autores já que são colocados em prática parte dos conhecimentos adquiridos durante todo o curso.

Para mudanças futuras, podemos acrescentar a criação de uma base de auto recarregamento, assim o proprietário não terá que ficar recarregando o cortador. A criação de um software para celular, permitindo que o proprietário escolha o horário de funcionamento da máquina e também alerte quando o mesmo for retirado do terreno. A integração de um controle remoto e um sistema que regule a altura do corte.

Os softwares apresentados neste artigo tem bastante potencial para serem usados na área de ensino, pois possuem simulações e uma grande variedade de ferramentas.

## REFERÊNCIAS

BALOCH, Taj Mohammad; KAE, Timothy Thien Ching. **Design and Modelling a Prototype of a Robotic Lawn Mower**. 2018. Tese - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica de Petronas, Perak, 2018.

MAIA, Mateus. **A era dos robôs: tecnologia amplia produtividade, transforma educação e salva vidas**. 2017. Disponível em: <<https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/educacao/a-era-dos-robos-tecnologia-amplia-productividade-transforma-educacao-e-salva-vidas/>>. Acesso em: 2 mar. 2019.

MALTBY, Emily. **Almost two months of our lives spent mowing the lawn**. 2013. Disponível em: <<https://prolandscapermagazine.com/almost-two-months-of-our-lives-spent-mowing-the-lawn/>>. Acesso em: 2 mar. 2019.

P.P., Dutta. A Technical Review of Lawn Mower Technology. **Adbu: Journal of Engineering Technology**. Tezpur, p. 179-182. jun. 2016.

RIBEIRO, Fernando Luiz. **Cortador de Grama Automatizado**. 2011. 47 f. TCC - Curso de Engenharia Elétrica, UFRGS, Porto Alegre, 2011.

SANHUDO, José Antônio. **O que você deve saber antes de cortar grama**. Disponível em: <<http://www.clinicadope.net/index.php/dicas/21-se-voce-esta-pensando-em-cortar-grama-deveria-ler-isto>> . Acesso em: 2 mar. 2019.

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

Data de aceite: 03/12/2019

### **Beatriz Seabra Melo**

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

### **Natália Luiza Abucater Brum**

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

### **Vinicius Silva dos Reis**

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

### **Victor Lima Melo**

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

### **Mateus José Araújo de Souza**

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

### **Carlos Vinícius de Paes Santos**

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

### **Marielle Maria Medeiros Vital**

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

### **Adriano Aleixo Rodrigues**

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

### **Denyson Teixeira Almeida**

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

### **Altino dos Santos Fonseca**

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

### **Emerson Rodrigues Prazeres**

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

### **José Maria do Vale Quaresma**

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

**RESUMO:** A utilização do Zircônio como elemento de liga é um tema frequentemente estudado pela literatura em geral, tendo em vista a necessidade do aumento da resistência mecânica das ligas fundidas aplicadas na indústria aeronáutica, automobilística e aeroespacial. Portanto, este trabalho objetiva analisar o efeito da adição do teor de 0,15% de Zr na liga base Al-6%Mg, para o sistema 5xxx, bem como o tratamento térmico de envelhecimento artificial realizado. Para tanto, a liga foi fundida em moldes que representam uma secção da roda properzi. Em seguida, o mesmo foi cortado transversalmente em uma serra de fita obtendo assim, amostras que passaram por tratamento térmico na temperatura de 400°C por 16 horas. Após ao tratamento térmico, as amostras passaram por processos de lixamento e polimento, com o intuito de obter a sua microestrutura. Os resultados obtidos nessa etapa mostram que no Zr potencializou o refino dos grãos. A segunda etapa deste referente trabalho, consiste nos testes de limite de resistência à tração e alongamento após ao

trabalho mecânico a frio, para a caracterização mecânica do material. Os resultados mostram que no teor de 0,15%Zr ocasionou perda de limite de resistência à tração e ganhos no alongamento. Entretanto, após ao tratamento térmico a liga obteve maior resistência à tração, provavelmente devido a formação de precipitados de  $Al_3Zr$ . Nas curvas de tensão deformação das ligas, foram observados serrilhas ou oscilações na zona plástica do material, que correspondem ao Efeito de Portevin Le Chatelier.

**PALAVRAS-CHAVE:** Zircônio, Refino de grãos, Limite de Resistência à tração.

## EFFECT OF THE ADDITION OF 0.15% ZR AND THE TREATMENT OF ARTIFICIAL AGING IN THE AL-6% MG ALLOY ON MECHANICAL PROPERTIES

**ABSTRACT:** The use of Zirconium as an alloying element is a subject frequently studied in the literature in general, considering the need to increase the mechanical strength of molten alloys applied in the aeronautical, automotive and aerospace industries. However, this work aims to analyze the effect of the addition of the content of 0.15% of Zr in the base alloy Al-6% Mg, 5xxx system and cold formed, as well as the heat treatment of artificial aging. For this purpose, the alloy was fused in mold which represent a section of the properzi wheel. Thereafter, it was cut transversely into a band saw, thereby obtaining samples which were heat-treated in the temperature of 400°C for 16 hours. After the heat treatment, the samples passed through sanding and polishing processes, in order to obtain its macrostructure. The results obtained in this step show that the Zr potentiated the refining of the grains. The second stage of this work consists of tests of tensile strengt and elongation after cold mechanical work, for the mechanical characterization of the material. The results show that the content of 0.15%Zr caused loss of ultimate tensile strength and elongation gains. However, after the heat treatment the alloy obtained a higher Ultimate Tensile Strength, probably due to the formation of  $Al_3Zr$  precipitates. In the Stress x Strain curves of the alloys, sawdust or oscillations were observed in the plastic zone of the material, corresponding to the Portevin-Le Chântelier effect.

**KEYWORDS:** Zirconium, Grain Refining, Ultimate Tensile Strength.

## 1 | INTRODUÇÃO

O alumínio está presente em quase tudo, quando relacionado a tecnologia, e em grande quantidade de aplicações, o que prova a importância do estudo para a vida moderna, e a expectativa de uso sob melhor perspectiva ambiental, para a vida futura. Sabe-se que o alumínio na sua forma pura não possui boas propriedades mecânicas, sendo utilizado na forma de ligas quando essas propriedades são requisitos essenciais (TOTTEM e MACKENZIE, 2003). As ligas de alumínio vêm sendo muito utilizadas nas indústrias devido as suas propriedades peculiares como: alta resistência mecânica, reciclabilidade, dentre outras propriedades específicas (FERRARI, 2008).

No que diz respeito às ligas com crescentes aplicações na indústria automobilística e aeronáutica, destaca-se as ligas da série 5XXX, que contém o magnésio como principal elemento de liga. O Mg é um dos poucos elementos com alta solubilidade sólida no alumínio, sendo sua máxima solubilidade em torno de 15% a 450°C, embora esta solubilidade se aproxime de zero a 20°C. O efeito primário resultante das adições de Mg em Al é o endurecimento por solução sólida (KAUFMAN e ROOY, 2015). A combinação deste elemento em solução e trabalho a frio, é extremamente eficaz na obtenção de maior resistência (TOTTEM e MACKENZIE, 2003).

O efeito PLC, que mostra a característica da faixa de deformação não homogênea e repetidas deformações, têm sido comumente observadas no estado de solução sólida em ligas de Al-Mg (MA et al., 2015). Segundo estudos (KANG et al., 2012) pesquisas na literatura a respeito do efeito de PLC em diferentes composições químicas de Mg têm sido focadas nas diversas taxas de deformação e contorno de grãos.

Outro elemento bastante utilizado em ligas de alumínio é o zircônio, seu uso tem como objetivo aumentar a temperatura de recristalização e controlar a estrutura dos grãos trabalhados. Segundo a literatura AST INTERNATIONAL (1996) adições de 0,1% a 0,3% de Zr em ligas de alumínio geram, mediante o tratamento térmico, precipitados refinados de partículas intermetálicas, que aumenta a temperatura de recuperação e recristalização do material.

Portanto, avaliou-se o efeito do Zr nas propriedades da liga base: Al-6%Mg. As propriedades mecânicas avaliadas foram o limite de resistência à tração (LRT) e o alongamento, quando adicionado 0,15% de Zr na liga base, nas condições sem tratamento térmico e com tratamento térmico de envelhecimento artificial. Adicionalmente, verificou-se o Efeito de Portevin – Lê Chatelier, através das curvas de tensão x deformação.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

As ligas foram confeccionadas utilizando alumínio eletrocondutor (Al-EC), o elemento magnésio comercialmente puro, e zircônio que foram obtidos através da liga Al-10%Zr. As frações mássicas dos elementos utilizados na liga Al-6%Mg e Al-6%Mg-0.15%Zr foram determinadas através de cálculos estequiométricos e uma balança de precisão.

A fusão dos metais foi realizada em um forno tipo mufla (Figura 1a), e após constatada a fusão de toda a massa metálica presente no cadinho de carvão de silício utilizado, efetuou-se a agitação mecânica da massa fundida de modo manual auxiliado por uma espátula de aço com uma solução alcalina com o intuito de

promover a homogeneização no material.

Após homogeneização realizou-se a injeção de gás inerte (argônio) na liga fundida (Figura 1b) para remover gases e impurezas de baixa densidade, que são segregados formando uma camada de escória sobre a superfície do banho, a qual foi imediatamente removida por espátula de aço pintada com solução de caulino. A moldagem foi iniciada com a retirada da amostra para análise química (amostra de controlo) como mostrado na Figura 1c.

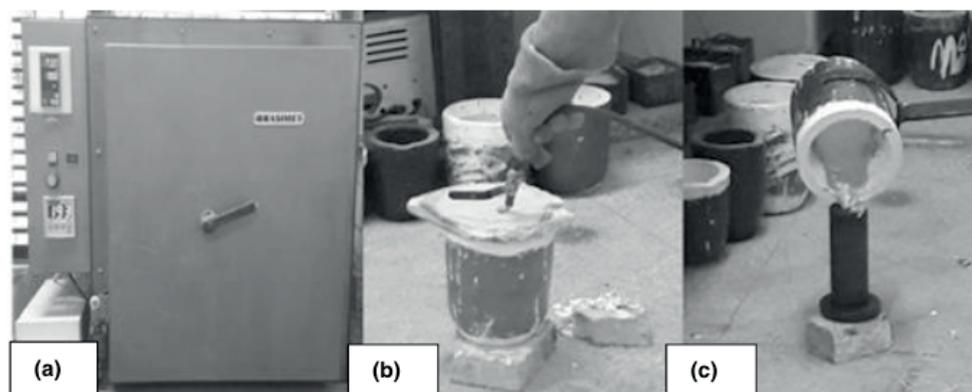


Figura 1. (a) Forno utilizado para a solidificação das ligas; (b) injeção de gás argônio (c) obtenção da amostra para análise química.

## 2.1 Molde de solidificação

O molde utilizado é constituído por cobre e representa um seguimento do molde de lingotamento contínuo do sistema rotativo Properzi. A fim de simular o que ocorre no processo real, o seguimento do sistema rotativo Properzi é condicionado em água, de tal modo que o molde fique circundado completamente de água. A Figura 2, apresenta todas as etapas do processo de vazamento no molde de cobre.

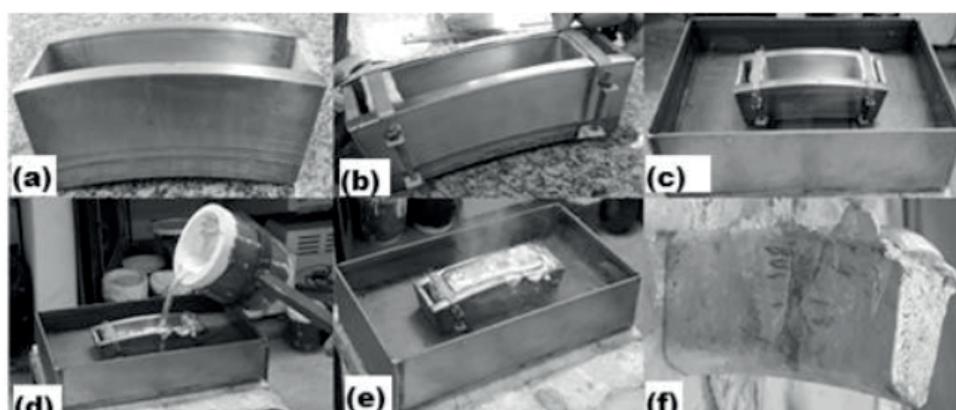


Figure 2. (a) Molde de cobre (b) Molde após a vedação lateral (c) molde imerso em água (d) Vazamento da liga no molde de cobre (e) Resfriamento do lingote (f) lingote após resfriamento.

A partir da amostra que foi solidificada em um molde apropriado, efetuou-se a análise química no espectrômetro óptico, onde os resultados são obtidos a partir da média de pelo menos três leituras da composição química da amostra.

## 2.3 Obtenção dos corpos de prova

Através da serra fita, os lingotes foram cortados de forma longitudinal, de tal modo que se obtenham no formato prismático – (Figura 3 a e b). Em seguida, foram usinadas um total de 4 amostras, para cada liga e condição utilizada até ao diâmetro de 9.5 mm - (Figura 3 c). Uma parte das amostras usinadas com o diâmetro de 9.5 mm foram utilizadas para a laminação e as outras amostras foram usinadas a fim de atender os pré-requisitos de geometria dos corpos de prova do ensaio de tração, previstos na norma NBR 7549 (2008).



Figura 3. (a) Desenho esquemático demarcando a região de obtenção dos corpos de prova (b) lingote previamente demarcado e após retirada dos tarugos (c) corpos de prova pós usinagem.

## 2.3 Obtenção dos corpos de prova

O tratamento térmico foi realizado na temperatura de 400°C durante 16 horas tanto na liga base – (Al-6%Mg), quanto na liga adicionada com Zr – (Al-6%Mg-0,15%Zr). A intervenção térmica efetuada tem por finalidade, na liga Al-6%Mg-0.15%Zr, promover a formação de precipitados de trialumineto de zircônio ( $Al_3Zr$ ), paralelo a esse efeito, deseja-se manter o magnésio em solução sólida.

## 2.4 Ensaio de tração

As amostras foram submetidas ao ensaio mecânico em uma máquina para ensaio de tração, anexada a um microcomputador com sistema automático de aquisição de dados. Os parâmetros dos ensaios seguiram o proposto NBR 7549 (2008). Para obtenção do limite de resistência a tração e o alongamento foram utilizados 4 corpos de prova de cada tipo de liga confeccionada e para cada condição analisada. Os valores de Limite de Resistência a Tração e alongamento foram determinados através da curva de tensão x deformação convencional, já para avaliar o Efeito de Portevin – Lê Chatelier optou-se por avaliá-lo mediante as curvas de tensão-deformação reais.

### 3 | INSTRUÇÕES PARA DIGITAÇÃO

#### 3.1 Análise química

As análises das composições químicas dos materiais são apresentadas na Tabela 1. As composições químicas foram obtidas de acordo com o proposto neste trabalho.

Ligas	Elementos (m%)		
	Fe	Zr	Mg
Al-6% Mg	0.134	0.0020	5.853
Al-6% Mg-0,15%Zr	0.150	0.146	5.894

Tabela 1. Composição da liga com Al-6%Mg e a modificada com 0,15%Zr

#### 3.2 Análise da macroestrutura

A Figura 4 mostra a macroestrutura da liga de alumínio puro (a), comparado com a liga base Al-6%Mg (b), e após isso, modificada com o teor de 0,15% de Zr (c). As macrografias foram reveladas por meio de ataque químico por imersão pelo tempo de 10s com o reagente "Keller 5%" (3 ml HCl + 5 ml HNO<sub>3</sub> + 2 ml HF + 190ml água destilada).

Na macrografia com o alumínio puro, é exibido a ocorrência da zona colunar que apresenta observância ao sentido do fluxo de calor do sistema de solidificação. Ao adicionar 6% de Mg, observa-se a ocorrência da zona equiaxial na interface metal-molde, e a estrutura bruta de fusão, apresenta – se levemente colunar. Com a modificação de 0,15% de Zr, é possível observar que o sentido do fluxo de extração de calor não é mais evidenciado, tornando a estrutura bruta de fusão totalmente equiaxial. Nas paredes do molde de cobre, é observado a presença de grãos coquilhados dos quais são os resultados do primeiro contato do metal líquido com a parede fria do molde evidenciando uma elevada taxa de resfriamento durante a solidificação do metal líquido (PORTER e EASTERLING, 1992). Observou-se macroestruturas semelhantes com os resultados de Hosseiny (2015).

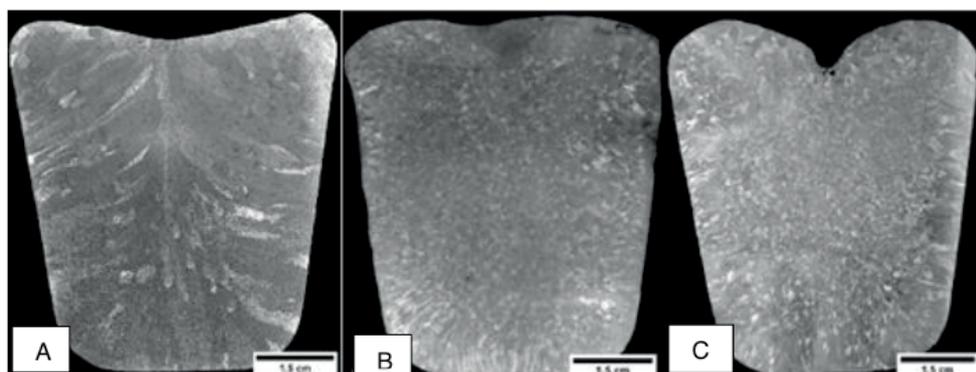


Figura 4. Macrografias das ligas solidificadas em molde de cobre. (a) Al-Puro, (b) Al-6%Mg (c) Al-6%Mg-0,15%Zr.

### 3.3 Caracterização mecânica

#### 3.3.1 Sem tratamento térmico

A Tabela 2 apresenta os valores de limite de resistência à tração da liga base – (Al-6%Mg), e após isso a liga base modificada com o teor de 0,15% de Zr. Nota –se que a presença de Zr na liga diminuiu os valores de limite de resistência à tração, com perdas de 1,91%. É importante pontuar que os valores de Limite de Resistência e tração e alongamento foram determinados a partir da curva de tensão-deformação convencional.

Ligas	LRT (MPa)	Perdas (MPa)	Percentual de Perda (%)
Al-6%Mg	570,73±3,6	-	-
Al-6% Mg-0,15%Zr	559,81±8,87	10,92	1,91

Tabela 2. Resultado do Limite de Resistencia à Tração da liga Al-6%Mg e da liga modificada com 0,15% Zr.

Através do ensaio de tração, obteve-se também os valores de alongamento, os quais são apresentados na Tabela 3.

Ligas	Alongamento (%)	Ganho (%)	Ganho Percentual (%)
Al-6%Mg	3,66±0,33	-	-
Al-6% Mg-0,15%Zr	3,94±0,36	0,28	7,11

Tabela 3. Resultado do alongamento da liga sem e com adição de 0,15%Zr.

A Figura 5, ilustra o efeito da adição de 0,15%de Zr na liga base Al-6%Mg. Ressalta – se que a avaliação das propriedades mecânicas dos materiais é feita na condição como solidificada, no qual o material passa pelo o que se convencionou nomear como: “têmpera de fusão”, do qual a fase líquida será transformada em solução sólida  $\alpha$ -Al, reduzindo qualquer possibilidade de precipitação, tanto do Mg quanto do Zr. Em suma, analisando os valores de LRT e alongamento da liga base, em comparação com a modificada por 0,15% de Zr, verifica – se uma relação íntreca entre a macroestrutura, na qual o maior valor de LRT e menor alongamento na liga Al-6%Mg-0,15%Zr está relacionada com a região colunar a partir da interface metal/molde, e a liga base Al-6%Mg na qual apresenta menor valor de LRT e maior valor de alongamento, está relacionada com a maior presença de grãos equiaxiais.

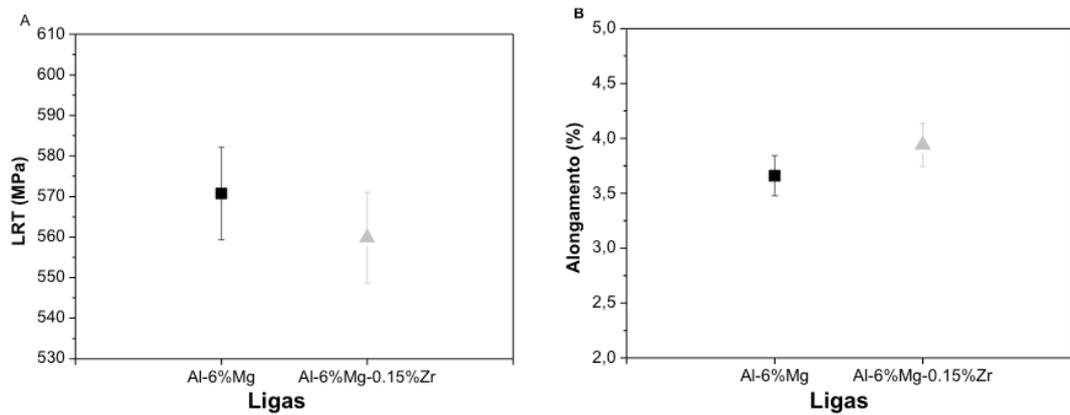


Figura 5. (a) LRT e(b) Alongamento das ligas sem e com adição de Zr.

### 3.3.2. Com tratamento térmico

O tratamento térmico adotado, gerou algumas mudanças no limite de resistência à tração das ligas estudadas, conforme pode ser observado na Tabela 4 e na Figura 6 (a).

Tempo de Tratamento Térmico (horas)	LRT após TT 400°C/16h (MPa)	
	Al-6%Mg	Al-6%Mg-0.15%Zr
0	570,73 ± 3,60	559,81 ± 8,87
16	550,55 ± 5,65	584,57 ± 4,54

Tabela 4. Limite de Resistência a tração antes e pós tratamento térmico.

O tratamento térmico também ocasionou mudanças no alongamento das ligas, conforme mostra a Tabela 5 e Figura 6 (b).

Tempo de Tratamento Térmico (horas)	Alongamento após TT 400°C/16h (%)	
	Al-6% Mg	Al-6% Mg-0,15% Zr
0	3,66 ± 0,33	3,94 ± 0,36
16	6,41 ± 0,20	4,37 ± 0,35

Tabela 5. Resultado do Alongamento antes e após o tratamento térmico.

Neste referente caso, o tratamento térmico aplicado no material causou perdas no valor de LRT, e na liga modificada com 0,15% de Zr houveram significativos ganhos no valor.

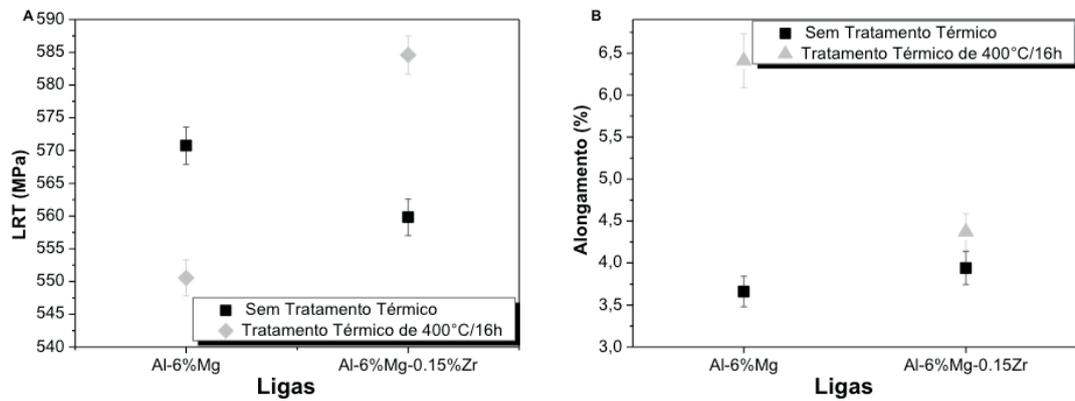


Figura 6. (a) Limite de Resistência à Tração e (b) Alongamento das ligas Al-6% Mg e Al-6%Mg-0,15% Zr, com e sem tratamento térmico.

A tabela 6 apresenta os resultados de Limite de resistência a tração e alongamento obtidos para as ligas avaliadas e em todas as condições. Considerando todas as amostras ensaiadas.

Ligas (%)	Tempo de Tratamento Térmico (horas)	LRT (MPa)	Alongamento (%)
Al-6% Mg	0	570,73±3,6	3,66±0,33
Al-6% Mg-0,15% Zr	0	559,81±8,87	3,94±0,36
Al-6wt% Mg	16	550,55±5,65	6,41±0,20
Al-6% Mg-0,15% Zr	16	584,57±4,54	4,37±0,35

Tabela 6. Resultado do LRT e do Alongamento das ligas modificadas.

Em relação ao valor de alongamento, tanto a liga modificada com o teor de 0,15% de Zr, quanto a liga base, houveram ganhos no valor. Todavia, considerando o desvio padrão próximo, considera – se que as diferenças nos resultados com e sem tratamento térmico, não foram significativas, conforme visualizado na Figura 6 (b).

Na Curva de Tensão x Deformação da Figura 7 para as ligas sem aplicação de tratamento térmico, observa – se que os valores de LRT tanto para a liga base, quanto para a liga modificada com 0,15% de Zr, foram próximos, porém a tensão gerada na zona plástica foi maior para a liga base. Conforme visto anteriormente neste referente trabalho, utilizou – se um sistema de solidificação com elevada taxa de resfriamento, gerando uma têmpera líquida no material, suprimindo a possibilidade de precipitação dos elementos Mg e Zr que encontram – se como soluções sólidas supersaturadas. A menor tensão da zona plástica para a liga modificada com 0,15% de Zr, está atrelado possivelmente devido ao próprio elemento Zr, que como solução sólida não obteve capacidade de endurecer suficientemente o material.

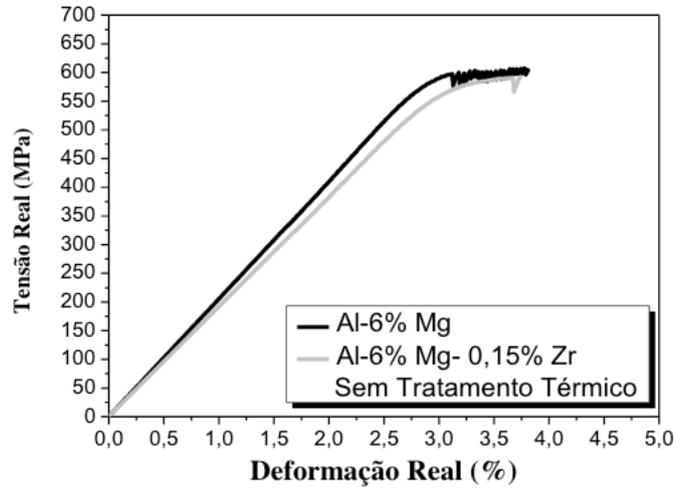


Figura 7. Curvas tensão versus deformação para as ligas Al-6% Mg e Al-6% Mg-0,15% Zr antes do tratamento térmico.

Na Curva de Tensão x Deformação da Figura 8 após aplicação do tratamento térmico de envelhecimento artificial, pode – se visualizar através das curvas das ligas, que a liga modificada com 0,15% de Zr obteve significativamente maior ganho de LRT. Fato este podendo ser justificado devido a referente liga estar localizada em uma região de precipitação. Ou seja, reforçando o fato de que houveram formações de precipitados de  $Al_3Zr$ , que possivelmente foram preponderantes para o endurecimento do material.

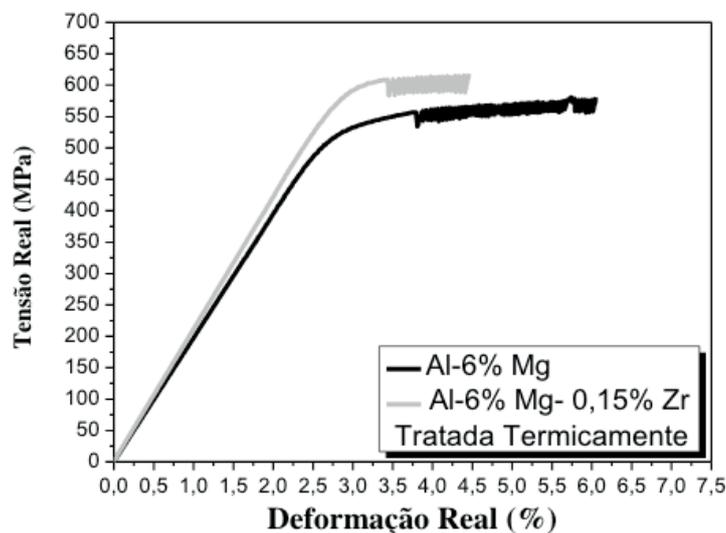


Figura 8. Curvas tensão real versus deformação real para as ligas Al-6% Mg e Al-6% Mg-0,15% Zr após ao tratamento térmico de envelhecimento artificial.

Autores como Qian (2018) e Li (2014) também visualizaram o aumento dos valores de LRT das ligas devido à formação de precipitados intermetálicos de  $Al_3Zr$ .

### 3.4 Análise do efeito de Portevin – Le Chatelier

Nas curvas da Figura 9, é possível visualizar de forma ampliada os serrilhados característicos do Fenômeno de Portevin – Le Chatelier, da liga base – (Al-6%Mg), e da liga base modificada com o teor de 0,15% de Zr.

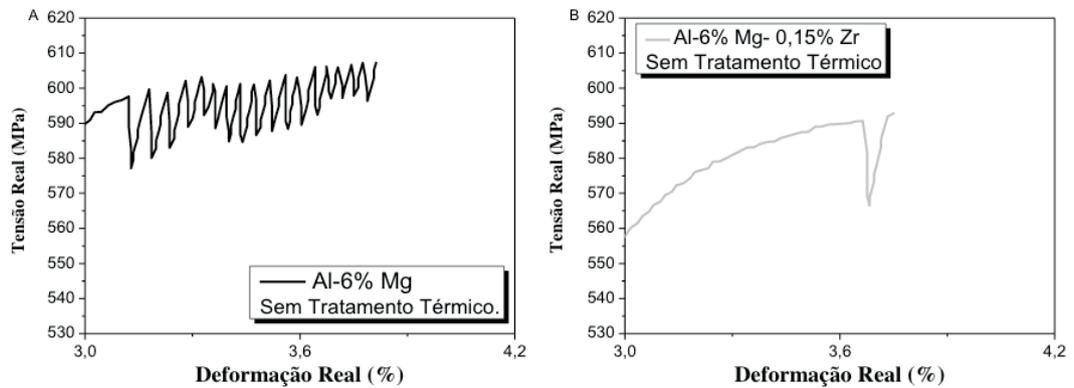


Figura 9. Efeito de PLC para as ligas Al-6% Mg e Al-6% Mg-0,15% Zr sem tratamento térmico.

Conforme estudos de Ma [4], o efeito de PLC têm sido comumente observados no estado de solução sólida em ligas de Al-Mg. De acordo com Ait-Amokhtar (2015) a alta concentração de átomos de soluto de Mg aumenta as interações das discordâncias entre si, o que pode ser considerado efeito direto de PLC no material. Tal fato, pode ser comprovado pelos extensos serrilhados observados na liga base Al-6%Mg – (Figura 9 a).

Ao adicionar 0,15% de Zr, observa – se que a extensão dos serrilhados tornam – se menores – (Figura 9 b), podendo ser justificado devido às maiores tensões internas do material causadas pelo acréscimo do teor de Zr, que apresenta influência com o acoplamento das discordâncias, dos quais difundem – se entre os átomos de soluto para movimentarem – se livremente.

Após ao tratamento térmico, é observado nas curvas da Figura 10, os serrilhados característicos do Efeito de PLC, tanto da liga modificada com 0,15% de Zr, quanto da liga base Al-6%Mg.

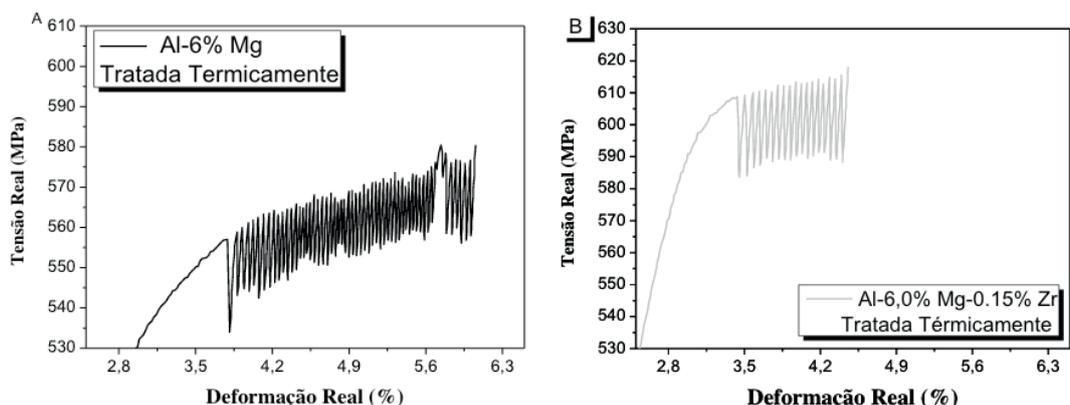


Figura 10. Efeito de PLC para as ligas Al-6wt% Mg e Al-6% Mg-0,15% Zr após tratamento térmico.

Após ao tratamento térmico, observa – se maiores extensões de serrilhados do Efeito de PLC tanto na liga base Al-6%Mg, quanto na liga base modificada com o teor de 0,15% de Zr. Podendo ser associado à maior interação de discordâncias com átomos de soluto, que podem se distribuir mais uniformemente nos grãos para auxiliar sua difusão. Especificamente na liga modificada com 0,15% de Zr – (Figura 10 b), ressalta – se a presença de precipitados de  $Al_3Zr$ , que colaboraram para a maior extensão do Efeito de PLC, fato este também podendo ser visualizado nos estudos de Zhemchuzhnikova (2015) e Hu (2011).

#### 4 | CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que na liga sem tratamento térmico, a liga adicionada com 0,15% de Zr, obteve menor valor de LRT e maior alongamento. Após ao tratamento térmico de envelhecimento artificial, observa – se significativos ganhos de LRT, e valores aproximados de alongamento, considerando os valores de desvio padrão.

Sobre o Efeito de PLC, observa – se que na liga modificada com 0,15% de Zr na condição sem tratamento térmico, os serrilhados obtiveram menores extensões – (em comparação com a liga base). E após ao tratamento térmico, observa – se maiores extensões de serrilhados na liga adicionada com 0,15% de Zr.

Devido a limitações da análise microestrutural por MEV não foi possível verificar as discordâncias e nem o deslocamento das maclas que possivelmente causaram o efeito de PLC. Essa análise poderá ser realizada em estudos futuros por meio do microscópio eletrônico de Transmissão (MET).

Os resultados encontrados foram bastante significativos, pois mostraram que o tratamento térmico utilizado melhorou as propriedades mecânicas da liga com Zr. Confirmando que o Zircônio tem grande potencial para ser utilizado em ligas de alumínio quando tratadas termicamente, possivelmente, precipitando compostos intermetálicos de Al-Zr, como o trialumineto de zircônio ( $Al_3Zr$ ). Com base nisso, pode-se verificar que a liga da série 5XXX torna-se tratável termicamente com a inserção de Zr como elemento de liga, o que aumenta, assim, a sua gama de aplicações na indústria.

#### REFERÊNCIAS

TOTTEN, G. E.; MACKENZIE, S. **Handbook of Aluminum: Physical Metallurgy and Processes**. 1ª. ed. New York: CRC Press, v. I, 2003.

FERRARI, B. R. **Caracterização de ligas metálicas a base de Alumínio - Magnésio obtida por método convencional após tratamentos termomecânicos visando estruturas cristalinas**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Escola Politécnica. São Paulo. 2008.

KAUFMAN, J. G.; ROOY, E. L. The Influence and Control of Porosity and Inclusions in Aluminum Castings. In: ASM INTERNATIONAL **Aluminum alloy casting: properties, processes and applications**, Materials Park. [S.l.]: [s.n.], 2004. p. 47-54.

MA, P. C. et al. Effect of alloying elements and processing parameters on the Portevin-Le Chatelier effect of Al-Mg alloys. **International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials.**, v. 22, n. 2, p. 175-183, 2015.

KANG, R. K. et al. **Mag. Lett.** [S.l.]: [s.n.], 2012. 647-655 p.

ASM INTERNATIONAL. **Aluminum and aluminum alloys**. 2. ed. [S.l.]: American Society for Metals - ASM Handbook, v. 4, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7549: Alumínio e suas ligas — Produtos laminados, extrudados e fundidos — Ensaio de tração**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2008.

PORTER, D. A.; EASTERLING, K. E. **Phase Transformations in Metals and Alloys**. Londres: Chapman & Hall, 1992. 263-313 p.

HOSSEINY, H.; EMAMY, M.; ASHURI, G. Effect of Al-15Zr Master Alloy and Extrusion Process on Microstructure and Mechanical Properties of Al-6% Mg Alloy. **Procedia Materials Science**, v. 11, p. 438-443, 2015.

QIAN, H. et al. Effects of Zr additive on microstructure, mechanical properties, and fractography of Al-Si Alloy. **Metals**, v. 8, n. 2, p. 124, 2018.

LI, G. et al. Effect of Sc/Zr ratio on the microstructure and mechanical properties of new type of Al-Zn-Mg-Sc-Zr alloys. **Materials Science and Engineering: A**, v. 617, p. 219-227, 2014.

AIT-AMOKHTAR, H.; FRESSENGEAS, C.; BOUABDALLAH, K. On the effects of the Mg content on the critical strain for the jerky flow of Al-Mg alloys. **Materials Science and Engineering: A**, v. 631, p. 209-213, 2015.

ZHEMCHUZHNIKOVA, D. A. et al. Unusual behavior of the Portevin–Le Chatelier effect in an AlMg alloy containing precipitates. **Materials Science and Engineering: A**, v. 639, p. 37-41, 2015.

HU, Q. et al. Theoretical and Applied Mechanics Letters. **Theoretical and Applied Mechanics Letters**, v. 1, n. 1, p. 011007, 2011.

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

Data de aceite: 03/12/2019

### Larissa de Carvalho

Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR) –  
Engenharia de Produção  
Campo Mourão - Paraná

### Daniele Martins de Almeida

Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR) –  
Engenharia de Produção  
Campo Mourão - Paraná

### Ruby Vieira de Mello Campos

Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR) –  
Engenharia de Produção  
Campo Mourão - Paraná

### Rony Peterson da Rocha

Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR) –  
Engenharia de Produção  
Campo Mourão - Paraná

**RESUMO:** As organizações são compostas por ambiente de tarefas (elementos internos da organização) e ambiente geral (fatores externos). Esta pesquisa teve como objetivo analisar o ambiente de tarefas e geral de uma empresa de equipamentos da área de saúde. A pesquisa é classificada quanto aos fins, como descritiva e quanto aos meios, como bibliográfica. O método de abordagem utilizado foi o qualitativo. Para realizar a pesquisa, elaborou-se um questionário de clima organizacional e um sobre o ambiente

geral. Com os dados levantados, constatou-se que a empresa possui um ambiente de tarefas e ambiente geral satisfatório.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ambiente de tarefa; Ambiente geral; Clima organizacional.

### CASE STUDY: ANALYSIS OF THE ORGANIZATIONAL ENVIRONMENT OF A HEALTHCARE EQUIPMENT COMPANY

**ABSTRACT:** Organizations are composed of task environment (internal elements of the organization) and general environment (external factors). This research aimed to analyze the task and general environment of a healthcare equipment company. The research is classified as ends, as descriptive and as means, as bibliographic. The approach method used was the qualitative one. To conduct the research, an organizational climate questionnaire and one about the general environment was prepared. With the data collected, it was found that the company has a task environment and satisfactory overall environment.

**KEYWORDS:** Task environment; General environment; Organizational climate.

## 1 | INTRODUÇÃO

Para Chiavenato (2007), ambiente é o contexto dentro da qual uma organização está

inserida, o que representa todos os fatores externos e internos que a envolve, sendo eles particulares e específicos de cada uma.

Por ser um sistema aberto, a organização mantém transações e intercâmbio com seu ambiente, portanto, tudo o que ocorre no ambiente externo da organização, influencia o seu ambiente interno (CHIAVENATO, 2007).

É importante que a organização tenha conhecimento dos seus meios internos e externos, pois eles estão relacionados ao fato de que seu bom desempenho, remunera seus sócios e colabora diretamente com o desenvolvimento local e nacional (SILVA e NETO, 2012). Desta forma, as organizações passam a ter uma relação sistêmica que abrange várias esferas organizacionais, além de estabelecer com os agentes externos contatos de significativa contribuição para todos os envolvidos (SILVA e NETO, 2012).

O estabelecimento de estratégia a ser implementada em uma empresa, deve passar pelo julgamento baseado em uma avaliação detalhada do ambiente externo e interno da empresa (GALINDO, 2004). Portanto, se faz necessário o estudo destes ambientes.

Desta forma, o presente trabalho, poderá contribuir para que a empresa em estudo compreenda as condições do ambiente geral (externo) e do ambiente de tarefas (interno), e possa identificar possíveis mudanças necessárias para a conquista de melhores resultados.

O objetivo deste trabalho foi analisar o ambiente de tarefas e o ambiente geral de uma empresa de equipamentos da área de saúde, apresentar os dados coletados e discutir os resultados alcançados.

O estudo enquadra-se em uma, das dez grandes áreas de conhecimento da Engenharia de Produção, sendo esta, a área Engenharia Organizacional, tendo como subárea Gestão Estratégica e Organizacional. A Engenharia Organizacional é um conjunto de conhecimentos que estão relacionados à gestão das organizações, e que abrange em seus tópicos o planejamento estratégico e operacional, as estratégias de produção, a gestão empreendedora, a propriedade intelectual, a avaliação de desempenho organizacional, os sistemas de informação e sua gestão e os arranjos produtivos (ABEPRO, 2008).

O artigo está estruturado em sete partes. Na primeira parte é apresentada a introdução, posteriormente, apresenta-se o referencial teórico, na terceira parte é apresentada a metodologia utilizada para desenvolver o trabalho, na quarta parte aborda-se o estudo de caso, logo após são apresentados os resultados obtidos com o estudo de caso, na sexta parte são apresentadas as considerações finais, e por fim apresentam-se as referências utilizadas.

## 2 | AMBIENTE ORGANIZACIONAL

Segundo Gulini (2005), o ambiente pode ser entendido como a própria sociedade de forma geral, visto que, é constituído por organizações, grupos sociais, entre outros. Isto se dá porque as organizações não vivem de forma isolada, isto é, não são autossuficientes, ao contrário, estão inseridas em um contexto no qual depende de outras para crescer, se desenvolver e sobreviver.

O ambiente de uma empresa, como o de qualquer outra entidade, é o padrão de todas as condições e influências externas que afetam a sua vida e seu desenvolvimento. As influências ambientais relevantes às decisões estratégicas operam no setor da empresa, na comunidade como um todo, em sua cidade, em seu país e no mundo (FAGUNDES, 2011).

Para melhor compreender o que constitui o ambiente de uma empresa, é necessário decompô-lo em dois segmentos: ambiente geral, comum em todas as empresas e que as influencia de maneira genérica; e ambiente de tarefas, que é o ambiente específico e imediato de cada empresa (CHIAVENATO, 2007).

A decomposição do ambiente geral e de tarefas, permite a identificação de suas influências sobre as organizações. A análise ambiental surgiu da compreensão de que as organizações humanas são sistemas abertos e recebem influência do ambiente onde estão inseridos (ALMEIDA e ALMEIDA, 2003).

A Figura 1 mostra um esquema dos fatores que constituem o ambiente geral e ambiente de tarefa de uma empresa.



FIGURA 1 – Ambiente geral e ambiente de tarefa. Fonte: Silva (2008).

### 2.1 Ambiente geral

O ambiente geral das organizações é formado por um conjunto de complexas condições e fatores externos que envolvem e influenciam nas tomadas de decisões, ou seja, é um conjunto de condições genéricas e externas, o que impossibilitam a sua interação direta com a empresa (CHIAVENATO, 2007). Segundo o autor, as condições que compõem o ambiente geral são:

<b>Condições tecnológicas</b>	As organizações precisam adaptar-se e incorporar tecnologia que provém do ambiente geral para não perderem sua competitividade.
<b>Condições legais</b>	Constituem a legislação vigente e que afetam direta ou indiretamente as organizações, auxiliando-as ou impondo-lhes restrições às suas operações.
<b>Condições políticas</b>	Incluem o clima político e ideológico geral que o governo pode criar e a estabilidade ou instabilidade política e institucional do país, pois estes fatos repercutiram consideravelmente no comportamento das empresas.
<b>Condições demográficas</b>	São as condições demográficas que determinam as características do mercado atual e futuro das organizações.
<b>Condições econômicas</b>	Constituem a conjuntura que determina o desenvolvimento econômico, de um lado, ou a retratação econômica, de outro lado, que coincidem fortemente as organizações.
<b>Condições ecológicas</b>	As organizações são influenciadas e influenciam por aspectos como poluição, clima, transporte, comunicações, etc.
<b>Condições culturais</b>	A cultura de um povo penetra nas organizações por meio das expectativas de seus participantes e de seus consumidores.

QUADRO 1 – Condições que compõem o ambiente geral das organizações. Fonte: CHIAVENATO, 2007.

## 2.2 AMBIENTE DE TAREFAS

De acordo com Chiavenato (2007), o ambiente de tarefas é o contexto mais próximo da empresa, que lhe fornece as entradas de insumos e informações, bem como a alocação e distribuição de suas saídas; além de dar suporte necessário para o alcance dos objetivos das 4 organizações. Segundo o autor, é constituído de quatro principais setores, conforme mostra o Quadro 2.

<b>Fornecedores</b>	São todos os fornecedores de recursos que a organização necessita para trabalhar: recursos materiais; recursos financeiros; recursos humanos; etc.
<b>Clientes ou Usuários</b>	São todos os consumidores das saídas das organizações.
<b>Concorrentes</b>	Cada organização não está sozinha e nem existe no vácuo, disputa com outras organizações os mesmos recursos e os mesmos tomadores de suas saídas
<b>Grupos Reguladores</b>	Cada organização está sujeita a uma porção de outras organizações que procura regular ou fiscalizar as suas atividades, como sindicatos, associações de classes, regulamentadores do governo, órgãos protetores dos consumidores, etc.

QUADRO 2 – Setores que compõem o ambiente das tarefas das organizações. Fonte: CHIAVENATO, 2007.

Como pode ser visualizado, o ambiente de tarefa é onde se encontram as variáveis que estão diretamente ligadas à empresa e podem afetar diretamente a organização na sua capacidade de atender os mercados.

### 3 | METODOLOGIA

O presente estudo foi desenvolvido em uma empresa de equipamentos da área de saúde, durante o mês de setembro de 2015.

O estudo, classifica-se quanto aos fins, como descritivo, pois visa descrever as características do ambiente geral e o de tarefas da empresa, e quanto aos meios, como bibliográfico e estudo de caso, pois teve como base artigos, anais de eventos, entre outros, referentes ao assunto abordado e foram realizadas visitas in loco para a realização e investigação do caso em questão.

O método de abordagem adotado foi descritivo e qualitativo, devido a descrição interpretação dos dados coletados com o objetivo de esclarecer as informações.

Para analisar o ambiente de tarefas da empresa, elaborou-se um questionário de clima organizacional, adaptado do questionário de clima organizacional da Alvo Consultoria, Assessoria e Treinamentos Empresariais. Foi utilizado um questionário estruturado, em que as perguntas foram baseadas nos diversos fatores considerados essenciais para analisar o ambiente de tarefas da empresa. As questões sobre o clima organizacional foram constituídas por apenas uma pergunta aberta e vinte e quatro de múltipla escolha, as quais se agrupam em nove seguimentos, sendo eles: autonomia, comprometimento, trabalho em equipe, realização profissional, comunicação, condições de trabalho, oportunidades, imagem da empresa e ambiente de trabalho.

As alternativas de respostas variaram em cinco níveis, sendo eles: “concordo totalmente”, “concordo parcialmente”, “não concordo”, “discordo parcialmente”, e “discordo totalmente”.

O questionário sobre o clima organizacional foi disponibilizado para a empresa por um período de três dias, sendo aplicado em dois departamentos, totalizando 40 colaboradores. Para coleta de dados referente ao ambiente geral da empresa, elaborou-se um questionário estruturado, baseado no artigo “Diferenças na atividade de monitoramento de informações do ambiente externo em pequenas e médias empresas: a influência do porte e da idade”, dos autores Éverton Luís Pellizzaro de Lorenzi Cancellier, Anete Alberton e Anielson Barbosa. O questionário possui quinze perguntas de múltipla escolha, e as alternativas de resposta variam em cinco níveis, sendo eles: “muito baixa”, “baixa”, “média”, “alta” e “muito alta”. O questionário foi deixado na empresa por um período de três dias e respondido por apenas um colaborador, do departamento administrativo.

Atabulação dos dados foi feita com o auxílio do Microsoft Excel, o qual gerou nove gráficos referentes a cada fator abordado no questionário de clima organizacional, e um gráfico com os dados do ambiente geral. Por meio destes, realizou-se a análise dos resultados.

## 4 | ESTUDO DE CASO

### 4.1 Caracterização da empresa

A pesquisa foi realizada em uma empresa de médio porte, a qual está localizada no centro-oeste do Paraná e produz equipamentos para a área da saúde. Fundada em 1991, a empresa é líder em vendas de autoclaves de mesa no mercado nacional. Já fabricou mais de 180 mil autoclaves para o Brasil e para mais de 30 países para onde exporta parte de sua produção.

A empresa conta com 130 colaboradores que estão divididos em áreas administrativas e operacionais. Os produtos fabricados são: cuba plástica, envelope ou embalagens tubular para esterilização, seladora, suporte de envelopes, destilador, e autoclaves; destinadas às áreas de odontologia, clínicas médicas, hospitais, beleza, veterinária, tatuagem e *body piercing*.

### 4.2 Descrições das atividades referentes ao tema de estudo

Para a realização do estudo referente ao ambiente de tarefas, foi aplicado um questionário de clima organizacional, constituído de vinte e quatro afirmações, que se agrupam em nove fatores, sendo eles: autonomia, comprometimento, trabalho em equipe, realização profissional, comunicação, condições de trabalho, oportunidades, imagem da empresa e ambiente de trabalho. Cada uma das afirmações possuíam alternativas de respostas, como descrito na metodologia. As afirmações estão listadas no Quadro 3.

1	Tenho autonomia para expor minhas ideias em meu trabalho.
2	Tenho autonomia e responsabilidade suficiente para desenvolver meu trabalho.
3	No meu setor, existe uma constante preocupação em fazer sempre um ótimo trabalho.
4	Procuro participar das decisões que afetam o trabalho na minha área.
5	Realizo meu trabalho sempre visando os resultados da empresa.
6	Busco fazer o máximo possível em meu trabalho, para atingir as metas da empresa.
7	Existe uma boa união na equipe de trabalho, na qual estou inserido.
8	Minha equipe de trabalho está sempre motivada.
9	Em minha equipe de trabalho, todos são comprometidos e se ajudam.
10	Quando faço um bom trabalho, percebo que sou reconhecido pelos meus colegas.
11	Sempre que temos um problema na equipe, ao invés de ignorá-lo, conversamos e buscamos uma solução.

**QUADRO 3** – Afirmações que compõem o questionário de clima organizacional (continua).

12	Percebo a importância das tarefas que desempenho nesta organização.
13	Existe uma boa comunicação no departamento em que trabalho.
14	Existe uma boa comunicação com os demais departamentos da organização
15	Considero que as condições do meu ambiente de trabalho, contribuem para minha segurança.
16	Sempre que necessário, a empresa busca investir em meu desenvolvimento profissional.
17	Percebo que sou avaliado de forma justa, sobre as atividades que desenvolvo.
18	A empresa sempre busca atender todas as expectativas de seus clientes.
19	Conheço totalmente a empresa: o mercado em que atua, os produtos que fabrica, e os clientes que atende.
20	Considero como sendo de alta qualidade os produtos da empresa
21	Estou satisfeito com os eventos promovidos pela empresa, eles aumentam a integração entre os colaboradores.
22	As regras/estatutos vigentes são claros e atingem o objetivo de trazer harmonia e bom funcionamento do ambiente de trabalho.
23	O ambiente de trabalho me proporciona aprendizagem e desenvolvimento.
24	Raramente percebo que existe competitividade exagerada no ambiente de trabalho.

QUADRO 3 – Afirmações que compõem o questionário de clima organizacional (fim).

O questionário de clima organizacional foi aplicado nos departamentos de produção e almoxarifado, totalizando 40 colaboradores, dos quais 26 responderam, representando um percentual de 65%.

Para a realização do estudo referente ao ambiente geral da empresa, foi aplicado um questionário, constituído de 15 perguntas, as quais estão listadas no Quadro 4. Cada uma das perguntas possuíam alternativas de respostas, como descrito na metodologia.

a)	Com que frequência pesquisa-se sobre a necessidade dos clientes?
b)	Com que frequência analisa-se os preços e prazos praticados pelos fornecedores?
c)	Com que frequência analisa-se o hábito de compra dos clientes?
d)	Com que frequência analisa-se as leis e normas que regulam o setor?
e)	Com que frequência pesquisa-se os preços praticados pelos concorrentes?
f)	Com que frequência surgem inovações tecnológicas aplicadas aos produtos, serviços ou processos da empresa?
g)	Com que frequência analisa-se as condições gerais da economia? (EX: taxas de juros, inflação, câmbio, PIB).
h)	Com que frequência pesquisa-se novos fornecedores?
i)	Com que frequência pesquisa-se os perfis de novos clientes? (EX: socioeconômico, distribuição geográfica).
j)	Com que frequência analisa-se as mudanças nas tendências do mercado de atuação? (EX: crescimento, declínio, novos segmentos de clientes etc.).
k)	Com que frequência pesquisa-se sobre a introdução de novos produtos pelos concorrentes?
l)	Com que frequência pesquisa-se sobre as mudanças nos produtos dos concorrentes?

m)	Com que frequência pesquisa-se sobre as práticas de bancos e financiadores do mercado de atuação?
n)	Com que frequência pesquisa-se sobre mudanças no Marketing dos concorrentes?
p)	Com que frequência pesquisa-se sobre os custos e resultados financeiros dos concorrentes?

QUADRO 4 – Perguntas que compõem o questionário referente ao ambiente geral.

## 5 | ANÁLISE DAS ATIVIDADES E PROPOSTAS DE MELHORIA NA EXECUÇÃO DAS ATIVIDADES REFERENTES AO TEMA DO ESTUDO

A figura 2 apresenta os gráficos que contém os resultados obtidos com a aplicação do questionário de clima organizacional.

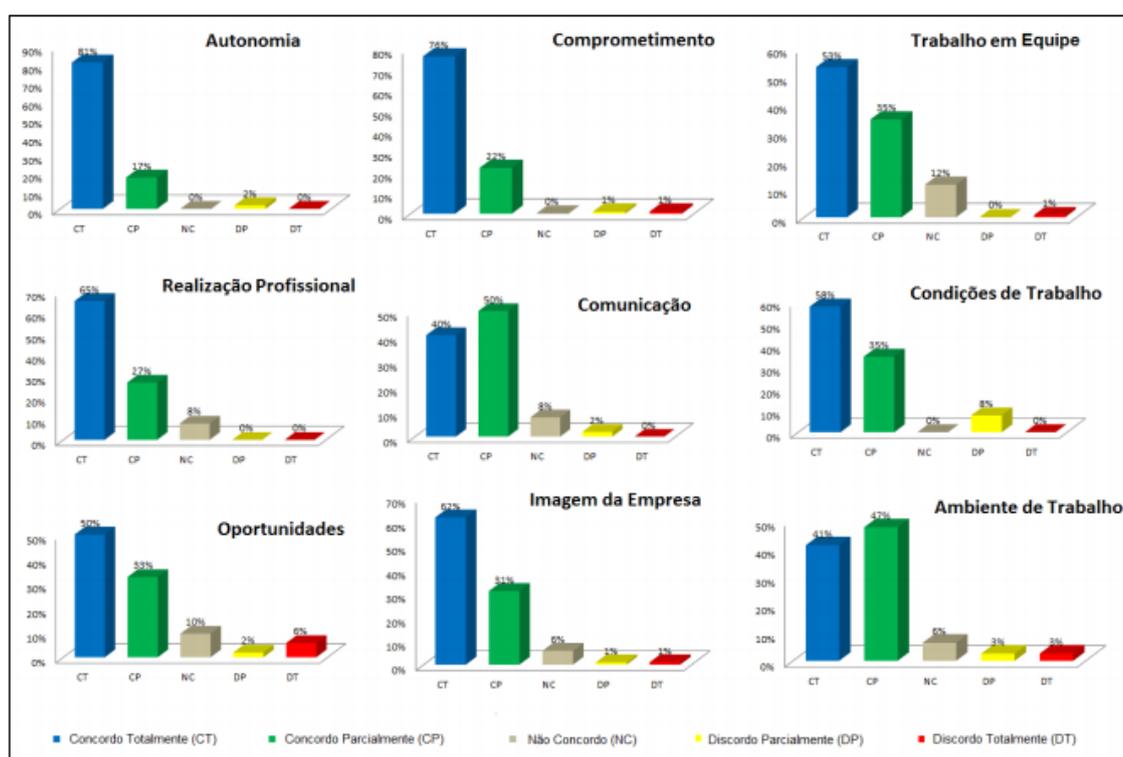


FIGURA 2 – Gráficos dos resultados do questionário de Clima Organizacional.

Em relação à autonomia, percebe-se que mais de 80% dos entrevistados concordam totalmente com a existência da mesma. Isto demonstra que a empresa garante a liberdade para a realização do trabalho pelos colaboradores.

Ao analisar o gráfico referente ao comprometimento, constata-se que 98% das respostas apresentam resultados satisfatórios, demonstrando que a maioria dos colaboradores da empresa estão comprometidos com o seu trabalho.

Ao avaliar o gráfico referente ao trabalho em equipe, observou-se que 88% das repostas foram positivas, no entanto, 12% não concordam que há um bom trabalho em equipe, embora seja uma porcentagem pequena, sugere-se que a empresa analise as causas das respostas negativas, para solucionar, ou evitar problemas futuros que possam surgir.

Em relação à realização profissional, percebe-se que 92% dos colaboradores sentem-se realizados profissionalmente e 8% mostram-se insatisfeitos, desta forma, propõem-se que a empresa demonstre a importância do trabalho de seus colaboradores.

O gráfico referente à comunicação apresenta que 90% dos colaboradores concordam com a existência da mesma, demonstrando assim, que existe uma comunicação efetiva em toda a empresa.

Ao analisar o gráfico referente às condições de trabalho, percebe-se que 8% dos colaboradores que responderam ao questionário, não estão satisfeitos com a mesma. No entanto, esta porcentagem é baixa, quando comparada com o total de colaboradores que estão satisfeitos.

Ao avaliar o gráfico referente às oportunidades, nota-se que 18% não estão satisfeitos com as oportunidades ofertadas pela empresa, demonstrando que este percentual de colaboradores não se sentem avaliados de forma justa.

O gráfico referente à imagem da empresa, apresenta resultados satisfatórios, visto que 93% dos colaboradores têm uma boa imagem da empresa. Em relação ao gráfico referente ao ambiente de trabalho, constata-se que 12% dos colaboradores sentem-se insatisfeitos.

O questionário referente ao ambiente geral foi aplicado no departamento administrativo, para apenas 1 colaborador, pois buscava-se apenas compreender como a empresa trabalha com os fatores relacionados ao seu ambiente geral.

A Figura 3 mostra o gráfico com os resultados obtidos após a aplicação do questionário. No eixo das ordenadas estão representadas as perguntas, apenas por sua letra correspondente, como listado no quadro 5, e o eixo das abscissas, contém o nível de frequência, com que cada um das perguntas é analisado pela empresa.

Ao avaliar a Figura 3, percebe-se que o nível de frequência com que a empresa analisa o seu ambiente geral é elevado, pois 73% das perguntas obtiveram respostas de nível 5, o que representa “muito alta”. E 27% das perguntas tiveram resposta de nível 4, que representa “alta”, isto demonstra que, a empresa preocupa-se em manter-se atualizada sobre as condições do mercado em que está inserida.

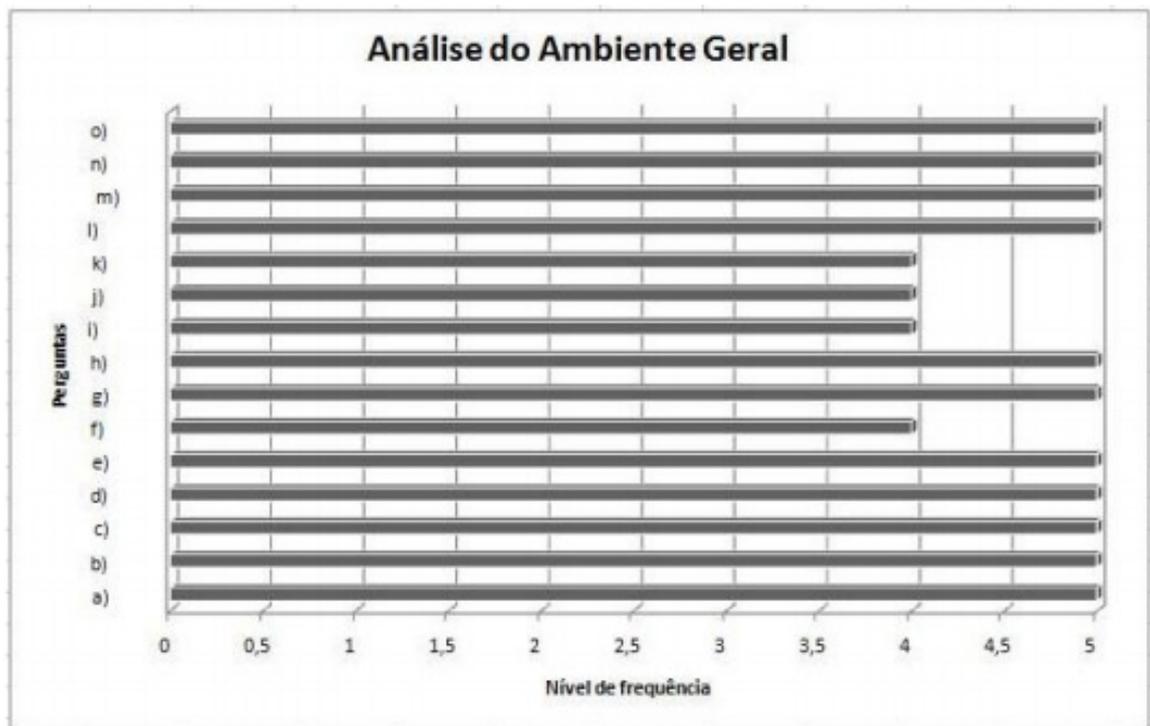


FIGURA 3 – Níveis de frequência da análise do ambiente geral da empresa da área de saúde

## 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a aplicação do questionário de clima organizacional na empresa de equipamentos da área da saúde, constatou-se que em média 58% dos colaboradores concordam totalmente, com todas as afirmações relacionadas ao ambiente de tarefas. Isto demonstra que, a empresa preocupa-se em garantir a satisfação de seus colaboradores, visando atingir bons resultados, por meio da análise dos fatores que envolvem este ambiente.

No entanto, houveram alguns percentuais significativos, quanto as respostas negativas (não concordo, discordo parcialmente, e discordo totalmente) que devem ser considerados para evitar possíveis ameaças que possam prejudicar o alcance dos objetivos da empresa. Desta forma, sugere-se que a empresa identifique as causas destas respostas, para então revertê-las.

Em relação ao ambiente geral, a empresa de estudo analisa o mesmo com elevada frequência, o que é comprovado pelos resultados obtidos após a aplicação do questionário, no qual, foram obtidas respostas de nível 5 a 73% das perguntas. Demonstrando assim, que a empresa, considera importante a análise do ambiente geral, para manter-se atualizada com relação ao mercado, e assim poder tomar decisões baseadas nas condições ofertadas pelo mesmo.

Destaca-se a importância da análise do ambiente geral e do ambiente de tarefas, os quais permitem que as empresas compreendam o seu posicionamento perante o mercado, e identifiquem possíveis ameaças que possam existir, ou até

mesmo oportunidades que não são exploradas.

## REFERÊNCIAS

ABEPRO. **Áreas e Subáreas de Engenharia de Produção**. 2008.

ALMEIDA, M. I. R.; ALMEIDA F. R. **Análise do Ambiente Organizacional: A peça chave para o desenvolvimento de um planejamento estratégico**. In: VI SEMEAD. Ensaio Adm. Geral, 2003, São Paulo. Anais... USP: São Paulo, 2003.

ALPERSTEDT, G. D. et al. **Estratégias de gestão ambiental e seus fatores determinantes: uma análise institucional**. Revista de administração de empresas. v.50, n.2, p.170-186, abr./jun, 2010.

BEZERRA, A. S. **Clima organizacional: fatores que influenciam na empresa xyz**. 2011. 65f. Monografia (Graduação em Administração) - Universidade Federal do Piauí, Picos, 2011.

CANCELLIER, E. L. P. L. et al. **Diferenças na atividade de monitoramento de informações do ambiente externo em pequenas e médias empresas: a influência do porte e da idade**. Perspectivas em Ciência da Informação, v.16, n.2, p.168-186, abr./jun, 2011.

CHIAVENATO, I. **Introdução à teoria geral da administração: uma visão abrangente da moderna administração das organizações**. 7 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

DESTACIO, R. P. **Ambiente organizacional: uma análise dos ambientes interno e externo de uma construtora na cidade de Londrina/pr**. 2010. 57F. Monografia (Graduação em Administração) - Faculdade Arthur Thomas, Londrina, 2010.

FAGUNDES, F. M. **Ambiente nas organizações e turbulência ambiental: uma pesquisa bibliográfica**. Revista Online Administração e Ciências Contábeis. n.6, ago/dez 2011.

GALINDO, A. G. **Introdução aos fundamentos do pensamento estratégico empresarial**. 21 ed. Macapá, 2004.

GULINI, P. L. **Ambiente organizacional, comportamento estratégico e desempenho empresarial: um estudo no setor de provedores de internet de Santa Catarina**. 2008. 160f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade do Vale do Itajaí, Biguaçu, 2005.

SILVA, Reinaldo O. **Teorias da Administração**. São Paulo: Person Prentice Hall, 2008

SILVA, W. R.; NETO, A. J. M. **A relação sistêmica da organização e seu ambiente: cultura, incertezas e o desafio do desenvolvimento**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS, 8., 2012. Poços de Calda, MG. Anais... Curitiba: Uni-FACEF: 2012.

## 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

Data de aceite: 03/12/2019

### Allan Christian Alves da Luz

Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, Sinop – MT

### Roberto Vasconcelos Pinheiro

Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, Sinop – MT

### André Luís Christoforo

Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar São Carlos – SP

### Francisco Antônio Rocco Lahr

Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar São Carlos - SP

**RESUMO:** A madeira, material de fonte renovável, fez parte do progresso da humanidade, sendo muito utilizada na construção civil durante séculos. Porém com o decorrer dos tempos, novas técnicas construtivas foram sendo aplicadas, novos materiais foram surgindo e, nesse meio tempo, a madeira foi sendo deixada de lado, sendo taxada como material com enorme incidência de patologias. Isso porque era usada de maneira empírica sem qualquer conhecimento

técnico a respeito de suas propriedades físicas e mecânicas, o que ainda acontece nos dias atuais, sendo usada predominantemente para fins temporários. Afim de mostrar a viabilidade técnica na utilização deste material como elemento estrutural, propôs-se a elaboração de projetos com as seguintes características: edificações com estruturas treliçadas (banzo paralelos) tipo “Howe” (inclinação de 10° - telha de aço); vão livre 16, 18, 20, 22, 24 e 26 metros; tipologias das aberturas laterais da edificação – 1:1, 2:1, 6:1 e aberto; tratamento preservativo. Desta forma, foi determinada a razão entre o volume de madeira (m<sup>3</sup>) e a área construída (m<sup>2</sup>) para madeiras de classe C-20 e C-30, seguindo as orientações da NBR 7190:1997. Com os resultados pode-se constatar a real possibilidade do uso de espécies de madeira C-20 e C-30 como material estrutural.

**PALAVRAS-CHAVE:** madeira; telhado de aço; estruturas de cobertura; preservação.

TECHNICAL FEASIBILITY STUDY FOR THE USE OF "ALTERNATIVE" TIMBER IN LATTICEWORK (PARALLEL PLANKS) FOR ROOFING (STEEL ROOF - SLOPE 10 °), WITH SPANS BETWEEN 16 AND 26 METERS

**ABSTRACT:** Wood, a renewable source material, has been part of the progress of mankind, being widely used in construction for

centuries. However, with the passage of time, new construction techniques were being applied, new materials have been rising and, in the meantime, wood was being left out, being labeled as a material with huge incidence of pathologies. That due to its empirical use without any technical knowledge regarding its physical and mechanical properties, which still happens nowadays, being used mainly for temporary purposes. In order to show the technical viability of the use of this material as a structural element, the elaboration of projects with the following characteristics was proposed: buildings with truss structures (parallel chord) type "Howe" (10° inclination - steel tile); 16, 18, 20, 22, 24 and 26 meters span; side openings types of the building – 1:1, 2:1, 6:1 and open; preservative treatment. Thus, it was determined the ratio of the volume of wood (m<sup>3</sup>) and the built area (m<sup>2</sup>) for timbers classes C-20 and C-30, following the NBR 7190:1997 guidelines. With the results, it is possible to assure the real possibility of using wood species C-20 and C-30 as structural material.

**KEYWORDS:** wood; steel roof; roof structures; preservation.

## 1 | INTRODUÇÃO

Provavelmente, o primeiro material de construção utilizado pelo homem foi a madeira, e até hoje é uma das principais matérias primas utilizadas, isso devido à versatilidade e a facilidade de seu emprego, podendo ser aplicada em construções, como matéria-prima para fabricação de móveis e também como fonte de energia.

Entretanto, com o passar dos tempos, e o rápido desenvolvimento da tecnologia, novos materiais de construção foram surgindo, entre eles o concreto e o aço, surgindo também um certo preconceito com estruturas de madeira. Isso porque, devido a sua grande disponibilidade, a proximidade entre os grandes centros consumidores e os locais de extração aliados a falta de conscientização de proprietários e construtores, que preferiam contratar apenas a mão de obra mais barata e com alguma experiência prática, porém sem conhecimento técnico (PARTEL, 2000), ocasionou um grande desperdício de madeira e construções projetadas com o empirismo, onde ficavam sujeitas ao surgimento de patologias e deformações excessivas. E a explicação para essas ocorrências foram associadas ao emprego da madeira na estrutura e não à falta de projeto.

Segundo Pfeil e Pfeil (2003), somente no século XX as estruturas de madeira ganharam atenção científica, ganhando teorias técnicas e padrões de utilização, e hoje volta a se tornar um material de construção economicamente competitivo e, por ser um material renovável, aceito em termos ecológicos

A região onde Sinop/MT se localiza, região norte do estado do Mato Grosso, destaca-se na indústria madeireira pela sua proximidade às fontes de matéria-prima. Porém, mesmo havendo normas, a madeira ainda é usada de maneira indevida, como uso temporário para escoramento de lajes, caixaria, andaime, entre outros.

Dessa forma causando um grande desperdício e descartando um material que possui um grande potencial na construção civil.

Com o presente estudo teve como objetivo mostrar a viabilidade técnica do emprego de madeiras alternativas, ou seja, madeiras cujas espécies são pouco utilizadas para esses fins, em estruturas treliçadas para cobertura de galpões e minimizar o preconceito que cercam o emprego desse material para fins estruturais, otimizando o uso das mesmas e disseminando o aprendizado na elaboração de projetos estruturais.

## 2 | METODOLOGIA

O projeto foi dividido em etapas afim de se ter um trabalho bem detalhado, sendo elas: (i) Determinação dos parâmetros geométricos da edificação; (ii) Concepção estrutural (disposição das peças e componentes da treliça); (iii) Ações e os carregamentos, definindo os esforços internos e deslocamentos utilizando o software Ftool; (iv) dimensionamento e a verificação dos elementos estruturais e ligações seguindo as prescrições da ABNT NBR 7190:1997; (v) Levantamento do quantitativo do volume de madeira necessário e organização gráficos.

### 2.1 Especificações dos Parâmetros geométricos e estruturais

Os parâmetros das edificações projetadas foram os seguintes:

- Treliça isostática com banzos paralelos (inclinação de  $10^\circ$ ) tipo howe para todos os vãos, com banzos superiores e inferiores contínuos (barras contínuas), enquanto as diagonais e montantes são articuladas em suas extremidades, conforme figura 1;

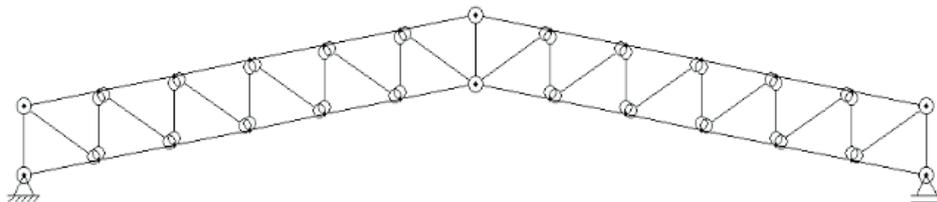


Figura 1 - Esquema estrutural treliçado com banzos paralelos tipo Howe com inclinação de  $10^\circ$

- Telha de aço;  
- Pé direito com altura de 5 metros;  
- Edifício, em planta, com relação geométrica em torno de 1:3, com as seguintes especificações:

- Tipo 1 - 16x52,5m com espécies de madeira classe C20 (7 vãos de 7,5 metros);
- Tipo 2 – 18x60m com espécies de madeira classe C20 (8 vãos de 7,5 metros);

metros);

- Tipo 3 – 20x60m com espécies de madeira classe C20 (8 vãos de 7,5 metros);
- Tipo 4 – 22x67,5m com espécies de madeira classe C30 (9 vãos de 7,5 metros);
- Tipo 5 – 24x75m com espécies de madeira classe C30 (10 vãos de 7,5 metros);
- Tipo 6 – 26x82,5m com espécies de madeira classe C30 (11 vãos de 7,5 metros), conforme figura 2.

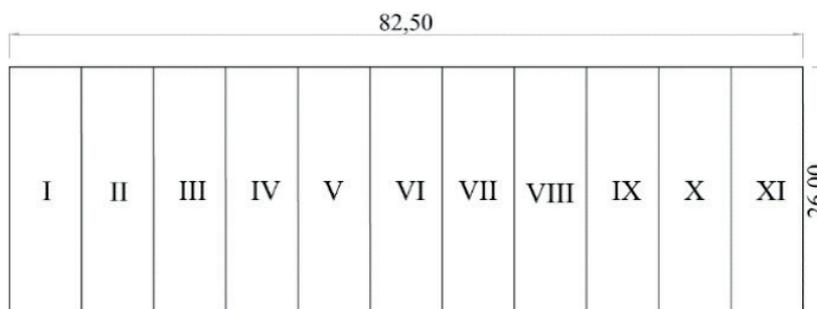


Figura 2 - Esquema geométrico do tipo 6 – 26x82,5m

- Relação de aberturas (relação entre a abertura principal com as demais aberturas da edificação) de 1:1, 2:1, 6:1 e aberto.

## 2.2 Composição geométrica das terças e dos elementos de contraventamento

As terças utilizadas possuem seção transversal retangular, e foram divididas em dois tipos.

- Terça “T1” – Viga hiperestática nas duas direções, com apoios de extremidade sobre as mãos-francesas e apoio interno, sobre os nós das treliças, conforme figura 3;
- Terça “T2” – Viga isostática em relação ao eixo x, apoiada sobre as mãos-francesas, e comportamento hiperestático em relação ao eixo y, com apoios de extremidades sobre as mãos-francesas e apoio interno composto por linhas de corrente (tirante metálico, localizados no meio do vão).

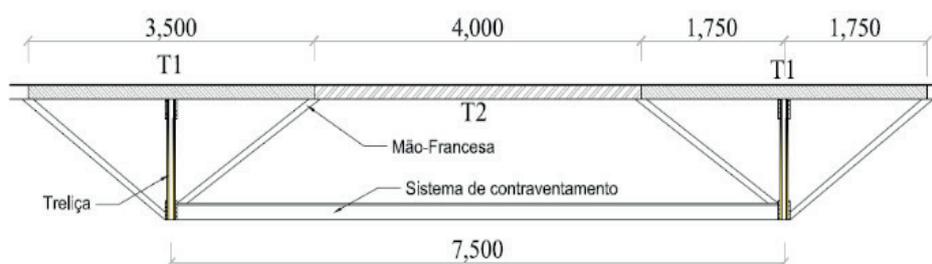


Figura 3 - Nomenclatura das terças.

O sistema de contraventamento é composto por: terças e cabos de aço com esticadores, dispostos no plano do banzo superior, e no plano dos banzos inferiores vigas “T” (mesa – 2,5x15, alma – 2,5x15) travadas transversalmente no ponto médio (peças 7x7). As regiões contraventadas de cada barracão estão representadas logo abaixo seguindo o esquema geométrico da figura 2. O detalhamento a respeito de todo o sistema encontra-se nos apêndices no final do artigo.

- Tipo 1 – Contraventamento nas regiões I, IV e VII;
- Tipo 2 – Contraventamento nas regiões I, IV, V e VIII;
- Tipo 3 – Contraventamento nas regiões I, IV, V e VII;
- Tipo 4 – Contraventamento nas regiões I, IV, VI e IX;
- Tipo 5 – Contraventamento nas regiões I, IV, VII e X;
- Tipo 6 – Contraventamento nas regiões I, IV, VII e XI.

### 2.3 Determinação das ações

A norma brasileira NBR 8681 (ABNT,2003), define ações como as causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas. Para a elaboração de um projeto estrutural, deve-se levar em conta todas as possibilidades de combinações de ações que podem atuar na estrutura ao longo da sua vida útil. Com base na combinação mais desfavorável para a estrutura, são elaborados os cálculos estruturais.

Como Ações atuantes nas estruturas foram consideradas ações permanentes (estruturais e não estruturais) e as variáveis (cargas devido ao vento). Para a determinação das ações nas estruturas foram seguidas todas as descrições normativas propostas pelas ABNT NBR 7190:1997 e ABNT NBR 6120:1980, e para a determinação dos esforços decorrentes da ação do vento a ABNT NBR 6123:1988.

Para o cálculo do peso próprio da estrutura considerou-se toda a composição geométrica das estruturas, onde foram usadas madeira de classe de resistência C-20 para todos os vãos. No enterçamento, madeiras de classe C-30 e para o contraventamento classe C-20. O peso próprio da telha aço (ação permanente não estrutural) é igual a 0,05kN/m<sup>2</sup>.

Seguindo as prescrições da ABNT NBR 6123:1988 foram definidos os seguintes parâmetros para as ações variáveis: velocidade característica do vento para a região de Sinop-MT em que estão situadas as edificações do projeto de 30m/s; fator S1 referente à rugosidade e topografia do terreno, que tem o valor igual à 1 para regiões planas; fator S2 que depende da característica geométrica da edificação e varia de acordo com cada vão em estudo (16 a 26 metros); e o fator S3 correspondente a taxa de ocupação do edifício, igual a 1. Também foram definidos com base nesta norma os coeficientes de pressão interna e externa para cada configuração geométrica. Todos os parâmetros combinados com os coeficientes externos e internos, foram calculadas as pressões dinâmicas do vento para posterior cálculo das ações nas

estruturas.

Para efetuar as combinações de ações atuantes na estrutura, foram seguidas as recomendações das normas: ABNT NBR 8681:2003 “Ações e segurança nas estruturas- procedimento”, e ABNT NBR 7190:1997 “Projetos de estruturas de madeira”. Considerando o Estado Limite Último com combinações últimas normais e o Estado Limite de Serviço com combinações de longa duração, esse último utilizado para o cálculo dos deslocamentos das estruturas.

## **2.4 Dimensionamento dos elementos estruturais**

Seguindo as prescrições da ABNT NBR 7190:1997 foi realizada o dimensionamento dos elementos estruturais assim como também das ligações entre esses elementos. Segundo a norma, elementos estruturais com esbeltez menor que 40, devem ser feitas verificações de tração e compressão normal e paralela às fibras, e para peças mediamente esbeltas, com esbeltez entre 40 e 140, deve-se também fazer a verificação da estabilidade. Para as terças, elementos sujeitos à flexão oblíqua, deve ser feita a verificação para flexão simples oblíqua.

Ainda segundo a norma, quando se trata do cálculo das ligações dois fatores são levados em consideração, a flexão do pino ou o embutimento na madeira (este que pode ser paralelo, normal ou inclinado às fibras). Neste trabalho foram utilizados parafusos como elementos de ligação.

Após o dimensionamento de todos os elementos estruturais, foi feita a comparação entre a estimativa inicial e a situação real de projeto para cada estrutura, pois segundo a normativa, uma diferença maior que 10% implica que o peso próprio deve ser recalculado.

## **2.5 Quantificação de materiais e construção de gráficos**

Após o dimensionamento, os resultados foram organizados em tabelas e gráficos que expressam o consumo volumétrico de madeira por área construída para cada situação de projeto proposta, assim como a quantidade de pinos utilizada em toda a estrutura.

# **3 | RESULTADOS E ANÁLISE**

## **3.1 Volume de madeira**

A fim de garantir um dimensionamento eficiente, levando em consideração aspectos técnicos e também construtivos, cada barra da treliça e demais componentes foram dimensionadas separadamente.

A seguir são apresentados os resultados do consumo volumétrico para cada elemento estrutural e o total para cada tipologia de projeto proposta.

Vão (m)	Treliça (m <sup>2</sup> )	Terça (m <sup>2</sup> )	Contraventamento (m <sup>3</sup> )	Total (m <sup>3</sup> )
16	4,90	1,79	3,07	9,77
18	6,28	2,05	3,65	11,98
20	8,70	2,05	4,82	15,57
22	9,71	2,44	5,69	17,84
24	13,37	2,71	5,87	21,95
26	17,71	3,75	6,90	28,37

Tabela 1- Consumo volumétrico em m<sup>3</sup> para todos os elementos do barracão Aberto.

Vão (m)	Treliça (m <sup>2</sup> )	Terça (m <sup>2</sup> )	Contraventamento (m <sup>3</sup> )	Total (m <sup>3</sup> )
16	4,63	1,54	3,07	9,24
18	5,37	1,79	3,65	10,81
20	7,33	1,79	4,82	13,95
22	9,87	2,05	5,69	17,61
24	12,68	2,44	5,87	20,99
26	17,01	2,71	6,90	26,62

Tabela 2- Volume (m<sup>3</sup>) abertura 6:1

Vão (m)	Treliça (m <sup>2</sup> )	Terça (m <sup>2</sup> )	Contraventamento (m <sup>3</sup> )	Total (m <sup>3</sup> )
16	5,43	1,54	3,07	10,04
18	6,23	1,90	3,65	11,78
20	8,22	1,90	4,82	14,94
22	13,46	2,17	5,69	21,32
24	15,41	2,44	5,87	23,72
26	19,13	3,30	6,90	29,33

Tabela 3 - Volume (m<sup>3</sup>) abertura 2:1

Vão (m)	Treliça (m <sup>2</sup> )	Terça (m <sup>2</sup> )	Contraventamento (m <sup>3</sup> )	Total (m <sup>3</sup> )
16	3,53	1,54	3,07	8,14
18	5,18	1,79	3,65	10,63
20	6,50	1,79	4,82	13,11
22	8,43	2,05	5,69	16,17
24	11,95	2,44	5,87	20,26
26	16,07	2,71	6,90	25,68

Tabela 4 - Volume (m<sup>3</sup>) abertura 1:1

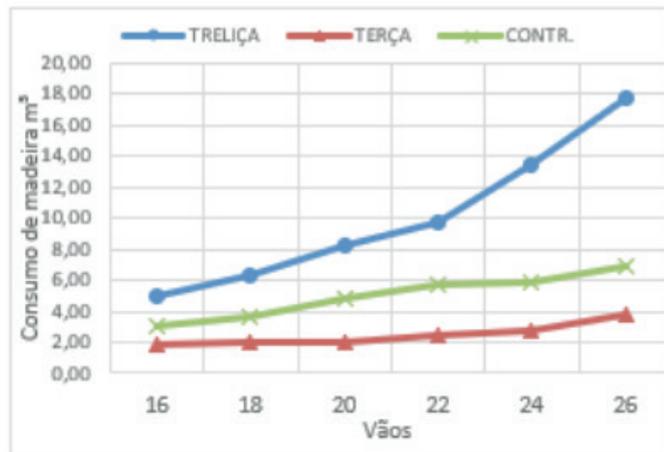


Figura 4- Consumo Total de madeira (m³) para a relação de abertura – Aberto

Percebe-se em todas as relações de abertura que conforme se aumenta o tamanho do vão o volume de madeira na treliça também aumenta de forma quase exponencial, isso se deve ao fato de que quanto maior o vão, maior a área de carregamento do vento na treliça, o que conseqüentemente resultará em maiores esforços internos nos elementos. E quando se trata da relação de abertura a proporção 6:1, na qual a ação do vento possui coeficientes de pressão mais críticos devido á diferença de penetração de massa ar nas faces do barracão, os esforços gerados por essa relação de abertura seriam os mais elevados de todos os projetos realizados nesse trabalho, sendo uma das tipologias de projeto que apresentaram os maiores consumos volumétricos de madeira, ficando, em alguns casos, atrás somente da cobertura totalmente aberta. A terça, por ser o elemento estrutural responsável de transferir os esforços decorrentes do vento para a treliça, também têm seu consumo variado de acordo com o tipo de abertura, de mesma maneira que a treliça.

Já o sistema de contraventamento não sofre alterações em seu consumo diretamente interligada com a ação do vento, mas sim com o número de elementos que compõem esse sistema.

### 3.2 4 Consumo de madeira por metro quadrado de construção

Os resultados da razão do consumo volumétrico de madeira pela área em planta de todos os 24 projetos, sendo seis tipos de vãos e quatro tipos de aberturas, estão representados nas figuras 5 a 8.

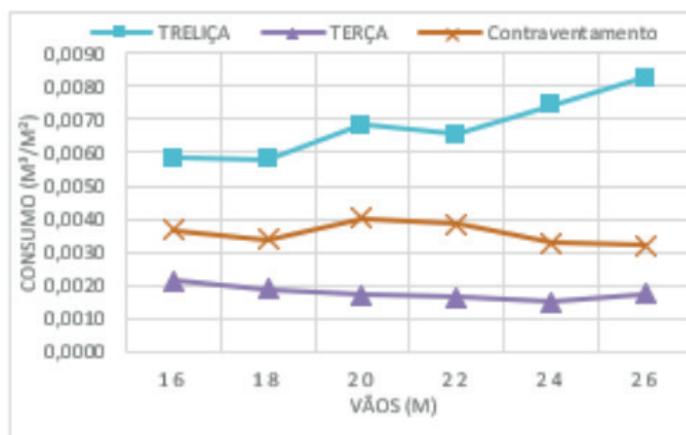


Figura 5 - Consumo Total de madeira (m³) para a relação de abertura – Aberto

Percebe-se que a relação de consumo para a terça tem uma leve redução conforme se aumenta o vão. Fato esse devido ao aumento de área em planta, onde mesmo variando os vãos, mantém-se constante o espaçamento entre treliças de 7,5 metros, e também mantendo a proporção em planta da edificação de 1:3.

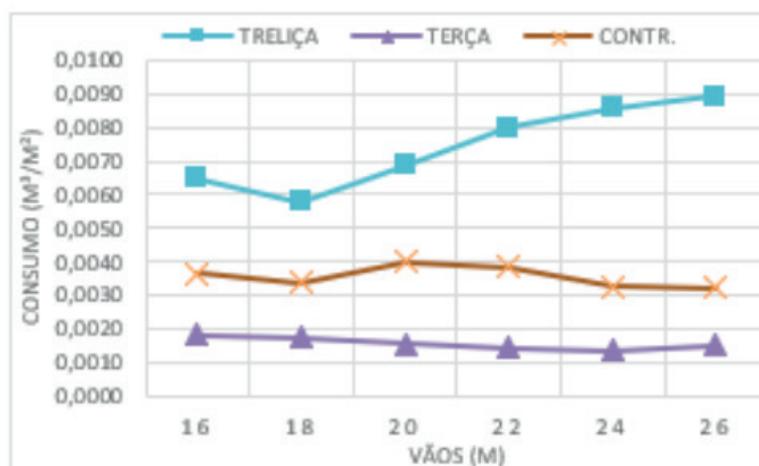


Figura 6 - Consumo de madeira m³/m² para a relação de abertura – 6:1

Na figura 6 observa-se que o contraventamento tem um pico de consumo no vão de 20 metros e que logo depois esse consumo reduz. A explicação para isso se dá pelo fato de que os vãos 20 metros e 22 metros possuem o mesmo número de seções contraventadas, assim como o mesmo número de elementos de contraventamento, entretanto, o edifício com vão de 20 metros possui menor área, o que resulta em uma relação de material por metro quadrado maior.

O aumento da relação de consumo de material por metro quadrado para as treliças, se dá pelo fato de que quanto maior o vão entre apoios, maior o número de elementos estruturais necessários para se vencer o vão. Fora o aumento no número de elementos estruturais, têm-se também a ação mais intensa do vento sobre planos mais amplos de cobertura, essa intensa ação, somada com o acréscimo de carga

permanente, gera esforços significativos na estrutura, necessitando de peças mais robustas para poder suportar tal incidência de carga.

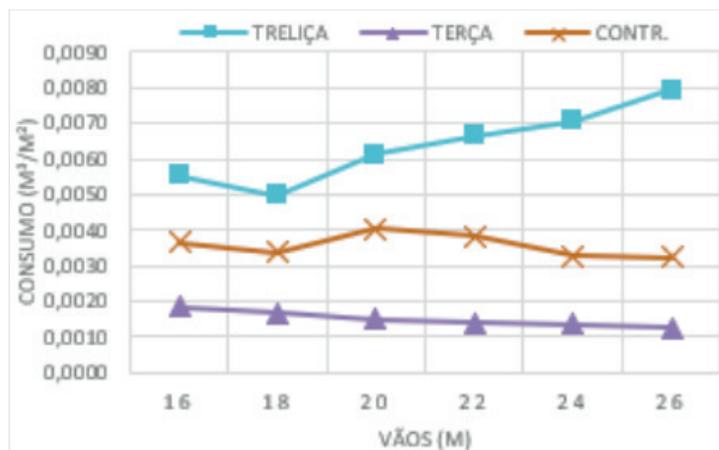


Figura 7 - Consumo de madeira m³/m² para a relação de abertura – 2:1

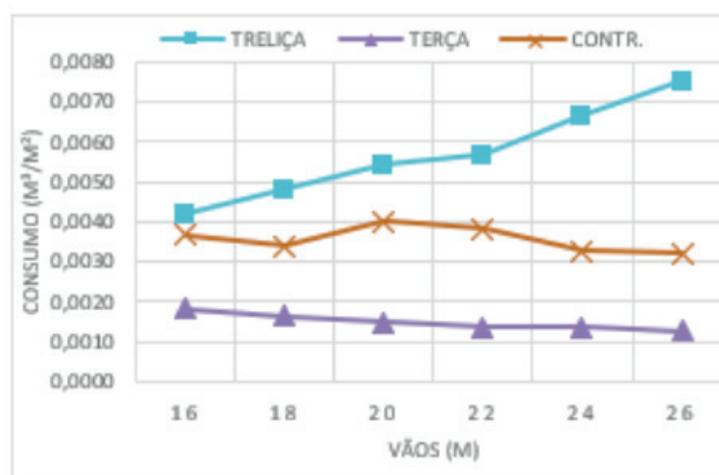


Figura 8 – Consumo de madeira m³/m² para a relação de abertura – 1:1

A relação de abertura 1:1, mostrou-se a mais econômica em todas as aberturas. A justificativa para isso talvez seja o baixo coeficiente de pressão que o vento possui em edifícios com essa relação de abertura. Com um baixo coeficiente, os esforços gerados internamente são mais baixos, permitindo a utilização de peças menos esbeltas.

### 3.3 Análise de consumo volumétrico total

A análise comparativa entre o consumo total dos vãos para cada abertura foi realizada de acordo com o gráfico abaixo:

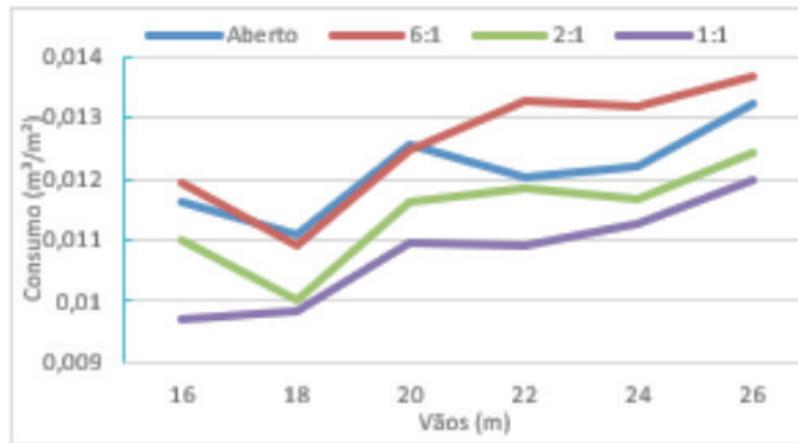


Figura 8 -Consumo total m³/m² para todas as aberturas

Observa-se que a abertura 6:1 foi a que apresentou o maior consumo, na maioria dos casos, entre as três relações de abertura, perdendo apenas para o edifício aberto, em alguns casos. Tal consumo é explicado pela possibilidade de que quando a face barlavento coincidir com o lado da abertura principal, está possibilitará a entrada de uma massa de ar seis vezes maior que as demais massas de ar que adentram ao edifício pelas outras aberturas, causando dessa forma um aumento no coeficiente de pressão interna de forma a contribuir com uma possível sucção externa.

Seguindo os pontos da relação de consumo para o edifício aberto, observa-se que para construir uma cobertura isolada, totalmente aberta, o vão com maior economia de material é o de 18 metros, apresentando a menor relação de consumo por metro, conforme demonstrado na figura 9.

Como dito anteriormente, a relação com o maior consumo é a 6:1, na qual o vento possui os maiores coeficientes de pressão, gerando esforços consideráveis aos elementos estruturais.

### 3.4 Ligações: Detalhe construtivo e quantificação

Para o dimensionamento das ligações foi considerado que a junção entre diagonais-banzos e as junções montantes-banzo seriam feitas no mesmo plano, com chapas metálicas, permitindo desta forma a adoção de perfis “I” e “H”. O diâmetro do pino adotado é de 1,25cm, obedecendo as restrições do item 8.3.4 da ABNT NBR 7190:1997, onde limita o diâmetro do pino a ser utilizado deve ser menor ou igual a metade da espessura (t) da peça principal. Ainda segundo a norma, no item 10.2.4, restringe a espessura mínima da chapa de aço para ligação sendo de 6mm.

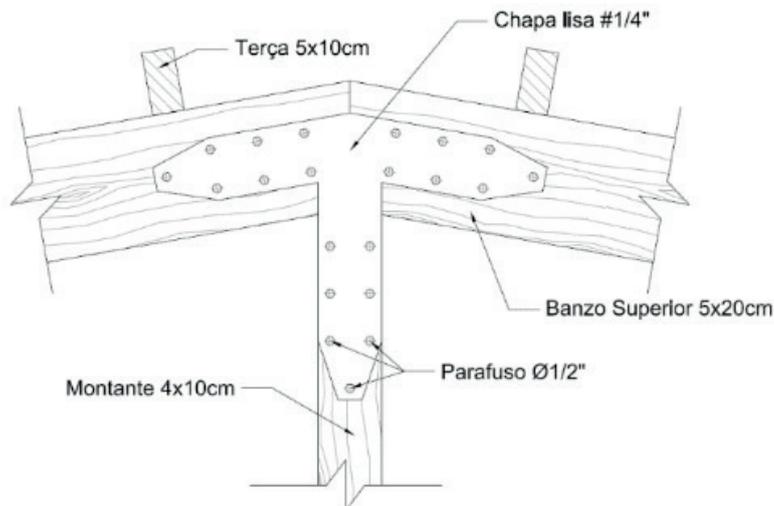


Figura 9 - Detalhe ligação Montante-banzo (nó 26 do vão de 26 metros para a tipo de abertura 1:1)

Para disposição dos parafusos no sistema de ligação seguiu-se as descrições do item 8.6 da ABNT NBR 71190:1997, que descreve os espaçamentos mínimos entre parafusos e também das bordas externas das peças (figura 10).

Os três principais fatores que influenciam na quantidade de pinos utilizados em cada treliça são: a quantidade de nós e de elementos a serem interligados, do esforço gerado por cada elemento e o diâmetro do pino que depende diretamente da espessura dos elementos ligados. Em todas as ligações foram usados pinos com diâmetro de 1,25cm.

A quantidade total de parafusos necessárias para confecção das treliças está representada na tabela 6:

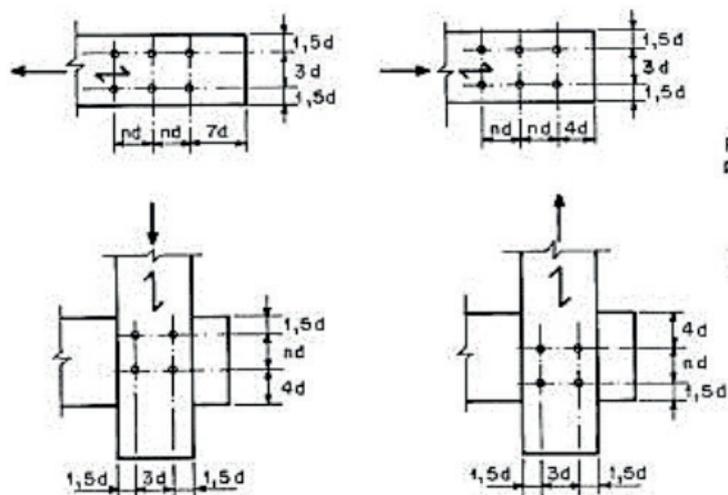


Figura 10 - Detalhe de locação de parafusos em peças de madeira (Fonte: ABNT NBR 7190:1997)

Vão (m)	1:1 n pinos	2:1 n pinos	6:1 n pinos	ABERTO N pinos
16	1492	2244	2908	3504
18	1823	2729	3565	3672
20	2162	2516	2967	3264
22	1804	2474	2940	2940
24	2077	2301	2756	2700
26	2938	2624	3598	2628

Tabela 5 - Número total de pinos necessários para cada projeto

Em todas os casos de ligação, a situação mais crítica encontrada foi o embutimento na madeira.

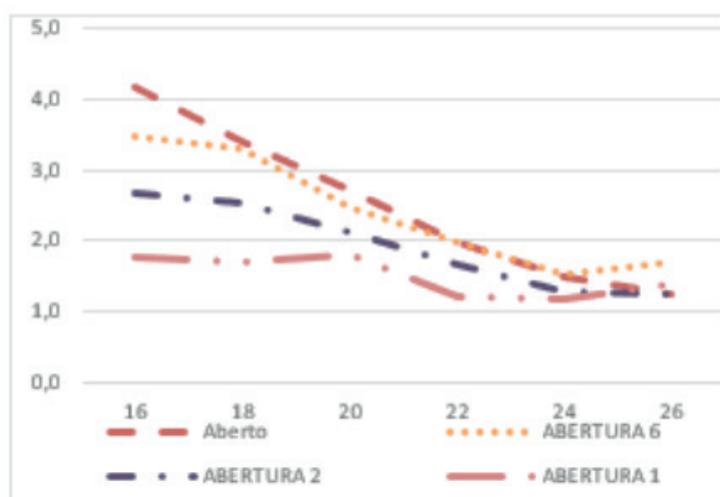


Figura 11 - Consumo de pinos /m<sup>2</sup> de construção.

Analisando os resultados percebe-se que a relação de abertura 1:1 é a que tem o menor consumo de pino por metro quadrado de construção, e conforme aumenta a relação de abertura maior é o número de pinos necessário para cada metro de construção.

### 3.5 Deslocamentos

O limite de deslocamento para a estrutura de madeira é definido pela expressão  $L/200$  e é utilizado, para verificação do Estado Limite de Serviço, apenas o carregamento com cargas permanentes, estruturais e não estruturais, conforme ABNT NBR 7190

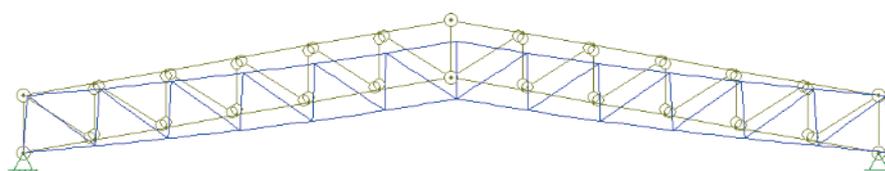


Figura 12 - Exemplo de deslocamento para treliça tipo Howe, com inclinação de 10° e vão de 16 metros.

Vão (m)	Deslocamento Limite (cm)	Deslocamento (cm)
16	8,0	1,98
18	9,0	2,36
20	10,0	3,86
22	11,0	4,87
24	12,0	5,87
26	13,0	9,03

Tabela 6 - Relação de flechas para cada vão

## 4 | CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados nesse trabalho, conclui-se que é existente a viabilidade técnica na utilização de espécies madeiras de classe de resistência C-20 e C-30 como elementos estruturais para cobertura utilizando banzos paralelos tipo Howe, com inclinação de 10° e vãos variando de 16 a 26 metros.

É possível constatar também a real importância da elaboração de projetos estruturais para cobertura, onde para as mesmas características geométricas, variando apenas a relação de abertura nas faces principais, obteve-se diferentes consumos de madeira por metro quadrado de edificação, ressaltando também o quanto é relevante a ação do vento em estruturas de cobertura assim como também, o risco em não se levar em consideração as tipologias de abertura, na qual uma simples alteração nessas aberturas pode-se acarretar na alteração dos esforços internos nos elementos estruturais, podendo levar a ruína a cobertura caso a mesma não esteja preparada para tal solicitação.

Com o emprego de espécies alternativas de madeira, que raramente são utilizadas para fins estruturais, além de tentar baratear o custo da estrutura, espera-se diminuir o desperdício deste material dando-o uma utilização mais nobre e não apenas temporária, como comumente é feito, para confecção de caixarias.

O resultado final do consumo volumétrico de madeira por metro de edificação mostrou-se bem eficiente e satisfatório, variando de 0,010 a 0,0189 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE JUNIOR, J. R.; LAHR, R. A. R. *et al.* Avaliação das estruturas de cobertura em madeira de um galpão de estoque de produtos químicos. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 75-85, jul./set. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6120 - Cargas para cálculo de estruturas de edificação*. Rio de Janeiro, 1980. 6p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6123 - Forças devidas ao vento em edificações*. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7190 - Projeto de estrutura de madeira*.

Rio de Janeiro, 1997. 50p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8681 - Ações e segurança nas estruturas*. Rio de Janeiro, 2003. 15p.

CALIL JUNIOR, C. *et al.*; *Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira*. Barueri, SP: Manole, 2003. 149p.

CALIL JUNIOR, C.; MOLINA, J. C.; *Coberturas em estruturas de madeira: exemplos de cálculo*. 1<sup>a</sup> ed. São Paulo: Pini, 2010. 214p. 31

CALIL NETO, C.; *Ligações com parafusos auto-atarraxantes sem pré-furação para uso em estruturas de madeira. Tese (Doutorado)*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2014.

CAVALHEIRO, R. S. et al. Mechanical Properties of Paricá Wood Using Structural Members and Clear Specimens. **International Journal of Materials Engineering**, junho 2016. 56-59.

GOÉS, J. L. N. de.; *Estruturas de Madeira (Dimensionamento)*. Apostila para o curso de Engenharia Civil. Centro Universitário UNILINS. Lins, SP. 2006. 91p.

MIOTTO, J. L.; JUNIOR, C. N.; *Estudo comparativo entre sistemas treliçados para cobertura em estrutura de madeira*. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

PARTEL, H. *Sistema informatizado para projetos de estruturas industrializadas de madeira para telhado*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 2000.

PFEIL, W.; PFEIL, M. *ESTRUTURA DE MADEIRA*. 6<sup>a</sup>. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

PINHEIRO, R. V. *et al.*; *Repair Methods Indication for a Timber Coverage Structure Located in Sinop City - Brazil*. International Journal of Materials Engineering, v.2, n.6, p. 39-46, Scientific & Academic Publishing, 2016.

RIBEIRO, A. C. S.; *Estudo comparativo do consumo de madeira em estrutura com telhado de concreto, entre a tecnologia corrente e a preconizada pela NBR 7190:1997. Projeto de pesquisa*. Universidade do Estado de Mato Grosso, Sinop, 2014.

ROCCO LAHR, F. A. et al.; *Avaliação das estruturas de cobertura em madeira de um galpão de estoque de produtos químicos*. São Paulo, 2013.

SKOG, K. E.; WEGNER, T. H. et al. Desirable properties of wood for sustainable development in the twenty-first century. **Annals of Forest Science**. France, v. 72, n. 6, p. 671-678, 2015. ISSN 1286-4560.

SZÜCS, C. A. et al. ; *Estruturas de Madeira*. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015. 219p.

## METODOLOGIA DE PESQUISA PARA ENGENHARIAS

Data de aceite: 03/12/2019

### Ricardo Junior de Oliveira Silva

ricardojunior\_98@hotmail.com UNINTER, Escola Superior Politécnica  
Rua Luiz Xavier, 103  
80021-980 – Curitiba – Paraná

### Dayse Mendes

dayse.m@uninter.com UNINTER, Escola Superior Politécnica  
Rua Luiz Xavier, 103  
80021-980 – Curitiba – Paraná

### Jéssika Alvares Coppi Arruda Gayer

jessika.c@uninter.com UNINTER, Escola Superior Politécnica  
Rua Luiz Xavier, 103  
80021-980 – Curitiba – Paraná

**RESUMO:** Neste artigo descreve-se um projeto de pesquisa em andamento que, na etapa em que se encontra, levantou a importância de se analisar métodos de pesquisa relatados na literatura de metodologia científica para a elaboração específica de projetos em engenharia. Partindo do pressuposto de que há métodos de pesquisa mais adequados ao exercício da pesquisa em engenharia, o projeto apresenta o seguinte problema: “Quais são os métodos de pesquisa mais efetivos, disponíveis na literatura de metodologia de pesquisa, para a realização de projetos de pesquisa

em engenharia?” Verifica-se que a literatura de metodologia de pesquisa é genérica no que tange a quais ciências podem aplicá-la e, portanto, tem a pretensão de atender a projetos de pesquisa de toda e qualquer área de estudo. Neste sentido, percebeu-se nessa etapa do projeto a necessidade de procurar métodos mais específicos à engenharia, tendo em vista seu caráter de busca de aplicação da ciência na resolução de problemas práticos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Metodologia Científica, Métodos de Pesquisa, Engenharias

### RESEARCH METHODOLOGY FOR ENGINEERING

**ABSTRACT:** This article describes an ongoing research project that, at the stage it is in, raised the importance of analyzing research methods reported in the literature of scientific methodology for the specific elaboration of engineering projects. Based on the assumption that there are more adequate research methods for engineering research, the project presents the following problem: "What are the most effective research methods available in the research methodology literature for research projects in engineering?" It turns out that the research methodology literature is generic in what science can apply it and therefore has the pretension of attending research projects of all

areas of study. In this sense, it was perceived in this stage of the project the need to express more specific methods to the engineering, considering its character of search in application of science for the resolution of practical problems.

**KEYWORDS:** Scientific Methodology, Research Methods, Engineering

## 1 | INTRODUÇÃO

Ao trabalhar com projetos científicos os engenheiros se deparam com uma situação peculiar. Muitas produções, que tratam de metodologia científica, estão voltadas para a resolução de problemas nas áreas de ciências humanas e sociais aplicadas. Ao buscar métodos de pesquisa específicos para a engenharia, o pesquisador precisa adequar esses métodos a seu estudo. No entanto, corroborando e ampliando a ideia de Oliveira e Valença (2015), em que a metodologia científica é fundamental para toda a trajetória de quem cursa o Ensino Superior e, por conseguinte, para o egresso em engenharia, verifica-se a necessidade de observar a existência de métodos de pesquisa que se adequem aos projetos realizados por engenheiros. Essa é uma situação que independe da modalidade de ensino.

Para tanto, se propôs um estudo inicial, relacionado ao tema, cujo objetivo de pesquisa é: levantar estudos que relacionem metodologia científica à engenharia. Como objetivos específicos buscou-se: 1. Compreender os procedimentos existentes de Metodologia Científica; 2. Verificar se existe Metodologia Científica específica para Engenharia; 3. Entender a importância de Métodos de Pesquisa adequados à Engenharia.

Ao se verificar que a literatura de metodologia de pesquisa é genérica no que tange a quais ciências podem aplicá-la e, portanto, tem a pretensão de atender a projetos de pesquisa de toda e qualquer área de estudo, percebe-se a necessidade de procurar métodos mais específicos à engenharia, tendo em vista seu caráter de busca de aplicação da ciência na resolução de problemas práticos. Justifica-se, assim, a necessidade prática de identificar todos os métodos de pesquisa disponíveis e, dentre eles, levantar àqueles que se prestam de forma mais adequada aos projetos de pesquisa na Engenharia, proporcionando maior acessibilidade metodológica à engenheiros e estudantes de engenharia. Como justificativa teórica se entende que há necessidade de avançar na literatura de metodologia de pesquisa, atendendo de forma mais adequada as necessidades dos pesquisadores da área das Engenharias.

## 2 | DESENVOLVIMENTO

A seguir encontram-se alguns dos autores e conceitos utilizados na fundamentação teórica do projeto, a metodologia utilizada para desenvolvê-lo e uma

breve análise dos resultados encontrados até o presente momento.

## 2.1 Referencial teórico

Difícil imaginar a vida na atualidade sem a contribuição da Engenharia. No entanto, conforme Cocian (2017) a maioria da população adulta, em torno de 60%, desconhece quais são as atividades de um engenheiro. De um modo geral pode-se dizer que a engenharia é a arte de aplicar conhecimento científico na solução de problemas práticos.

Naturalmente os problemas práticos da humanidade eram resolvidos mesmo sem a existência formal de um engenheiro com soluções técnicas. Desde o início de sua história o homem apresenta necessidades que precisam ser supridas. Garantir sua sobrevivência, buscando novas formas de se alimentar, de se proteger em relação aos perigos do ambiente ou dos ataques de inimigos, bem como de ultrapassar limites impostos por questões físicas ou psicológicas, faz parte da história do ser humano e, paralelamente, do desenvolvimento de tecnologias que atenuavam as dificuldades do dia a dia.

O início do domínio do uso do fogo, da alavanca, ou da roda, entre outras tecnologias, auxilia o homem a dominar cada vez mais a natureza. Conforme esses processos se tornam mais complexos, maior é a necessidade de entendimento científico dos fenômenos naturais.

É no século XVIII, como o desenvolvimento de ferramentas matemáticas e de uma maior compreensão de fenômenos físicos que surge a engenharia atual, dividindo assim a história da Engenharia no que se pode denominar de engenharia antiga, apoiada em empirismo e engenharia moderna, apoiada em conhecimento científico. Assim, conforme Krick (1979) a engenharia hoje é o resultado de dois processos históricos que evoluíram ao longo do tempo em separado, quais sejam: a expansão dos conhecimentos científicos e a ampliação da necessidade de se ter um especialista na solução de problemas do cotidiano.

Surge então a engenharia moderna, descrita por Krick (1979, p.35) como a profissão essencialmente dedicada à aplicação de um certo conjunto de conhecimentos de certas habilitações e de uma certa atitude à criação de dispositivos, estruturas e processos utilizados para converter recursos a formas adequadas ao atendimento das necessidades humanas. Desta maneira, o engenheiro usa de conhecimentos científicos para aplica-los na criação de um elemento valorizado pela sociedade.

Note-se que há ênfase no uso da ciência, não no desenvolvimento de ciência pelo engenheiro. Ou seja, o engenheiro não deve ser confundido com um cientista na medida em que a Engenharia não se preocupa com a explicação do funcionamento de natureza, mas sim com a criação do artificial.

Ao aplicar a ciência, criando novos artefatos, o engenheiro desempenha

um papel essencial na modificação do meio ambiente e na construção do futuro desejado pela sociedade atual. Devido a mudança acelerada dos comportamentos e das necessidades de nossa sociedade, os engenheiros desempenham um papel decisivo para o alcance de novas alternativas, pois, em tese, têm as competências necessárias para transformar anseios em realidade prática, útil, concreta.

O desenvolvimento das competências profissionais do engenheiro, conforme as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia (2019), ocorre, entre outros conhecimentos e habilidades, pelo exercício de formular e conceber soluções desejáveis de engenharia, analisando e compreendendo os usuários dessas soluções e seu contexto. Para tanto, este engenheiro deve usar de conhecimentos técnicos e de conhecimento de metodologia científica.

Como Metodologia Científica entende-se “o estudo dos métodos ou da forma, ou dos instrumentos necessários para a construção de uma pesquisa científica”. (Oliveira e Valença, 2015, p.7481). Aprofundando o conceito, Berto e Nakano (2000, p.66) afirmam que fazer pesquisa diz respeito a:

condutas que orientam o processo de investigação, são formas ou maneiras de aproximação e focalização do problema ou fenômeno que se pretende estudar, prestando-se à identificação dos métodos e tipos de pesquisa adequados às soluções desejadas. Dependem da natureza do problema e de sua formulação, da teoria de base e referencial teórico-cultural que o sustentam e da proximidade do pesquisador com o objeto de análise.

No entanto, segundo apontam Araújo e Santos (2001, p. 182) haveria “uma lacuna na formação do futuro profissional engenheiro no que diz respeito à propriedade de técnicas e métodos para pesquisa científica”. Assim, há a necessidade, conforme os autores, de um adequado conceito de pesquisa que possa capacitar o estudante para a formulação, delimitação e sistematização de problemas específicos da Engenharia.

A dificuldade em se tratar de Metodologia de Pesquisa para as Engenharias está em especial no fato de que a engenharia não é uma ciência pura. Portanto, sua rotina não está relacionada à criação/comprovação de hipóteses, mas sim à solução de problemas do dia a dia das pessoas, ou seja, quando se formula pesquisa em engenharia está se tratando de estabelecer métodos, normas, padrões, de forma a garantir que os problemas sejam solucionados e não apenas analisados. Mas sem perder o compromisso com o método científico.

Ou seja, a pesquisa em engenharia deve objetivar o avanço do conhecimento na área, mas sempre voltado ao benefício que esse avanço trará para a sociedade. No entanto, dada a variedade de problemas existentes, há a necessidade de usar de estratégias metodológicas distintas (CAUCHIK-MIGUEL, 2019), mesmo porque, para cada problema pode haver um número infinito de soluções. Mas não todas as soluções possíveis serão convenientes à situação. Assim, é necessário encontrar o

*melhor* meio de realizar a solução do problema. (KRICK, 1979) Compreender essa complexidade exige capacitação adequado do pesquisador engenheiro,

que precisa conhecer toda essa gama possível de modelos distintos de resolução de problemas. De acordo com Krick (1979, p.85) o pesquisador engenheiro pode usar de “modelos icônicos, diagramáticos, verbais, matemáticos e de simulação” para compreender os problemas e providenciar soluções reais. Mas também precisa entender dos aspectos tradicionais da metodologia de pesquisa, tais como os diferentes métodos de pesquisa (qualitativa ou quantitativa; dedutiva ou indutiva), os diferentes tipos de pesquisa (exploratória, descritiva, explicativa), as formas de coleta e análise de dados, entre outros aspectos.

## 2.2 Metodologia

A metodologia deste estudo caracteriza-se por seu objetivo exploratório na medida em que, conforme Santos (1999, p.26), a própria “visa criar uma maior familiaridade em relação a um fato ou fenômeno”. Para criar essa familiaridade com a situação exposta foram investigados artigos científicos, livros e materiais de aula sobre Metodologia Científica com a finalidade de proporcionar conhecimento a respeito do tema para a área de engenharia. A investigação iniciou-se utilizando sites acadêmicos de pesquisa, tais como *Scielo*, *Google Acadêmico*, *Dialnet*, *Worldwidescience*, *Scienceresearch* e Periódicos da Capes. Nesses sites foram selecionados artigos e outros materiais, produzidos no período de 2000 até 2018, que relacionam Metodologia de Pesquisa e Engenharias sendo indiferente a origem dos materiais. Num segundo momento, a seleção se deu em relação aos tipos de Engenharia tratados nos materiais escolhidos, excluindo-se conteúdos relacionados à Engenharia Civil, que possuem um enfoque específico no seu tratamento de projetos de pesquisa. Após a segunda seleção, de acordo com os procedimentos descritos, as pesquisas foram fichadas e desta extraiu-se os conceitos mais recorrentes utilizados na Metodologia de Pesquisa para Engenharia, bem como sua importância para a resolução de problemas de Engenharia.

## 2.3 Apresentação e discussão de resultados

Os materiais analisados citam, em sua totalidade, itens que são comuns a metodologia científica, independente da área em que serão utilizados. São recorrentes as explicações sobre a origem e a natureza da pesquisa científica, em que são citados Descartes e Bacon como construtores de uma racionalidade para a compreensão do mundo e de seus fenômenos.

Também são recorrentes os temas relacionados à natureza e a conduta das pesquisas científicas, colocando em evidência os estudos quantitativos versus os estudos qualitativos. Fonseca (2002, p.20) sintetiza este aspecto ao comentar

que a pesquisa qualitativa “se preocupa com aspetos da realidade que não podem ser quantificados, centrando-se na compreensão e explicação da dinâmica das relações”. Já a pesquisa quantitativa trata de aspectos que podem ser mensurados, procurando traduzir em números os conhecimentos gerados pelo pesquisador. Outro aspecto comum diz respeito a sequência de construção de um estudo científico acadêmico, cujas etapas são: Formulação do problema; Busca de informações sobre o problema; Levantamento de hipóteses; Experimentação; Aceitação ou não das hipóteses de pesquisa.

A dificuldade em se trabalhar com os aspectos comuns da Metodologia de Pesquisa em um projeto de Engenharia encontra-se, particularmente, na caracterização da pesquisa, tanto no que se refere a seus objetivos (se a pesquisa é exploratória, descritiva ou explicativa) quanto aos procedimentos de coleta (se a pesquisa é experimental, se é *ex-post facto*; se é um levantamento, um estudo de caso, uma pesquisa-ação, uma pesquisa bibliográfica, ou documental).

Embora conceitualmente a caracterização de uma pesquisa não seja complexa, sua aplicação em projetos de engenharia esbarra, de acordo com Araújo e Santos (2001, p.184) na “pouca familiaridade [dos estudantes de engenharia e dos engenheiros] com os métodos científicos, seu processo, técnicas e normas [que] podem comprometer a qualidade do trabalho e colocar em dúvida a propriedade da pesquisa em desenvolvimento”.

### 3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Percebe-se uma preocupação sobre o assunto na medida em que vários dos materiais pesquisados apontam para a necessidade de se esclarecer sobre o tema, bem como de se propor estudos e formas de se trabalhar a questão da Metodologia Científica nos cursos de Engenharia (Araújo e Santos, 2001; Salim, Ferreira, Laszkiewicz e Rosa, 2009; Monteiro, 2010; Oliveira e Valença, 2015).

No entanto essas pesquisas ainda não são de domínio público para subsidiar de forma ampla e eficaz o esforço de engenheiros em seus projetos de pesquisa. Corroborando o objetivo do próprio trabalho, houve dificuldade em encontrar literatura pertinente. A literatura demonstra preocupação quanto ao assunto, mas não há pesquisas que subsidiem de forma eficaz o esforço de engenheiros em seus projetos de pesquisa e, por consequência, esse projeto em particular.

Considera-se que o objetivo inicial da pesquisa, fazer um levantamento acerca da importância e das dificuldades quanto a Metodologia de Pesquisa aplicada às Engenharias foi alcançado e que se corroborou a dificuldade quanto a caracterização das pesquisas em Engenharia, tanto no que se refere a seus objetivos (se a pesquisa é exploratória, descritiva ou explicativa) quanto aos procedimentos de coleta (se

a pesquisa é experimental, se é *ex-post facto*; se é um levantamento, um estudo de caso, uma pesquisa-ação, uma pesquisa bibliográfica, ou documental). Embora os objetivos iniciais tenham sido cumpridos, percebe-se a necessidade de se dar continuidade à pesquisa apontando, em uma próxima etapa, as metodologias de pesquisa efetivamente possíveis de se usar nas pesquisas em engenharia.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Elenise Maria de; SANTOS, Fernando César Almada. Proposta de inclusão da disciplina “metodologia da pesquisa em engenharia de produção” na graduação da EESC – USP. In: **Cobenge**, 2001, p. 181-188.

BERTO, Rosa Maria Villares S.; NAKANO, Davi Noboru. A produção científica nos Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: um levantamento de métodos e tipos de pesquisa. **Produção**, Rio de Janeiro v.9, n.2, p65-76, 2000.

CAUCHICK-MIGUEL, Paulo Augusto. **Metodologia científica para engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

COCIAN, Luis Fernando Espinosa. **Introdução à engenharia**. Porto Alegre: Bookman, 2017. Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia (2019). Disponível em [http://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/72120269](http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/72120269) FONSECA, João José Saraiva. **Metodologia de pesquisa científica**. Ceará, 2002. (Apostila). KRIC, Edward V. **Introdução à engenharia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1979.

MONTEIRO, Eder Ferraz. **Metodologia de pesquisa na engenharia de produção e sistemas**. Revista das Faculdades Santa Cruz, v. 8, n. 1, janeiro/junho 2010.

OLIVEIRA, Tamires Aparecida Batista de; VALENÇA Kleber Firpo Prado. A importância da metodologia científica para o ensino e aprendizagem no ensino superior. In **Educere**, 2015, p. 7480-7490.

SALIM, Maria Ap. Silva; FERREIRA Celso Henrique Telles; Laszkiewicz, Chafiha Maria S.; ROSA, Ligia Ramo de Souza. **Metodologia de pesquisa em engenharia**. São Paulo, 2009. (Apostila).

SANTOS, Antonio Raimundo dos. **Metodologia científica: a construção do conhecimento**. Rio de Janeiro: DP&A, 1999.

## PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO: UMA VISÃO GERAL DOS MÉTODOS DE SOLUÇÃO

Data de aceite: 03/12/2019

### Márcia de Fátima Morais

UNESPAR, Colegiado de Engenharia de  
Produção Agroindustrial  
Campo Mourão - Paraná

### Rony Peterson da Rocha

UNESPAR, Colegiado de Engenharia de  
Produção Agroindustrial  
Campo Mourão – Paraná

### Larissa de Carvalho

UNESPAR, Curso de Engenharia de Produção  
Agroindustrial  
Campo Mourão - Paraná

**RESUMO:** O campo dos métodos de solução aplicados aos problemas de programação da produção vem crescendo rapidamente, devido à importância dos processos decisórios desta atividade para o mundo industrial. Diferentes caminhos para classificar e descrever os métodos de solução, dependendo das características selecionadas para diferenciá-los, são verificados na literatura especializada. Neste contexto, a pesquisa aqui apresentada, tem como objetivo fornecer uma visão geral dos principais métodos de solução aplicáveis aos problemas de programação da produção, por meio de uma classificação proposta. Neste artigo os métodos de soluções para problemas de

programação da produção foram categorizados em exatos ou ótimos e em aproximados ou heurísticos, e os métodos de soluções aproximadas foram categorizados em regras de prioridades, heurísticas e metaheurísticas. Sete tipos de métodos de soluções exatas e treze tipos de métodos de soluções aproximadas são apresentados neste artigo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Programação da Produção; Métodos de Solução; Classificação; Panorama.

### PRODUCTION SCHEDULING PROBLEMS: AN OVERVIEW OF SOLUTION METHODS

**ABSTRACT:** The field of solution methods applied to production scheduling problems has been growing rapidly due to the importance of the decision making processes of this activity for the industrial world. In the specialized literature, are verified, different ways to classify and describe solution methods, depending on the characteristics selected to differentiate them. In this context, the research presented here aims to provide an overview of the main solution methods applicable to production scheduling problems through a proposed classification. In this paper the solution methods for production scheduling problems were categorized into exact or optimal and approximate or heuristic, and the approximate solution methods were

categorized into priority rules, heuristic, and metaheuristic. Seven types of exact solution methods and thirteen types of approximate solution methods are presented in this article.

**KEYWORDS:** Production Scheduling; Solution Methods; Classification; Exact or Optimal; Approximate or Heuristic.

## 1 | INTRODUÇÃO

A pesquisa aqui apresentada enquadra-se em duas das dez grandes áreas de conhecimento de Engenharia de Produção: i) A engenharia de operações e processos da Produção que trata de projetos, operações e melhorias dos sistemas que criam e entregam os produtos (bens ou serviços) primários da empresa; e ii) A pesquisa operacional que engloba a resolução de problemas reais envolvendo situações de tomada de decisão, através de modelos matemáticos habitualmente processados computacionalmente, aplicando conceitos e métodos de outras disciplinas científicas na concepção, no planejamento ou na operação de sistemas para atingir seus objetivos (ABEPRO, 2008).

A programação da produção é uma das atividades executadas pelo planejamento, programação e controle da produção (PPCP) que constitui uma parte central dos processos associados à produção. A necessidade de aperfeiçoamento nos processos produtivos e de decisões tem levado as empresas a buscarem os melhores mecanismos para auxiliar nas análises de decisões e resultados da empresa. Neste contexto, a pesquisa operacional pode ser caracterizada como um dos mecanismos mais utilizados.

O campo dos métodos de solução aplicados aos problemas de programação da produção está crescendo rapidamente, devido à importância destes processos decisórios para o mundo industrial. Verifica-se na literatura, a existência de diferentes caminhos para classificar e descrever os métodos de solução, dependendo das características selecionadas para diferenciá-los (BLUM; ROLI, 2003).

Diante do exposto, o objetivo deste artigo é fornecer uma visão geral dos métodos de solução aplicáveis aos problemas de programação da produção, por meio de uma classificação proposta. Não se pretende neste estudo fornecer uma prescrição para a construção dos métodos de solução, nem julgar os méritos relativos aos diferentes métodos de solução.

Este artigo encontra-se estruturado em cinco seções. Após a contextualização e ambientalização da pesquisa, o referencial teórico-conceitual referente aos problemas de programação da produção é exposto. Em seguida, é apresentada a metodologia da pesquisa, que contempla uma proposta de classificação para os métodos de solução. Na quarta parte, de acordo com a classificação proposta,

os principais métodos solução para problema de programação da produção são explicitados. Por fim, têm-se as considerações finais.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO: PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

### 2.1 Caracterização dos problemas de programação da produção

A programação da produção determina o sequenciamento de tarefas em máquinas, especificando os tempos de início e fim de processamento de cada tarefa. Em outras palavras, “problemas de programação consistem em determinar a ordem ou sequência em que as máquinas irão processar as tarefas de modo a otimizar alguma medida de desempenho” (JOHNSON; MONTGOMERY, 1974). Neste contexto, a programação da produção “pode ser definida como a alocação de recursos ao longo do tempo para executar tarefas para melhor atender um conjunto de critérios pré-definidos” (MACCARTHY; LIU, 1993).

Cada tarefa compreende um conjunto de operações a ser executado. As operações requerem recursos e devem ser executadas de acordo com alguma sequência tecnológica viável, segundo Morton; Pentico (1993) e Pinedo (2008). Mais formalmente, um problema de programação da produção surge em situações em que se requer que um conjunto de  $n$  tarefas  $\{J_1, J_2, \dots, J_j, \dots, J_n\}$  sejam processadas em  $m$  máquinas  $\{M_1, M_2, \dots, M_k, \dots, M_m\}$  disponíveis (FRENCH, 1982).

De acordo com Pinedo (2008), se uma tarefa requer um número de etapas de processamento ou operações, então o par  $(i, j)$  refere-se à etapa de processamento ou operação da tarefa  $j$  na máquina  $i$ . Além disso, em cada operação  $op_{ij}$  existe um tempo de processamento  $p_{ij}$  associado. Segundo Pinedo (2008) cada tarefa  $j$  está associada a uma data a partir da qual a tarefa pode ser executada (*realise date* ou *ready date* -  $r_j$ ), assim como a uma data em que a tarefa deve estar concluída (*due date* -  $d_j$ ). Cada tarefa também pode estar associada a um peso ( $w_j$ ) que é basicamente um fator de prioridade, denotando a importância da tarefa  $j$  relativa a outras tarefas no sistema.

As hipóteses básicas de um problema de programação da produção são: i) Hipóteses sobre as tarefas; ii) Hipóteses sobre as máquinas; e iii) Hipóteses sobre políticas de operações (CONWAY; MAXWELL; MILLER (1967), GUPTA (1979), FRENCH (1982), HAX; CANDEA (1984), MACCARTHY; LIU (1993) e GUPTA; STAFFORD JR. (2006). Segundo Hax; Candea (1984) uma vez que o problema básico é uma simplificação da maioria das situações reais, sua investigação pode trazer muitas informações úteis para o tratamento dos problemas de programação.

De acordo com Gupta; Stafford Jr. (2006) os pesquisadores no decorrer dos anos vêm relaxando ou modificando as hipóteses básicas de forma a obter problemas mais realistas, ou seja, vêm considerando que a programação da produção está

sujeita a restrições que descrevem situações específicas.

## 2.2 Ambientes de máquinas em problemas de programação

Os possíveis ambientes de máquinas em problemas de programação são sumarizados no Quadro 1.

Ambiente de Máquinas	Características
Máquina Única	Existe apenas uma máquina a ser utilizada.
Máquinas Paralelas	Existem duas ou mais máquinas em paralelo, sendo que, uma tarefa, pode ser processada em qualquer uma das máquinas. As máquinas em paralelo podem ser: Idênticas; Proporcionais ou Uniformes; ou Não Relacionadas.
<i>Flow Shop/Flow Shop Tradicional</i>	Todas as tarefas têm o mesmo fluxo de processamento nas máquinas.
<i>Flow Shop Permutacional</i>	<i>Flow Shop</i> no qual a ordem de processamento das tarefas deve ser a mesma em todas as máquinas.
<i>Job Shop</i>	Cada tarefa tem sua própria ordem de processamento nas máquinas.
<i>Flow Shop com Máquinas Múltiplas (Flow Shop Híbrido)</i>	<i>Flow Shop</i> em que, em pelo menos um dos estágios de produção existe um conjunto de máquinas paralelas.
<i>Job Shop com Máquinas Múltiplas (Job Shop Híbrido)</i>	<i>Job Shop</i> em que, em pelo menos um dos estágios de produção existe um conjunto de máquinas paralelas.
<i>Open Shop</i>	Não há fluxo definido (específico) para as tarefas serem processadas nas máquinas.

Quadro 1 – Ambientes de Máquinas em Problemas de Programação

Fonte: MacCarthy; Liu (1993), Pinedo (2008) e Allahverdi; Cheng; Kovalyov (2008)

## 2.3 Características das tarefas em problemas de programação da produção

Na literatura pode ser verificado um grande número de características relativas às tarefas que podem ser verificadas nos diferentes ambientes de máquinas. As principais características verificadas nos diferentes tipos de problemas de programação, de acordo com Pinedo (2008), Allahverdi; Cheng; Kovalyov (2008) e Baker; Scudder (1990) são sumarizadas no Quadro 2.

Características das Tarefas	Descrição
Datas de Liberação ( $r_j$ )	Datas a partir da qual a tarefa pode ser executada. Se uma data de liberação para uma tarefa não for definida, a mesma pode ter seu processamento iniciado em qualquer tempo.
Datas de Entrega ( $d_j$ )	Prazo de entrega final de uma tarefa. As datas de entrega das tarefas podem ser classificadas em: comuns; distintas; e com tolerância ou janelas de tempo.

Precedência ( <i>prec</i> )	Indicam que uma ou mais tarefas devem ser concluídas antes que outra tarefa tenha seu processamento iniciado. Existem diversas formas de restrições de precedência, como segue: se cada tarefa tem no máximo um predecessor e um sucessor, as restrições são referidas como cadeias ( <i>prec chain</i> ); se cada tarefa tem no máximo um sucessor ( <i>prec in tree</i> ); e se cada tarefa tem no máximo um predecessor ( <i>prec out tree</i> ).
Interrupções ( <i>prmp</i> )	Implica que não é necessário manter uma tarefa na máquina, uma vez iniciada sua execução, até a sua conclusão. É permitido ao programador interromper o processamento de uma tarefa a qualquer momento e processar uma tarefa diferente na máquina. O processamento já realizado da tarefa na máquina não é perdido.
Bloqueio de Máquinas ( <i>block</i> )	Uma tarefa após a conclusão de seu processamento numa máquina bloqueia a máquina se a máquina seguinte estiver ocupada processando outra tarefa.
No-Wait ( <i>nwt</i> )	Situação em que não é permitido que tarefas esperem entre duas máquinas sucessivas. Isso implica que o tempo de início de uma tarefa no primeiro estágio tem que ser atrasado para garantir que a tarefa possa passar pelo sistema sem ter que esperar em qualquer máquina.
Quebras de Máquinas ( <i>brkdown</i> )	Implica que uma máquina pode não estar disponível continuamente. Pode ocorrer quando as máquinas estão em operação, durante a realização do <i>setup</i> da máquina para uma tarefa ou quando uma tarefa está sendo removida.
Elegibilidade de Máquinas ( <i>Mj</i> )	Este caso aparece em ambientes de máquinas paralelas e <i>flow shop</i> híbrido e ocorre quando uma tarefa deve ser processada em uma máquina ou tipo de máquina específico.
Presença de <i>Setup</i>	Neste caso a influência dos <i>setups</i> não permite que estes sejam incorporados aos tempos de processamento. Os <i>setups</i> , nestes casos podem ser independentes ou dependentes da sequência e podem também ser realizados antecipadamente ou não.
Processamento em Lotes ( <i>batch</i> )	Caso uma máquina seja capaz de processar um número de tarefas simultaneamente e as tarefas são agrupadas para processamento em lotes.

Quadro 2 – Características das Tarefas em Problemas de Programação

Fonte: Pinedo (2008); Allahverdi; Cheng; Kovalyov (2008); Baker; Scudder (1990)

## 2.4 Critérios de otimização em problemas de programação da produção

A programação da produção é sempre realizada buscando atingir um critério (objetivo), ou conjunto de critérios, geralmente relacionados com os objetivos de desempenho da produção. De acordo com Almeida (1995) os critérios de otimização adotados nos problemas de programação permitem avaliar o grau de sucesso da programação realizada.

Os critérios de otimização mais comumente adotados em problemas de programação são sumarizados no Quadro 3.

<b>Critérios de Otimização</b>	<b>Descrição</b>
Data de término da tarefa j (Completion Time - $C_j$ )	Corresponde ao período desde o início da programação na data zero até ao momento em que a tarefa j é finalizada.
Duração total da programação (Makespan - $C_{max}$ )	Corresponde ao máximo ( $C_1, C_2, \dots, C_j$ ), que é equivalente ao tempo de conclusão da última tarefa a deixar o sistema.
Tempo de fluxo da tarefa j (Flow Time - $F_j$ )	Corresponde ao tempo entre o momento que a tarefa está disponível para ser processada e o momento em que ela é completada, correspondendo, então, ao tempo que a tarefa j permanece no sistema.
Atraso da tarefa j (Lateness - $L_j$ )	Corresponde ao desvio entre o tempo de conclusão da tarefa e sua data de entrega. O lateness de uma tarefa j é definido como: $L_j = C_j - d_j$ .
Adiantamento da tarefa Jj (Earliness - $E_j$ )	Corresponde ao desvio entre o tempo de conclusão da tarefa e sua data de entrega. O earliness de uma tarefa j é definido como: $E_j = \max(d_j - C_j, 0)$ .
Atraso da tarefa j (Tardiness - $T_j$ )	Corresponde ao atraso, na execução da tarefa, em relação à sua data de entrega. O tardiness de uma tarefa j é definido como: $T_j = \max(C_j - d_j, 0) = \max(L_j, 0)$ .

Quadro 3 – Critérios de Otimização Adotados em Problemas de Programação da Produção.

Fonte: French (1982); Bedworth; Bailey (1987); MacCarthy; Liu (1993); Morton; Pentico (1993); Pinedo (2008)

De acordo com Allahverdi et al. (1999) e Allahverdi; Cheng; Kovalyov (2008) outros critérios de otimização utilizados para resolver problemas de programação são: Tempo Médio de Conclusão ( $\Sigma C_j/n$ ); Tempo Total de Conclusão ( $\Sigma C_j$ ); Tempo Total de Conclusão Ponderado ( $\Sigma w_j C_j$ ); Tempo Total de Fluxo ( $\Sigma F_j$ ); Tempo Médio de Fluxo ( $\Sigma F_j/n$ ); Tempo Total de Fluxo Ponderado ( $\Sigma w_j F_j$ ); Lateness Máximo ( $L_{max}$ ); Lateness Total ( $\Sigma L_j$ ); Total Lateness Total Ponderado ( $\Sigma w_j L_j$ ); Tardiness Máximo ( $T_{max}$ ); Tardiness Total ( $\Sigma T_j$ ); Tardiness Médio ( $\Sigma T_j/n$ ); Tardiness Total Ponderado ( $\Sigma w_j T_j$ ); Earliness Máximo ( $E_{max}$ ); Earliness Total ( $\Sigma E_j$ ); Earliness Médio ( $\Sigma E_j/n$ ); Earliness Total Ponderado ( $\Sigma w_j E_j$ ); Tempo de Espera da Tarefa ( $W_j$ ); Tempo Total de Espera ( $\Sigma W_j$ ), Tempo Médio de Espera ( $\Sigma W_j/n$ ); Tempo Total de Espera Ponderado ( $\Sigma w_j W_j$ ); Tempo Médio de Espera ( $\Sigma W_j/n$ ); Número de Tarefas em Atraso ( $\Sigma U_j$ ); e Número Médio de Tarefas em Atraso ( $\Sigma U_j/n$ ).

Além dos critérios de desempenho anteriormente mencionados, outros critérios tem sido reportados na literatura especializada. Portanto, o conjunto de critérios pode ser expandido.

### 3 I METODOLOGIA

A pesquisa aqui relatada classifica-se, quanto aos fins, como descritiva e explicativa, e quanto aos meios, como bibliográfica. O método de abordagem adotado é o qualitativo, uma vez que visou identificar e descrever os principais métodos de

solução para o problema de programação da produção, disponíveis na literatura especializada.

O referencial teórico foi elaborado tendo como base livros, artigos científicos, teses e dissertações das áreas de Engenharia de Produção e Pesquisa Operacional. Para a identificação dos principais métodos de solução para o problema de programação da produção foram investigadas as mesmas bases utilizadas para a construção do referencial teórico.

Os principais métodos de solução identificados na literatura pesquisada e aplicáveis aos problemas de programação da produção foram agrupados em dois grupos ou categorias, conforme ilustrado na Figura 1.

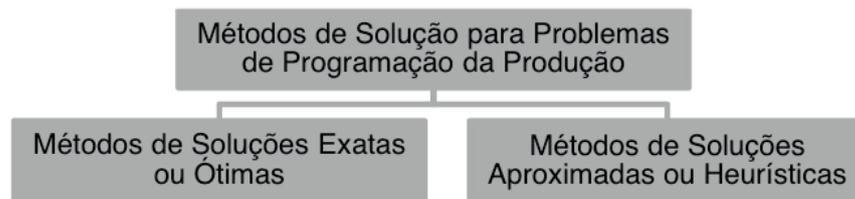


Figura 1 – Categoria dos Métodos de Solução para Problemas de Programação da Produção

Posteriormente, os métodos enquadrados na categoria de soluções aproximadas ou heurísticas foram agrupados em três grupos ou categorias, conforme ilustrado na Figura 2.

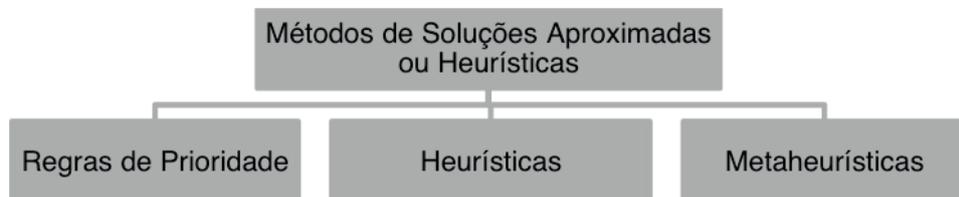


Figura 2 – Categoria dos Métodos de Soluções Aproximadas ou Heurísticas

Após a categorização dos métodos de solução identificados, as características básicas de cada método, extraídas da literatura especializada por meio do método de análise de conteúdo foram sumarizadas.

## 4 | MÉTODOS DE SOLUÇÃO PARA PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

Soluções para os problemas de programação da produção nos diferentes tipos de ambientes de máquinas, independentemente das características das tarefas incorporadas aos problemas e dos critérios de otimização adotados, podem ser obtidas por meio da aplicação de Métodos de Soluções Exatas ou Ótimas ou Métodos de Soluções Aproximadas ou Heurísticas, discutidos nas subseções seguintes.

## 4.1 Métodos de soluções exatas

Métodos de Soluções Exatas são métodos que garantem a obtenção de uma solução ótima de acordo com o critério de desempenho adotado (função objetivo). Apesar dessa garantia, em problemas com certo grau de complexidade (em particular, a maioria dos problemas combinatórios de interesse), a determinação de uma solução ótima em tempo computacional aceitável para a aplicação em questão pode ser difícil ou até mesmo impossível (MORABITO; PUREZA, 2010).

Dentre os vários Métodos Exatos disponíveis na literatura para resolução de problemas de programação da produção, Nemhauser; Wolsey (1988), Arenales et al. (2007) e Stefanello (2011) destacam: *Branch-and-Bound*; Planos de Cortes; *Branch-and-Cut*; Geração de Colunas (Dantzig-Wolf); Relaxação Lagrangeana; Método de Benders; e Programação Dinâmica. As principais características destes métodos são apresentadas no Quadro 4.

Método	Características
Branch-and-Bound (B&B)	São algoritmos que realizam enumerações sistemáticas das soluções candidatas, de tal maneira que soluções infrutíferas são eliminadas com base em limites superiores e inferiores da variável a ser otimizada. Neste tipo de método, subproblemas consistindo de relaxações lineares do problema inteiro são gerados e organizados em estrutura de árvore. A análise dos limitantes permite que ramos da árvore sejam descartados sem que as possíveis soluções factíveis que representam sejam explicitamente obtidas.
Planos de Cortes	Algoritmos que buscam obter uma aproximação da envoltória convexa da região factível de um problema de programação inteira que contenha um ponto extremo correspondente a uma solução ótima. Essa aproximação é obtida por meio de cortes ou desigualdades válidas.
Branch-and-Cut (B&C)	Segue a mesma lógica do B&B, com a adição de vários cortes em cada um dos nós cuja relaxação é factível. Este método “combina estratégias dos métodos B&B e planos de cortes, com o objetivo de reduzir o número de nós na árvore B&B.
Geração de Colunas	É uma aplicação do princípio de decomposição, que envolve a resolução de diversos subproblemas de tamanho menor, tipicamente estruturados, em lugar da resolução do problema original, cujo tamanho e complexidade impedem que seja resolvido em tempo razoável.
Relaxação Lagrangeana	Resolve problemas de programação inteira relaxando algumas restrições do problema e impondo uma penalidade proporcional as quantidades pelas quais as restrições são violadas
Benders	Utiliza o conceito de projeção no espaço de variáveis complicadoras para então obter um problema, em geral, com uma estrutura mais fácil de resolução.
Programação Dinâmica	Consiste na decomposição do problema original em uma sequência de subproblemas menores e mais simples de serem resolvidos

Quadro 4 – Principais características dos Métodos de Soluções Exatas

Fonte: Morton; Pentico (1993); Quadt (2004); Arenales et al. (2007); Morabito; Pureza (2010)

## 4.2 Métodos de soluções aproximadas

Métodos de Soluções Aproximadas, comumente denominados Métodos Heurísticos, produzem soluções com base geralmente em informações e a intuição do analista acerca do problema e de sua estrutura. Em geral, requerem apenas uma fração do esforço computacional de um método exato e quando bem projetados geram soluções de alta qualidade, porém sem a garantia da otimalidade (MORABITO; PUREZA, 2010). Os Métodos de Soluções Aproximadas disponíveis na literatura pesquisada podem ser categorizados em: Regras de Prioridades; Heurísticas; e Metaheurísticas.

### 4.2.1 Regras de prioridade

Métodos de solução baseados em Regras de Prioridade constituem os Métodos Aproximados ou Heurísticas, considerados os métodos mais elementares para a solução de problemas de programação da produção. Métodos baseados em Regras de Prioridade podem ser utilizadas para a obtenção de boas soluções ou para a geração de soluções iniciais. Segundo Pereira (2011) Regras de Prioridade são largamente utilizados em operações dentro dos ambientes de produção.

Uma Regra de Prioridade ou regra de despacho é uma regra que estabelece a prioridade com que as tarefas serão processadas em uma máquina (CARVALHO, 2000). De acordo com Davis; Aquilano; Chase (2001) as Regras de Prioridade são utilizadas para se obter uma sequência para o processamento das tarefas. As Regras de Prioridade fornecem orientações para o sequenciamento das tarefas nas máquinas, seguindo algumas informações sobre as tarefas, tais como o tempo de processamento, a data de entrega ou a ordem de chegada.

As Regras de Prioridade são geralmente classificadas em: i) Local – as prioridades são definidas com base apenas nas tarefas que estão esperando naquele centro de trabalho específico; e ii) Global – as prioridades são definidas de acordo com fatores como a carga de trabalho programada nas demais estações de trabalho pelas quais a tarefa deve ser processada (REID; SANDERS, 2005). As Regras de Prioridade também podem ser classificadas em: i) estáticas – são regras que alteram as prioridades quando ocorrem mudanças no sistema produtivo; e ii) dinâmicas – são regras que acompanham as mudanças e alteram as prioridades, em função das mudanças verificadas (TUBINO, 2007).

A literatura (CONWAY; MAXWELL; MILLER, 1967, ALMEIDA, 1995, PINEDO, 2008 e FUCHIGAMI, 2010) aponta um grande número de regras que podem ser aplicadas a problemas de programação, tais como: SPT (Menor Tempo de Processamento – *Shortest Processing Time*); LPT (Maior Tempo de Processamento – *Longest Processing Time*); EDD (Menor Data de Liberação – *Earliest Due Date*);

ERD (Menor Data de Liberação - *Earliest Release Date*); MWKR (Maior Trabalho Remanescente – *Most Work Remaining*); LWKR (Menor Trabalho Remanescente – *Least Work Remaining*); MOPNR (Maior Número de Operações Remanescente – *Most Operations Remaining*); LOPNR (Menor Número de Operações Remanescente – *Least Operations Remaining*); MS (Menor Folga - *Minimum Slack*); SST (Menor Tempo de Setup - *Shortest Setup Time*); e CR (Razão Crítica – *Critical Ratio*).

É comum encontrarmos na literatura, variações das regras SPT e LPT que incorporam prioridades ou penalidades por atrasos ou antecipações, como por exemplo: WSPT (Menor Tempo de Processamento Ponderado – *Weighted Shortest Processing Time*); e WLPT (Maior Tempo de Processamento Ponderado – *Weighted Longest Processing Time*) (SILVER; PYKE; PERTERSON, 1998, PINEDO, 2008, FUCHIGAMI, 2010).

Algumas Regras de Prioridade mais elaboradas são basicamente uma combinação das regras elementares. Exemplos de regras mais elaboradas, denominadas regras de prioridade compostas, são: ATC (Custo Aparente de Atraso – *Apparent Tardiness Cost*); ATCS (Custo Aparente de Atraso com Setup – *Apparent Tardiness Cost with Setup*); e COVERT (Custo ao Longo do Tempo - *Cost Over Time*).

De acordo com Almeida (1995) a escolha de uma ou outra regra, depende de alguns fatores relacionados com o problema de programação em questão, tais como o tamanho do sistema, o número de tarefas a ser processada e o critério de otimização adotado.

#### 4.2.2 Heurísticas

As Heurísticas conseguem boas soluções empregando um esforço computacional relativamente baixo, mas sem a garantia da otimalidade (VOB, 2001). De acordo com Queiroz (2011). Heurísticas são procedimentos que procuram solucionar problemas de forma racional, explorando a estrutura do problema, com o objetivo de encontrar uma solução boa, e quando possível, a ótima.

Dentre os vários Métodos Heurísticos disponíveis para resolução de problemas combinatórios, Silver (2004) e Rodriguez (2006) destacam: métodos construtivos; métodos de decomposição ou partição; métodos indutivos ou de manipulação do modelo; métodos de redução do espaço de busca; e métodos de busca em vizinhança. As principais características destes métodos são apresentadas no Quadro 5 a seguir.

Método	Características
Construtivo	São aqueles que gradualmente adicionam componentes individuais à solução até que se obtenha uma solução factível. Tipicamente nenhuma solução é obtida até que o procedimento seja concluído
Decomposição ou partição	São métodos que dividem o problema em subproblemas menores, presumivelmente mais simples de resolverem, sendo a saída de um subproblema a entrada do subproblema seguinte. A resolução de todos os subproblemas fornece uma solução para o problema global
Indutivos ou de Manipulação	São métodos que consideram versões menores ou mais simples de um problema, modificando a estrutura do modelo com a finalidade de torná-lo mais fácil de resolver, e deduzindo, a partir de sua resolução, a solução do problema original
Redução do Espaço de Busca	São métodos que tem como a ideia básica a redução do espaço de busca, por meio da eliminação de soluções. Este tipo de método visa identificar alguma característica que presumivelmente deva aparecer na solução ótima para que desse modo seja possível a simplificação do problema. Uma forma de redução consiste em considerar somente soluções que satisfazem uma propriedade específica do problema
Busca em Vizinhança	São métodos que partem de uma solução inicial factível, gerada por uma heurística construtiva ou randomicamente. Soluções factíveis na vizinhança da solução corrente e que melhoram seu valor são então selecionadas de forma iterativa até que se satisfaça algum critério de parada. Este métodos também são conhecidos como métodos de Busca Local ou Heurísticas de Refinamento.

Quadro 5 – Principais características dos Métodos Heurísticos

Fonte: Silver (2004); Ribeiro (2009)

De acordo com Silver (2004) estes tipos de heurísticas não são necessariamente mutuamente exclusivas, quando utilizadas na solução de problemas combinatórios.

#### 4.2.3 Metaheurísticas

Metaheurísticas são procedimentos heurísticos sofisticados que coordenam estratégias de busca locais de nível mais elevado, criando um processo para superar ótimos locais, e efetuando uma busca da solução mais robusta para um problema (GLOVER; KOCHENBERGER, 2003). Dentre as metaheurísticas mais populares, destacam-se *Simulated Annealing*, *Tabu Search*, Algoritmos Genéticos, *Variable Neighborhood Search*, *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*, *Guided Local Search* e *Iterated Local Search*.

O *Simulated Annealing* (SA) é um método desenvolvido pela analogia entre o processo de resfriamento dos sólidos e o processo de otimização de um sistema (SILVER, 2004), onde os estados do sistema correspondem às soluções do problema, a energia dos estados corresponde à função objetivo, o estado fundamental corresponde à solução ótima, os estados meta-estáveis correspondem aos ótimos

locais e a temperatura corresponde a um parâmetro de controle.

A metaheurística *Tabu Search* (TS) sua forma mais simples é uma busca em vizinhança dotada de uma estrutura que armazena atributos das soluções geradas por um dado número de iterações. O termo tabu vem do fato de que soluções com estes atributos ativos são proibidas ou penalizadas pelo período especificado (MORTON; PENTICO, 1993).

Algoritmos Genéticos (*Genetic Algorithms* - GA) são métodos de otimização global, baseados nos mecanismos de seleção natural e genética. Em algoritmos genéticos a busca da solução se dá em um processo iterativo onde são realizadas operações de seleção, cruzamento e mutação. Os algoritmos genéticos trabalham sobre uma população de soluções, gerando uma nova população a cada iteração (LACERDA; CARVALHO; LUDERMIR, 2002).

O *Variable Neighborhood Search* (VNS) é um método que aplica explicitamente uma estratégia baseada na mudança dinâmica de estrutura de vizinhança (BLUM; ROLI, 2003). Segundo Silver (2004) o método VNS considera várias estruturas de vizinhança, em que dada uma solução corrente, uma solução é selecionada aleatoriamente da vizinhança. Um procedimento de melhoria local é aplicado resultando em um ótimo local.

O *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* (GRASP) é um método iterativo, composto de duas fases: construção probabilística de uma solução inicial e a melhoria da solução. A geração da solução inicial é feita por uma heurística construtiva gulosa com aleatoriedade controlada na escolha dos componentes da solução, ou seja, restrita aos componentes mais bem avaliados segundo a função objetivo. A solução inicial é então usada como ponto de partida para uma busca local tradicional ou metaheurística (ARROYO, 2002).

O *Guided Local Search* (GLS) é um método que aplica explicitamente uma estratégia baseada em estruturas de vizinhança dinâmica (BLUM; ROLI, 2003). A ideia básica é adicionar um conjunto de funções ponderadas à função objetivo original, em que características de soluções para o problema original são incorporadas nas funções ponderadas (SILVER, 2004).

*Iterated Local Search* (ILS) é um tipo de método que aplica um procedimento de busca local em uma solução inicial até a obtenção de um ótimo local. Essa solução é perturbada, obtendo-se nova solução. O procedimento de busca local é então aplicado a esta nova solução. O procedimento é encerrado de acordo com o critério de parada pré-estabelecido (BLUM; ROLI, 2003).

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou os principais métodos de soluções exatas e de soluções

aproximadas disponíveis na literatura especializada. Foram identificados sete tipos de métodos de soluções exatas e treze tipos métodos de soluções aproximadas. Os métodos de soluções aproximadas foram categorizados em regras de prioridades, heurísticas e metaheurísticas. Ressalta-se que os métodos de soluções, quer sejam métodos exatos, quer sejam métodos aproximados, não se esgotam no referencial teórico-conceitual aqui apresentado.

Para os métodos aqui apresentados, sugere-se para trabalhos futuros a elaboração de descrições detalhadas que incorporem os procedimentos para construção dos métodos de solução aqui apresentados, as análises referentes aos méritos em termos de qualidade das soluções fornecidas e de desempenho computacional, bem como as principais variações e/ou adaptações desenvolvidas para os métodos.

Sugere-se também para trabalhos futuros que o referencial aqui explicitado seja expandido para incorporar outras categorias e métodos de solução, como por exemplo, a categoria de métodos bioinspirados baseados em populações, que incorporam os métodos evolutivos e os métodos de enxames.

## REFERÊNCIAS

ABEPRO. Áreas e Subáreas de Engenharia de Produção. 2008. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/interna.asp?p=399&m=424&s=1&c=362>>.

ALLAHVERDI, A.; CHENG, T. C. E.; KOVALYOV, M. Y. **A survey of scheduling problems with setup times or costs**. European Journal of Operational Research, 187, 2008, p. 985–1032.

ALLAHVERDI, A.; GUPTA, J.N.D.; ALDOWAISAN, T. **A review of scheduling research involving setup considerations**. Omega - The International Journal of Management Science, 27, 1999, p. 219-239.

ALMEIDA, A. M. N. **Escalonamento dinâmico de tarefas industriais sujeitas a prazos de entrega**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1995.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

ARROYO, J. E. C. **Heurística e Metaheurística para Otimização Combinatória Multi-Objetivo**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica 2002. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

BAKER, K. R.; SCUDDER, G. D. **Sequencing with earliness and tardiness penalties: a review**. Operations Research, 38, 1, 1990, p. 22-36.

BEDWORTH, D. D.; BAILEY, J. E. **Integrated Production Control Systems: management, analysis, design**. 2<sup>th</sup> edition. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1987.

BLUM, C.; ROLI, A. **Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison**. ACM Computing Surveys, 35, 1, 2003, p.268-308.

CARVALHO, J. D. A. **Programação da Produção. Apontamentos. Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas.** Escola de Engenharia da Universidade do Minho. Minho, 2000. Disponível em [http://pessoais.dps.uminho.pt/jdac/apontamentos/Cap03\\_Program.pdf](http://pessoais.dps.uminho.pt/jdac/apontamentos/Cap03_Program.pdf)

CONWAY, R. W.; MAXWELL, W. L.; MILLER, L. W. **Theory of scheduling.** Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1967.

DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. **Fundamentos de Administração da Produção.** 3ª. ed. São Paulo: Bookman. Porto Alegre, 2001.

FRENCH, S. **Sequencing and scheduling: an introduction to the mathematics of the job shop.** New York: Wiley, 1982.

FUCHIGAMI, H.Y. **Programação de operações em máquinas.** Apostila. Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2010.

GLOVER, F.; KOCHENBERGER, G. A. **Handbook of Metaheuristics.** Boston: Kluwer Academic Publishers, 2003.

GUPTA, J.N.D. **A review of flowshop scheduling research.** In: RITZMAN, L.P.; KRAJEWSKI, L.J.; BERRY, W.L.; GOODMAN, S.T.; HARDY, S.T.; VITT, L.D. Disaggregation Problems in Manufacturing and Service Organizations. MartinusNijhoff, The Hague, 1979, pp. 363–388.

GUPTA, J.N.D.; STAFFORD JR. **Flowshop scheduling research after five decades.** European Journal of Operational Research, 169, 2006, p. 699-711.

HAX, A. C.; CANDEA, D. **Production and inventory management.** New Jersey: Prentice-Hall, 1984.

JOHNSON S. M.; MONTGOMERY D. C. **Operations Research in Production, Planning, Scheduling and Inventory Control.** New York: Wiley, 1974.

LACERDA, E. G. M.; CARVALHO, A. C. P. L. F.; LUDERMIR, T. B. **Um tutorial sobre algoritmos genéticos.** Revista de Informática Teórica e Aplicada, 9, 3, 2002, 109-139.

MACCARTHY, B. L.; LIU, J.Y. **Addressing the gap in scheduling research: a review of optimization and heuristic methods in production scheduling.** International Journal of Production Research, 31, n.1, 1993, p. 59- 79.

MORABITO, R.; PUREZA, V. **Modelagem e Simulação.** In: MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MORTON, T. E.; PENTICO, D. W. **Heuristic Scheduling Systems.** New York: Wiley, 1993.

NEMHAUSER, G.; WOLSEY, L. A. **Integer and Combinatorial Optimization.** New York: John Wiley and Sons, 1988.

PEREIRA, A. M. S. **Metaheurísticas para o problema de flowshop flexível com penalidades de adiantamento e atraso.** Dissertação (Mestrado). Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2011.

PINEDO, M. **Scheduling: theory, algorithms, and systems.** 3ª. edição. New Jersey: Prentice-Hall, 2008.

QUADT, D. **Lot-sizing and scheduling for flexible flow lines. Lecture notes in economics and**

**mathematical systems.** Germany: Springer, 2004.

QUEIROZ, M. M. **Métodos heurísticos aplicados ao problema de programação de frotas de navios PLVs.** Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

REID, R. D.; SANDERS, N. R. **Gestão de Operações.** Rio de Janeiro: LTC, 2005.

RIBEIRO, F. F. **Um algoritmo genético adaptativo para a resolução do problema de sequenciamento em uma máquina com penalização por antecipação e atraso da produção.** Dissertação (Mestrado). Programa de PósGraduação em Modelagem Matemática e Computacional. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

RODRIGUEZ, C. O. R. **Um algoritmo Grasp con doble relajación para resolver el problema de flow shop scheduling.** Monografia (Graduação). Facultad de Ciencias e Ingenieria. Pontificia Universidad Católica del Peru. Lima, 2006.

SILVER, E. A. **An overview of heuristic solution methods.** Journal of the Operational Research Society, 55, 2004, p. 936-956.

SILVER, E. A.; PYKE, D. F.; PETERSON, R. **Inventory, Management and Production Planning and Scheduling.** 3<sup>th</sup>. edition. USA: John Wiley& Sons, Inc., 1998.

STEFANELLO, F. **Hibridização de métodos exatos e heurísticos para resolução de problemas de otimização combinatória.** Dissertação (mestrado). Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Informática, Universidade Federal de Santa Maria. Porto Alegre, 2011.

TUBINO, D. F. **Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática.** São Paulo: Atlas, 2007.

VOB, S. **Metaheuristics: the state of the art.** In: NAREYEK, A. Local search for planning and scheduling. Berlin: LNAI, 2001.

## SATELLITE TELEMETRY AND IMAGE RECEPTION WITH SOFTWARE DEFINED RADIO APPLIED TO SPACE OUTREACH PROJECTS IN BRAZIL

*Data de aceite: 03/12/2019*

### **David Julian Molano Peralta**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas, 1758. 12227-010 São José dos Campos - SP, Brasil.

### **Douglas Soares dos Santos**

Departamento de Engenharia Eletrônica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acacias, 12228-900, São José dos Campos - SP, Brasil

### **Auro Tikami**

Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas, 1758. 12227-010 São José dos Campos - SP, Brasil.

### **Walter Abrahão dos Santos**

Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas, 1758. 12227-010 São José dos Campos - SP, Brasil.

### **Edson Wander do Rego Pereira**

AMSAT-BR/LABRE, Radio Amateur Satellite Corporation – Brasil, CP 4, CEP: 70275-970, Brasília-DF

**ABSTRACT:** Software Defined Radio (SDR) uses a processor, a special receiver and software that play the main parts of the receiver (mixer, filters, amplifiers, modulators,

demodulators, etc.) and it is quite advantageous for its flexibility and compact size as it reduces the amount of hardware components while adapting for different needs. This work briefly presents the SDR concept and approach for obtaining satellite telemetries and imagery in the context of different modulation schemes, link budget requirements and different satellites types. Two case studies are presented for supporting affordable ground segment and promoting satellites projects in Brazil. Reception from the 1st Brazilian picosatellite, Tancredo-1, with specific software developed, UbaTM is presented for obtaining satellite raw telemetries, convert them to engineering value and friendly present on user screen. A series of support software packages are then introduced so that one can pipeline various operations and automate tasks in the ground station. Finally, a second study case was performed in order to receive NOAA class satellites imagery over VHF band and decoded by specific software freely available. Using the proposed SDR approach, it can adapt to the projects mainly those with a limited budget and outreach for major inclusion on space topics in Brazil.

**KEYWORDS:** Ground Stations, Satellites, Software Defined Radio, Space Systems

## 1 | INTRODUCTION

Software Defined Radios (SDRs) have been incorporated into ham radio equipment on the market to provide better performance, noise reduction and digital filtering. SDRs use digital signal processing (DSP) processors for very high-speed digital operations performing typical analog radio functions. The software flexibility provided by SDRs comes from its ability to change its operation allowing the update of new and better features and better performance rate without any need to change constantly the hardware (Wygliniski, 2016).

Since SDRs are also a cost effective means to obtain satellite telemetry and image reception, they are being extensively employed in the development of pico and nanosatellites projects -- also often just called “small satellites”, or “smallsats” for short. The use of SDR in the university environment has grown in Latin America significantly in the last 15 years. Besides that, Brazil had a significant increase in the development of such satellites like the cubesats NanoSatC-BR1 (INPE, 2014), the AESP-14 (ITA, 2015), Serpens (AEB, 2015) and the tubesat Tancredo-1 (LABRE, 2017), already launched. Other projects like NanoSatC-BR2 and ITASAT are still in development (Ereno e Ramos, 2014).

Smallsats platforms are usually project developments with educational and professional goals to design, create, assemble and operate them. They are also developed as an outreach means to train personnel in the future and improve space initiatives on Latin America. The cost of these projects is normally limited, so this is where SDR technology becomes a cost-benefit for the communication link. A rough estimate on how SDR technology costs compared with their fixed item counterparts is around 10%. Therefore, the main motivation of this work is to introduce and demonstrate SDR-based technology on satellite ground stations for reductions on the development and implementation costs while replacing their major hardware components. This paper’s scientific methodology is summarized in Figure 1, where it is shown the typical workflow for receiving and decoding satellites telemetry and NOAA satellite images.

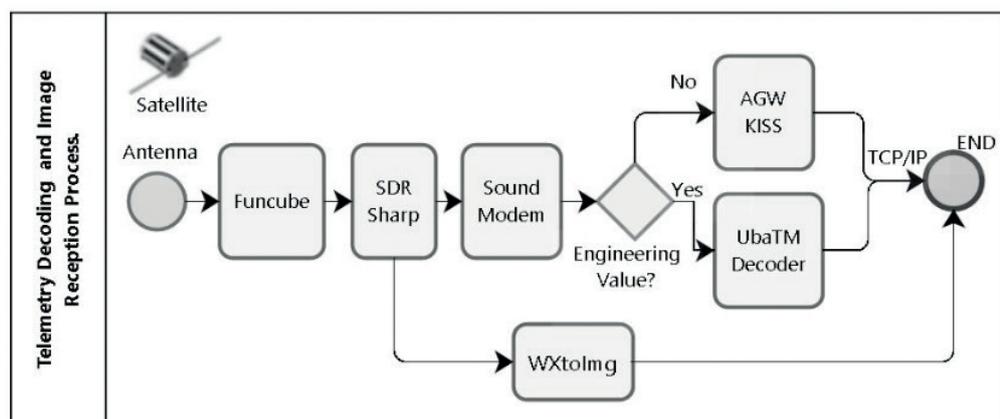


Figure 1. System diagram of the applied methodology.

This work is organized as follows. Section 2 discusses the materials and methods used in SDR technology and how it works. Section 3 presents the techniques used and their main results obtained with SDRs in the context of two case studies: a picosatellite and of a NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) satellite. Section 4 discusses the resulting configurations and concludes this paper with general comments and possible future directions.

## 2 | MATERIAL AND METHODS

In this section, an overview on the SDR device used is presented in addition to software and hardware options for obtaining small satellites telemetry decoding and NOAA satellite images.

### 2.1 SDR Overview

A SDR employs an RF front-end followed by an analog-to-digital converter in a hardware card as shown in Figure 2 (Superkuh, 2017) which samples signals and sends them to a host computer. The rest of the processing is done exclusively in software using the relevant algorithms implemented on the host computer. This allows for greater operational capacity and reduces the cost of other equipment. As an example it can refer to the FUNcube Dongle (Funcube, 2017) and the GAUSS Ground Dongle (Gauss, 2017).



Figure 2. SDR hardware adapter. (Superkuh, 2017)

The use of SDR started in military applications and later, its used in amateur radio was primarily due to the low cost and the availability of its technology. SDRs were also incorporated into the market to provide good performance, noise reduction and digital filtering, even though customized filters still present better performance. Using SDR technology functions such as modulation, demodulation, filtering, encoding, decoding, etc, are done by a software component. They are typically implemented on a general purpose processor, like a DSP (Digital Signal Processing), FPGA (Field-programmable Gate Array), microcontroller, for example (Wygłinski, 2016).

The space mission exploration of smallsats requires ground stations that provide the necessary support to their operation. Therefore an engineering solution with good cost-benefit is desirable and here is the opportunity to use SDRs (Juang *et al.*, 2008). Often smallsats work in L Band (VHF and UHF) and S Band and the amateur radio community has been proactive in SDR solutions.

## 2.2 Application Method

This paper presents the configurations made between several existing software components, which allow, in this case, serving multi-purpose such as a small satellite telemetry decoder and a satellite image decoder. These settings are explained in the results section and are briefly explained below.

Using a SDR adapter as reception hardware and some software elements for signal processing, we explain the different configurations that shall be made to obtain a telemetry decoder, for example.

Similarly, using the same signal receiver hardware, we explain the process for receiving information from the United States NOAA series of weather satellites (NOAA, 2017). More specifically, the NOAA-15, NOAA-18 and NOAA-19 satellites were targeted and the software tools that allow signal processing and decoding were used for each satellite image sent.

## 2.3 Hardware and Software Application Options

The implementation of a cost-effective solution for SDR-based tracking of small satellites involves a series of hardware and software elements, which are interconnected with each other and, provide the function of reception and decoding of the signals sent by the satellite.

Some of the points presented hereafter are software options available mainly for the downlink monitoring that are suitable for a casual satellite tracking but are not quite adequate to be integrated into a ground station system that needs sometimes to function autonomously.

### 2.3.1 Hardware Options for Tracking Satellites

The hardware part of this infrastructure may be as simple as: (1) Laptop, (2) Funcube Dongle Pro Plus (Funcube, 2017) shown in Figure 3 or similar SDRs and, (3) RF Antenna.



Figure 3. Funcube Dongle Pro Plus connected to computer.

For the RF part, many solutions can be used and one chosen for this work is a MoxonZBZ antenna (Moxon, 2003) shown in Figure 4 with two elements in VHF and four elements in UHF.

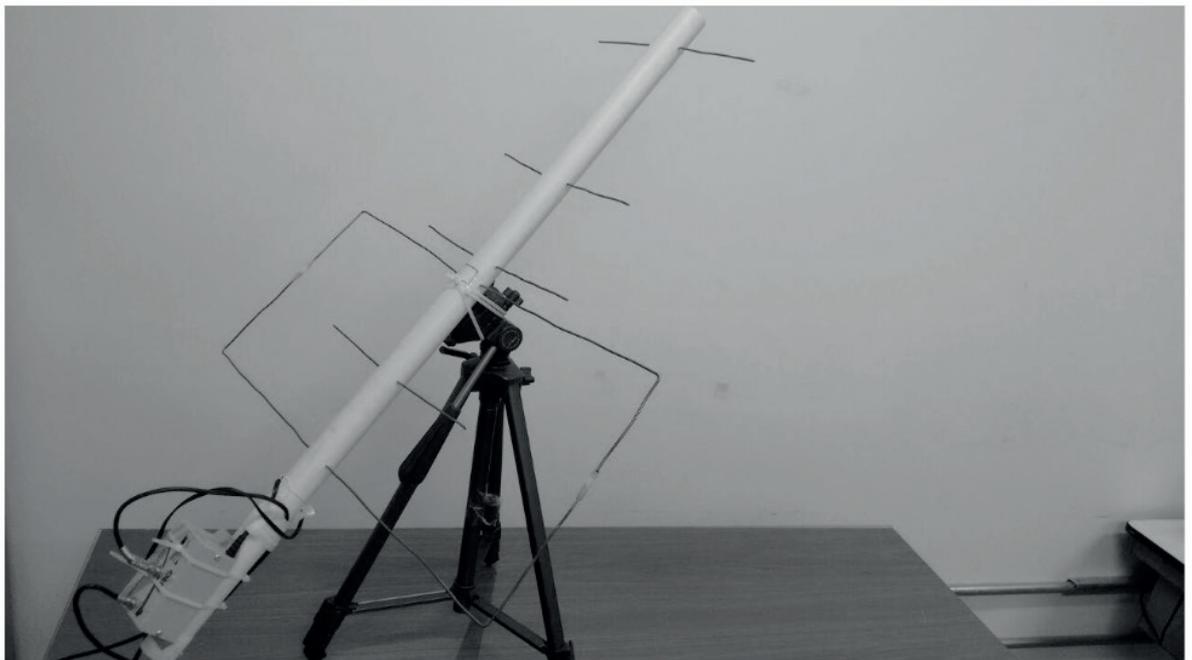


Figure 4. Antenna VHF and UHF hand-assembled for receiving the satellite signals.

### 2.3.2 Software Options for Tracking Satellites

There is a great amount of software packages available for various platforms from desktop to mobiles. This work calls attention to some which are available free of charge making them suitable for projects that run on a budget, namely: Heavens-Above, Orbitron, SDRSharp, SoundModem (Peralta, 2017) besides many others such as GNU Radio (GNURADIO, 2017).

For example, the Heavens-Above app on Android (Peat, 2015), shown in Figure 5, has a list of satellites, including those dedicated to radio amateur, with information about them and about their passes.

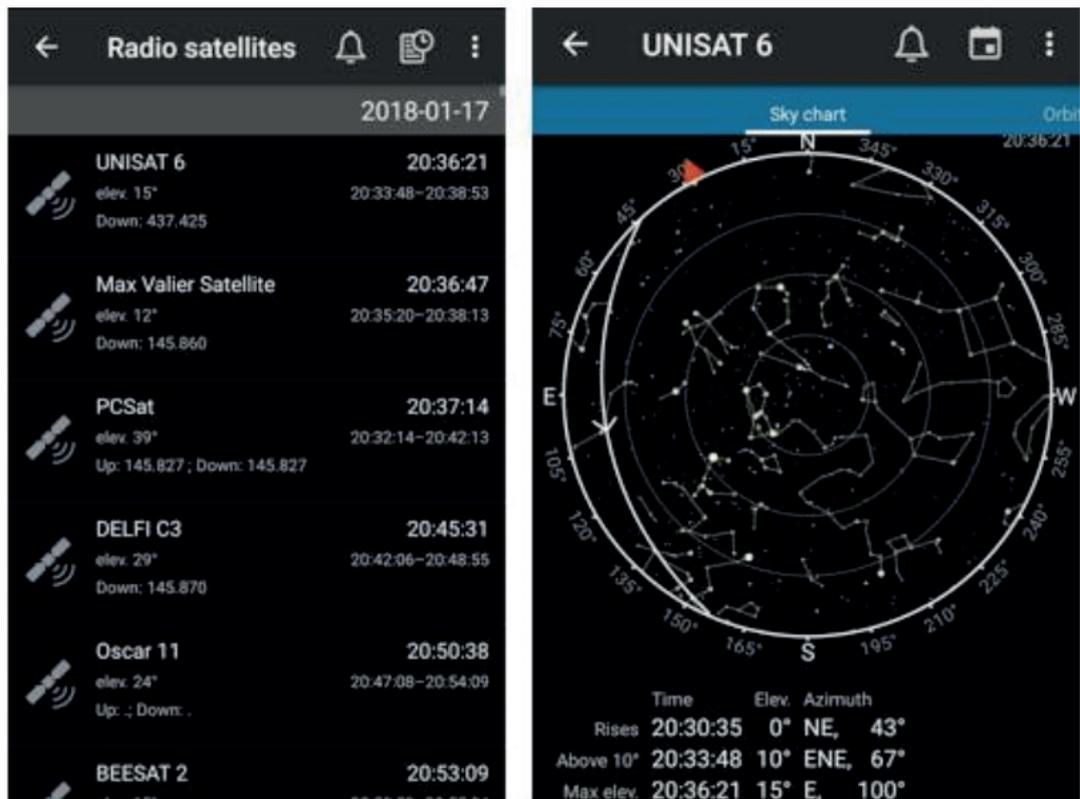


Figure 5. Heavens-Above app screens on passing-by satellites.

Orbitron (Stoff, 2005) is a well-known software to track satellites, shown in Figure 6, providing real time and simulated position and pointing antennas according to their azimuth and elevation.

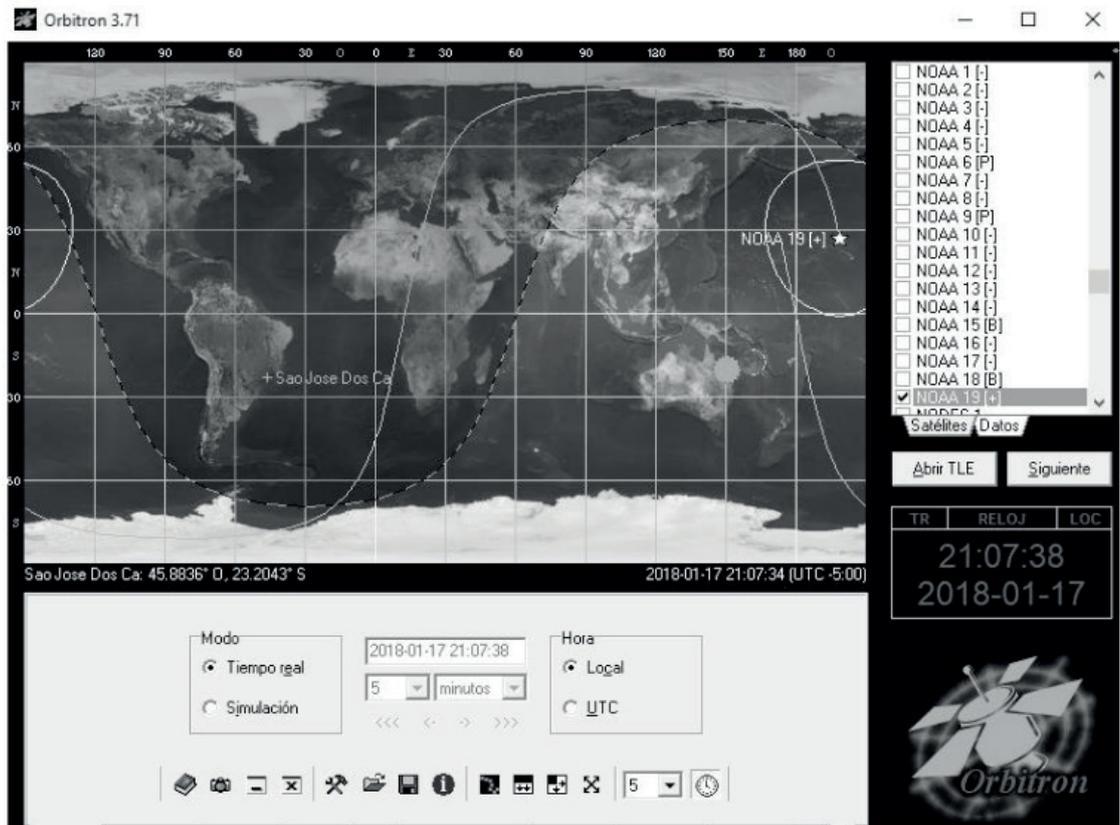


Figure 6. Orbitron screenshot with satellite tracking information.

SDR Sharp by AIRSPY (Airspy, 2016) is an application that replaces conventional physical radios, shown in Figure 7, it allows one to listen to the signals sent by the satellite.

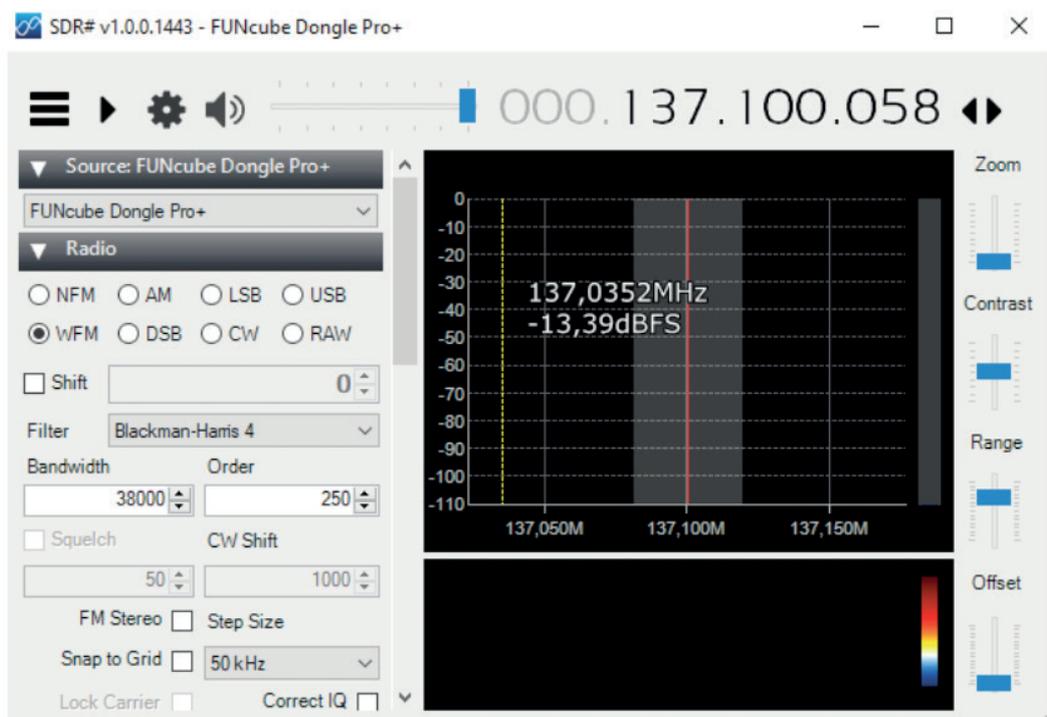


Figure 7. SDR sharp screen with spectrum of received signal.

SoundModem v.95 by UZ7HO (Uz7ho, 2016) is a software modem that demodulates digital signals into binary data, shown in Figure 8. It processes the audio signals from a conventional (analog) or SDR receivers as well as generates digital modulation to be transmitted.

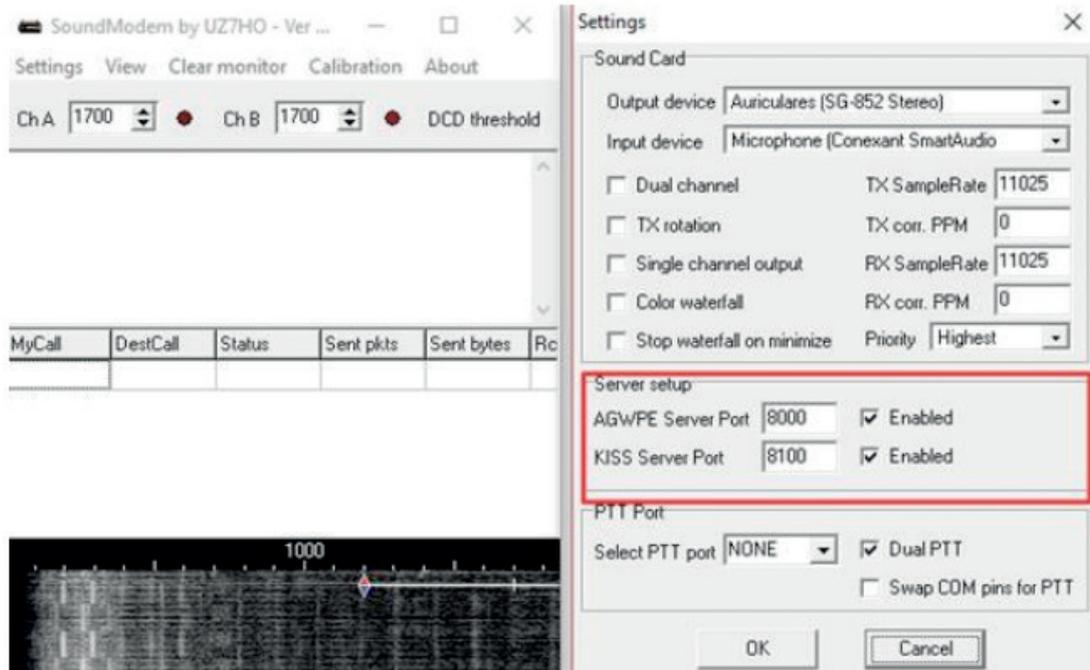


Figure 8. Soundmodem application converting raw data into binary.

Finally, AGW Online Kiss v. 2.4.4 by DK3WN (Peøsat, 2015). This software decodes AX.25 KISS frames from SoundModem into raw values as shows in Figure 9. The telemetry values sent by any satellite are obtained and visualized in raw data.

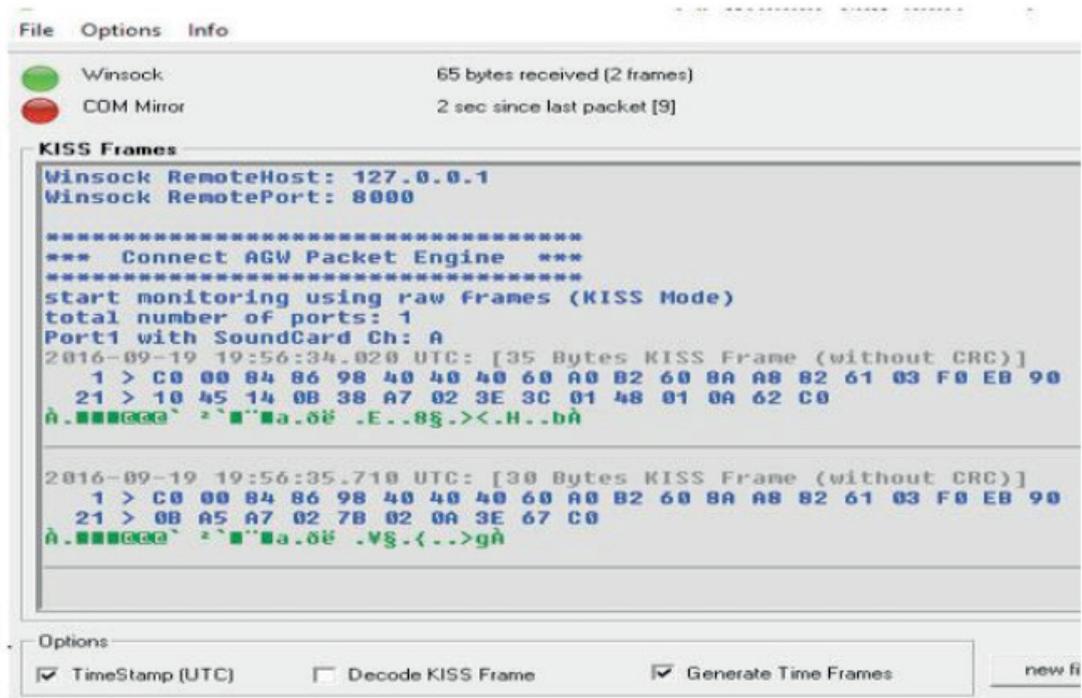


Figure 9. AGW Online Kiss program with raw and configuration file.

### 2.3.3 Software's Configuration

The software configuration is implemented with the previously mentioned software tools. In Figure 10, the software interrelationship diagram is shown. For this diagram, it should be noted that there are two possible final elements. Each telemetry hexadecimal value can be obtained as well as its engineering value, but in this case, only if one has specific software for the satellite, which performs all the necessary calculations and converts the data to values that can be easily understood by the user.

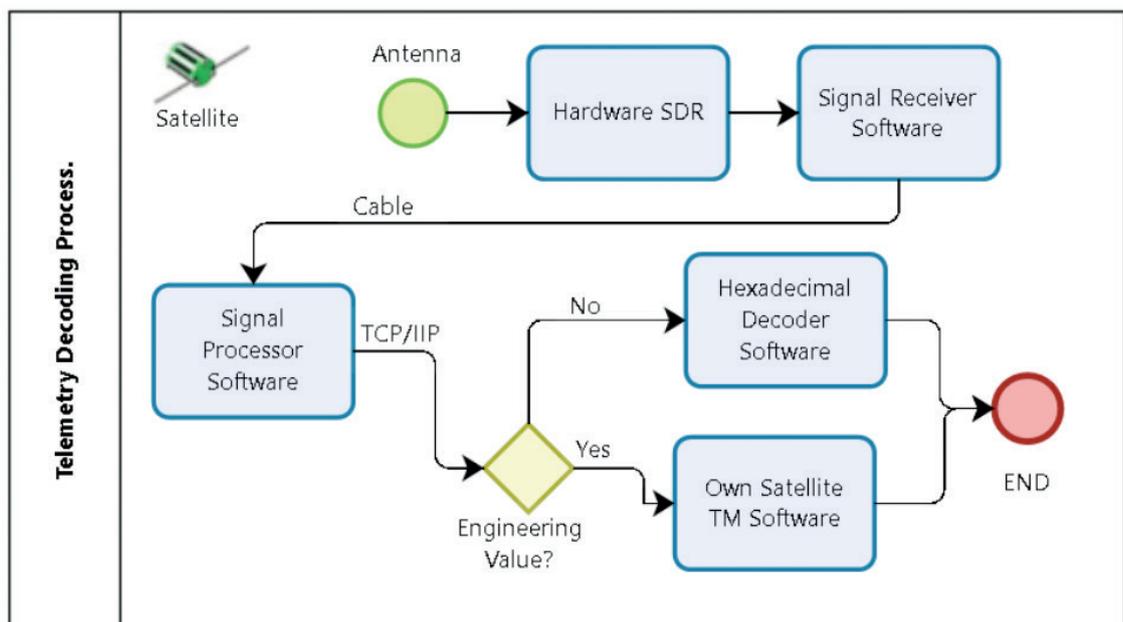


Figure 10. Schematic diagram for the telemetry decoding progress.

Regardless of the result to be obtained, the following process must be performed:

- Initially the receiver hardware (SDR) must be properly connected to the antenna that operates in the frequency band (VHF - Very High Frequency)
- Connect the receiver hardware to the equipment where the decoding will be performed.
- Execute the program SDRSharp, which serves as receiver of the signal sent by satellite, it should be to configure all the necessary parameters for each satellite (frequency of operation, modulation, bandwidth, etc.)
- Run the program SoundModem, which receives the sound sent by SDR-Sharp and demodulates signals, in our case AX-25 frames, the information and display it in ASCII language.

At this point, one can choose one of the following options, depending on the tools with which one count.

- Execute the program AGW Online KISS, which will receive the SoundModem program Information, to realize the codification and to show each telemetry in hexadecimal value.
- Run the telemetry satellite decoder software to obtain the engineering value of each telemetry. In our case, run the UbaTM software to convert the telemetry raw values into suitable engineering values.

It is necessary to configure the communication between decoding software (SoundModem, AGW Online KISS, own TM satellite software) by TCP/IP communication.

#### *2.3.4 Interoperability issues in the tracking software and a case study*

Interoperability issues (Konstantat et al, 2006) appear when one tries to track a satellite and has to put together all aforementioned software packages in order to get telemetry data for example. From this scenario, there are two possible types: one part is from the received sound input to the output and the other is between application network ports. More precisely these are detailed hereafter:

- The sound output of the SDRSharp, becomes the signal input of the SoundModem program (by physical cables, virtual cables or simply the sound card of the machine) for demodulating AX-25 signals into binary encoded information.
- Binary encoded information provided by SoundModem is sent via a communication port, either on a local or a remote machine (IP address).

### 3 | RESULTS

The results were obtained executing two different case studies namely: (1) Telemetry decoding of a Brazilian picosatellite and (2) Image decoding of a NOAA satellite.

#### 3.1 Case Study 1 - Tancredo-1 Picosatellite Telemetry Decoding

This case study aims at receiving the telemetry signals and obtaining the engineering value of the telemetry data sent by the Brazilian picosatellite Tancredo-1, launched in January 2017.

Initially, the link budget needs to be checked for certifying that satellite reception is feasible. This starts with Tancredo-1 picosatellite main RF characteristics listed below:

- Transmission power  $P_t = -3$  dBW,
- Total transmission line losses  $L_{tl} = 2$  dB
- Antenna gain  $G_a = 2.2$  dB

Therefore, the Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) is given by:

$$EIRP = P_t \cdot L_{tl} \cdot G_a = -2.8 \text{ dBW} \quad (1)$$

The signal level received at the Earth in the vicinity of the ground station using an omnidirectional antenna is given by spacecraft **EIRP** subtracted by downlink path losses. The major loss is due to free space loss (**FSL**) which is given by:

$$FSL = 10 \log [4\pi \cdot d \cdot f/c]^2 = 150.1 \text{ dB} \quad (2)$$

Where  $d = 1732$  km for a slant range, the frequency  $f = 437.5$  MHz and  $c = 3 \times 10^8$  m/s

Other losses have also to be determined due to mainly by atmospheric, ionospheric, antenna pointing and antenna polarization. Estimating these losses equal 3.0 dB, the isotropic signal level at ground station, as depicted in Figure 11,  $EIRP_{gs}$  is -155.9 dBW for a generic ground station block diagram.

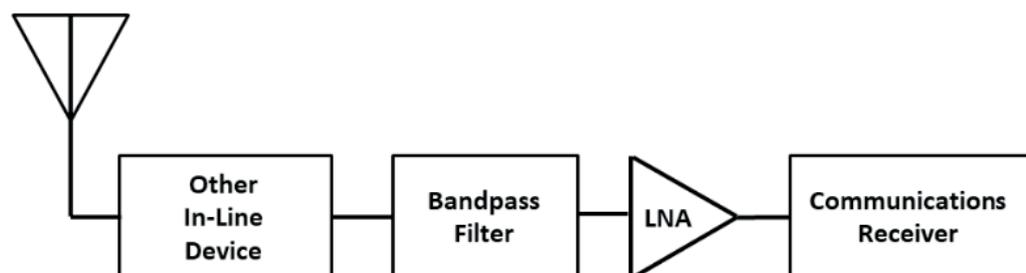


Figure 11. A typical ground station block diagram.

The ground station link margin can be then calculated from  $E_b/N_o$  method or from SNR method. This method is presented here where the first step is to calculate Ground Station Effective Noise Temperature,  $T_s$  is given by the expression:

$$T_s = (\alpha) T_a + (1-\alpha) T_o + T_{LNA} + T_{2ndStage} / (G_{LNA} / L_D) \quad (3)$$

Where

$T_a$  = Antenna Temperature or Sky Temperature (°K) = 500 K

$T_o$  = System Line Temperature (Physical Temperature) (°K) = 290 K

$T_{LNA}$  = Noise Temperature of the Low Noise Amplifier (°K) = 60K

$T_{2nd Stage}$  = Noise Temperature of Next Stage Amplifier or Mixer (°K)

$T_{ComRcvr}$  = Noise Temperature of the Front End Comms Receiver (°K) = 1000 K

$G_{LNA}$  = Gain of the LNA in linear (non-dB) units = 63.1 (18 dB)

$L_D$  = Insertion Loss of any other In-Line device in front of LNA (dB) = 2.3 dB

$\alpha$  = Feed Line Coefficient given by:

$$\alpha = 10^{-(L_a + L_b + L_c + L_{bpf} + L_{other}) / 10} \quad (4)$$

where

$L_a, L_b, L_c$  = All cable or waveguide Losses (dB)

$L_{bpf}$  = Insertion Loss of any bandpass filter used in front of LNA (dB)

$L_{other}$  = Losses due to other in-line device (dB)

Estimating the total in-line losses from the antenna to LNA equal 0.48 dB, we then from (4) we have the Transmission Line Coefficient  $\alpha = 0.8954$ . Thence, from (3) we derive the Ground Station Effective Noise Temperature to be  $T_s = 565$  K.

The next step is to determine the Ground Station Figure of Merit ( $G/T$ ) given by:

$$G/T = G_a - L_{tGS} - 10 \cdot \text{Log}(T_s) \quad (5)$$

Where we estimate:

$G_a$  = Ground Station Antenna Gain = 24 dBi

$L_{tGS}$  = Ground Station Total Transmission Line Losses = 0.5 dB

Therefore we have  $G/T = -4.02$  dB/K. Next, we calculate the Signal-to-Noise Power Density ( $S/N_o$ ) and  $E_b/N_o$  given by:

$$S/N_o = EIRP_{GS} - L_{GSAP} + (G/T) - K \quad (6)$$

Where  $K$  = Boltzman's constant = -228.6 dBW/K/Hz and  $L_{GSAP}$  = Ground Station Antenna Pointing Loss = 0.4 dB (estimated). Thence,  $S/N_o = 68.28$  dBHz and using:

$$E_b/N_o = S/No - 10 \log(R) \quad (7)$$

Where  $R$  = data rate, then  $E_b/N_o = 37.48$  dB for  $R = 1200$  bps.

According to IARU Modulation Demodulation Method spreadsheet the required  $E_b/N_o$  is 21 dB for AFSK/FM modulation and  $BER$  equals  $10^{-4}$  and considering

demodulator implementation loss equals 1 dB, we have a  $E_b/N_{\text{threshold}} = 22$  dB. Therefore, the system link margin will be:

$$E_b/N_o - E_b/N_{\text{threshold}} = 37.48 - 22 = 15.48 \text{ dB} \quad (8)$$

This ascertains that signal reception is feasible.

On the processing side, after sorting out all operability issues mentioned earlier, an output port from the SoundModem has to be connected to a telemetry decoder. For this purpose, a software called UbaTM, its main window is shown in Figure 12, was developed for converting the telemetry raw values into engineering units and presents the telemetry information in an easy-to read manner. UbaTM was developed by Edson Pereira, PY2SDR, as a contribution for UbatubaSat project (Peralta, 2017).

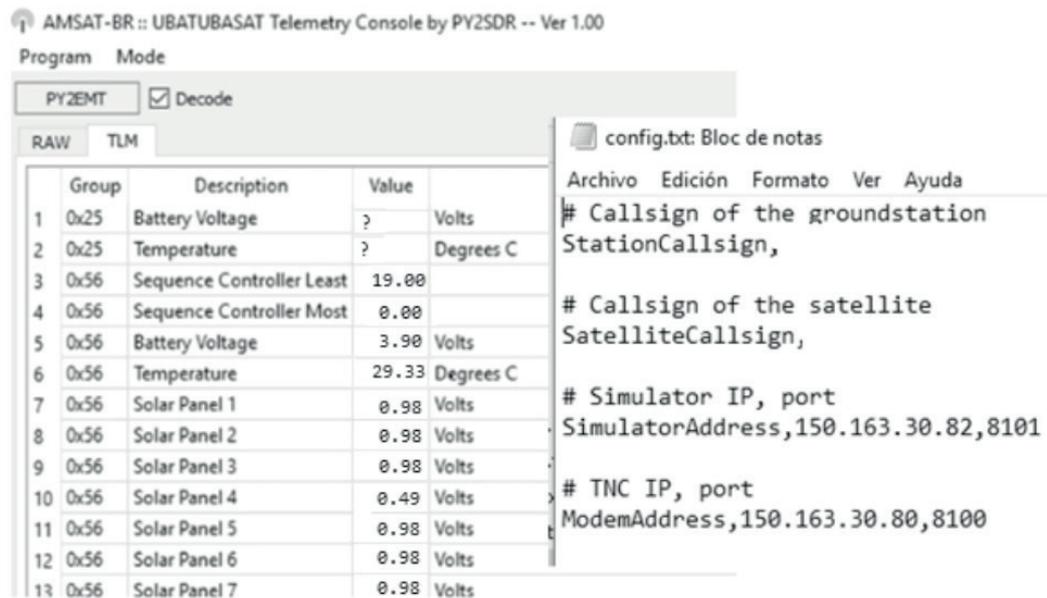


Figure 12. UbaTM Decoder with engineering valued telemetry and configuration file.

### 3.2 Case Study 2 - NOAA satellites Image Decoding

For this part of the experiment the SDRSharp program is used. The same connection scheme of all hardware elements is used, the receiving hardware must be connected to the equipment where the image will be decoded and processed, clearly the VHF receiver antenna, must also be properly connected to the SDR receiver hardware. The Figure 13 shows the scheme of operation between the hardware and software elements for reception and decoding of NOAA satellites images.

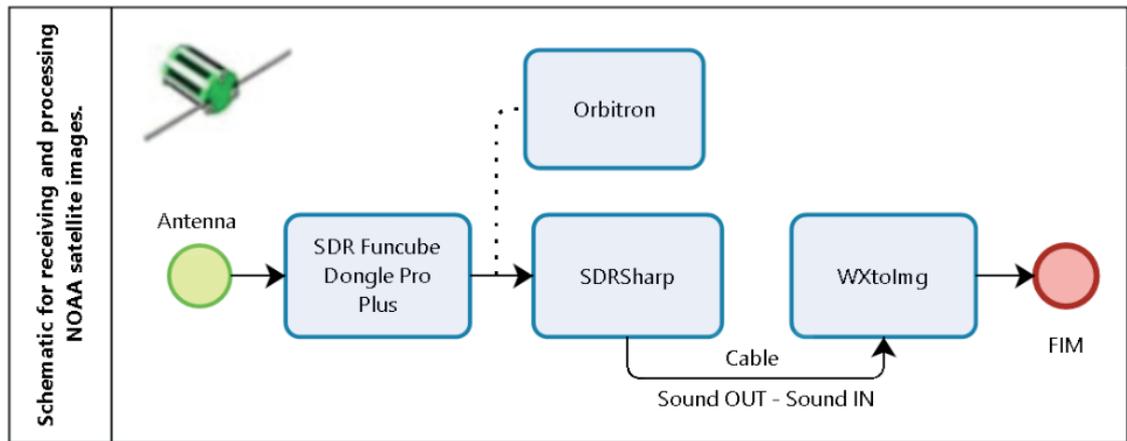


Figure 13. Schematic diagram for image reception of images from NOAA satellites.

In the same way that the SDRSharp program is used for the telemetry decoder explained above, it should be used to obtain images of the NOAA weather satellites, with the difference that for each of the NOAA satellites, the communication parameters between satellite and the ground must be established, in order to be able to process and decode that signal to finally acquire a satellite meteorological image.

Additionally, to acquire the images of these satellites, a special tool is necessary, a software called WXtoImg (Wxtoimg, 2015), which allows the decoding and visualization in real time of the satellite images.

WXtoImg is a fully automated APT and WEFAX weather satellite (wxsat) decoder. The software supports recording, decoding, editing, and viewing on all versions of Windows, Linux, and Mac OS X. WXtoImg supports real-time decoding, map overlays, advanced colour enhancements, 3-D images, animations, multi-pass images, projection transformation (e.g. Mercator), text overlays, automated web page creation, temperature display, GPS interfacing, wide-area composite image creation and computer control for many weather satellite receivers, communications receivers, and scanners.

The process begins with the configuration of SDRSharp, establishing the appropriate configuration for the reception of each satellite's signal. It should indicate the signal source to be used, i.e. the type of receiver being used, for example: Airspy, Funcube Dongle pro, Funcube Dongle pro Plus, RTL-SDR, etc, this is to ensure that the input signal is being captured by the correct hardware.

In the Audio panel, it must establish the input and output mechanisms to work, in this case the audio input will be the same receiver hardware used (SDR). In the output, it must be ensured that the equipment's audio output is returned to it, i.e. the audio generated by SDRSharp must be converted into an input source for the WXtoImg decoding software. In this case, the type of output must be chosen as available. In this case, either a physical cable that connects from the Audio Output

Port to the equipment's Audio Input Port, or a software that works as a "virtual cable". The computer's sound card can also be used but this does not guarantee a good flow of audio information.

It is important to know the satellite operation frequency in order to follow it and receive its images. Using the SharpSDR, the frequency selection can be done either manually or automatically via plugins. Below the satellites that are in operation and their download frequency are listed:

- NOAA-15: 137,62 MHz
- NOAA-18: 137,9125 MHz
- NOAA-19: 137,1 MHz

Afterwards, the WXtoImg program must be configured, assigning the geographical point from which the satellite is being tracked. Furthermore, the Orbitron software can be used to visually track the satellite current position, in order to start acquiring the image at the right time. Orbitron TLE database updates are done while system is on-line.

When the satellite enters the viewing range of the ground station, the antenna pointing and the reception of the satellite signal are started. When the system is receiving a constant signal, the "Autorecord" facility shall be used for receiving the image in real time. In the Figure 14, a screenshot shows the reception process of an image of the satellite NOAA-19, whereby the two software are working simultaneously (SDRSharp and WXtoImg).

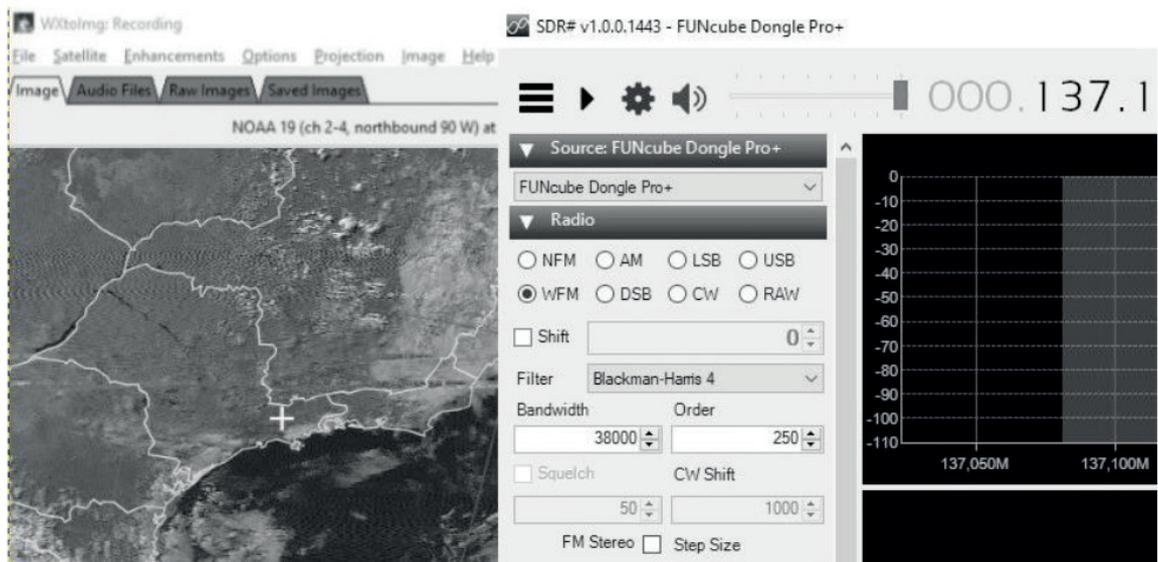


Figure 14. SDRSharp and WXtoImg working for image reception.

Figure 15 shows the final image captured on July 3, 2017, in the São Jose dos Campos city, São Paulo, Brazil, obtained from the NOAA-19 satellite.



Figure 15. Final image obtained from NOAA-19 satellite.

The WXtoImg tool allows making enhancements to each of the acquired images, to obtain the better image visualization quality. This experiment was performed using the Funcube Dongle Pro Plus receiver SDR, for more information about image acquisition processes using RTL-SDR, one can consult the tutorial available in (RTL-SDR, 2017).

#### 4 | DISCUSION AND CONCLUSION

From the results obtained, there are powerful tools for use in the aerospace sector, especially to acquire data from the satellite. These tools and their configurations, as presented in this paper, enable a work environment for easy understanding and use. Although, they may not work exactly for all low orbiting satellites or small satellites, they still constitute a means for adaptation or development of new tools that may be more portable and with better operational capabilities.

This study's motivation was to reduce the cost for monitoring mainly the downlink of smallsats projects, which mostly run on a constraint budget. Therefore, it presents the use of software tools and few hardware elements that facilitate the assembly of a simple ground station able to receive and decode the signal sent by a satellite. The material presented is one solution that was used for monitoring telemetry signal from a picosatellite named Tancredo-1 as a case study and a proof of concept.

Project participants have become aware of the information flow starting from the RF signal acquisition up to the decoded engineering-value telemetry. Still they are able to reduce tracking costs in large percentage compared to solution based on fixed stations currently available on the market depending on their cost-benefit analysis. In order to provide reliability, there is a need for further development of

better software solutions.

The software packages mentioned in this work, in conjunction with the hardware elements, allow telemetry decoding. Part of this chained processing is satellite independent and only the final stream, when the engineering values of telemetries are derived, are satellite sensitive. In this case, it is necessary to know the configuration and the structure of each of telemetry data.

Since the solution employed does not work “as is” for most satellites in orbit, further development is needed so future work will concentrate on more flexible SDR frameworks such as GNUradio.

## 5 | ACKNOWLEDGMENTS

The authors acknowledge Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES-Brazil) for supporting this research.

## REFERENCES

AEB. Nanosatélite Serpens está em órbita e tem sinais captados no brasil., São José dos Campos, 2015. Available at: < <http://www.aeb.gov.br/nanosatelite-serpens-esta-em-orbita-e-tem-sinais-captados-no-brasil/> >. Accessed in: 16 May 2017.

AIRSPY. AIRSPY LOW COST HIGH PERFORMANCE SDR - SDR Sharp. 2016. Available at: < <http://airspy.com/download/> >. Accessed in: 05 Jul 2017.

ERENO, D.; RAMOS, L. **Pequenos ganham o espaço**. São José dos Campos.: 2014.

FUNCUBE. The FUNcube Dongle Pro+: LF to L band software-defined radio. 2017. Available at: < <http://www.funcubedongle.com/> >. Accessed in: 17 May 2017.

GAUSS. Groud of Astrodymaics for the Use of the Space System. 2017. Available at: < <https://www.gaussteam.com/services/satellite-subsystem/radio/> >. Accessed in: 17 May 2017.

GNURADIO. About GNU Radio. Available at: <https://www.gnuradio.org/about/>. Accessed in: 16 Aug 2017.

INPE. NanosatC-BR1 é lançado com sucesso e estação já recebe sinais do primeiro cubesat nacional., São Jose dos Campos, 2014. Available at: < [http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=3640](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=3640) >. Accessed in: 16 May 2017.

ITA. Cubesat brasileiro lançado com sucesso da estação espacial internacional., São José dos Campos, 2015. Available at: < <http://www.ita.br/noticias14> >. Accessed in: 16 May 2017.

JUANG, J. C.; TSAI, C. T.; MIAU, J. J. A Software-Defined Radio Approach for the Implementation of Ground Station Receivers. In: (Ed.). **Small Satellites for Earth Observation**. Netherlands: Springer Verlag, 2008. cap. Book Chapter, p.293-298.

KONSTANTAS, D., BOURRIÈRES, J.-P., LÉONARD, M., BOUDJLIDA, N. (Eds.), Interoperability of Enterprise Software and Applications, 2006 Proceedings of the I-ESA Conferences, Springer-Verlag London, 2006.

LABRE. Liga de Amadores Brasileiros de Radioemissão. AMSAT-BR Tubesat Tancredo-1 é ejetado e inicia transmissões., 2017. Available at: < <http://amsat-br.org/> >. Accessed in: 27 Jun 2017.

MOXON, P. Moxon Antenna Project. 2003. Available at: < <http://www.moxonantennaproject.com/index.html> >. Accessed in: 05 Jul 2017.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration's. U. S. Department of Commerce. 2017. Available at: < <http://www.noaa.gov/satellites> >. Accessed in: 10 August.

PEAT, C. Heavens Above Application. 2015. Available at: < <http://www.heavens-above.com/> >. Accessed in: 05 Jul 2017.

PEØSAT, A. R. Information about Amateur Radio – Satellite experiments., 2015. Available at: < <http://www.pe0sat.vgnet.nl/decoding/tlm-decoding-software/dk3wn/> >. Accessed in: 05 Jul 2017.

PERALTA, D.J.M., TIKAMI, A., SANTOS, D.S., DOS SANTOS, W.A., PEREIRA, E.W.R., A Software Defined Radio Approach to Ground Operations of Small Satellites, Proc. of the 1st IAA Latin American Symposium on Small Satellites, Buenos Aires, March, 2017.

RTL-SDR. RTL-SDR Tutorial: Receiveing NOAA Weather Satellite Images. 2013. Available at: < <http://www.rtl-sdr.com/rtl-sdr-tutorial-receiving-noaa-weather-satellite-images/> >. Accessed in: 08 Jul 2017.

STOFF, S. Orbitron - Satellite Tracking System., 2005. Available at: < <http://www.stoff.pl/> >. Accessed in: 05 Jul 2017.

SUPERKUH. RTL-SDR and GNU Radio with Realtek RTL2832U [Elonics E4000/Raphael Micro R820T] software defined radio receivers., 2017. Available at: < <http://superkuh.com/rtlsdr.html> >. Accessed in: 17 May 2017.

UZ7HO. PERSONAL PAGE OF UZ7HO - The software Packet-Radio TNC. 2016. Available at: < <http://uz7.ho.ua/packetradio.htm> >. Accessed in: 05 Julho 2017.

WXTOIMG. Software to decode APT and WEFAX signals from weather satellites. 2015. Available at: < <http://www.wxtoimg.com/> >. Accessed in: 06 Julho 2017.

WYGLINSKI, A. M., OROFINO, D. P., ETTUS, M. N. and RONDEAU, T. W., "Revolutionizing software defined radio: case studies in hardware, software, and education," in IEEE Communications Magazine, vol. 54, no. 1, pp. 68-75, January 2016.

## SISTEMA DE IDENTIFICAÇÃO DE ACESSO EM AMBIENTE ESCOLAR PARA CONTROLE DE SEGURANÇA

Data de aceite: 03/12/2019

Data de submissão: 14/10/2019

**Gleison Stopassola**

Instituto Federal de Santa Catarina  
Chapecó – Santa Catarina  
<http://lattes.cnpq.br/0447383264463925>

**Alexandre Dalla’Rosa**

Instituição Federal de Santa Catarina  
Chapecó – Santa Catarina  
<http://lattes.cnpq.br/0596224519125364>

**RESUMO:** Este documento traz em seu conteúdo uma proposta de extensão, onde foi realizada a implementação de um sistema de identificação em ambiente de uma escola do município de Chapecó. Serão apresentadas as motivações que determinaram a escolha desta natureza de trabalho, bem como uma descrição do ambiente da escola em estudo. Em um segundo momento serão apresentados os elementos que foram desenvolvidos ao longo da pesquisa. Ao término do trabalho, será relacionado os resultados de forma sintetizada, bem como uma análise de seus objetivos alcançados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Controle de Acesso, Segurança Escolar, Banco de Dados, Servidor Web.

### ENVIRONMENTAL SCHOOL ACCESS IDENTIFICATION SYSTEM FOR SAFETY CONTROL

**ABSTRACT:** This document contains a security research proposal. In this work an identification system was implemented in a school environment in the city of Chapecó. The motivations that determined the choice of this nature of work will be presented, as well as a description of the school environment under study. In a second moment will be presented the elements that were developed in the research. At the end of the work the results will be summarized as well as an analysis of the objectives achieved.

**KEYWORDS:** Access Control, School Security, Database, Web Server.

### 1 | INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, com o crescente aumento da violência na sociedade, sistemas de monitoramento de segurança se tornam importantes quando é desejado realizar o controle de acesso em ambientes. Entretanto, tais sistemas são incomuns e muitas vezes inexistentes, principalmente em espaços públicos de uso coletivo.

Dentro do contexto de automação residencial, uma das áreas mais

importantes tratadas é a questão da segurança nas casas e apartamentos. Muitas tecnologias integradas com sistemas computacionais vêm sendo desenvolvidas visando garantir maior segurança nos ambientes residenciais. Equipamentos como alarmes, câmeras de vigilância, interfones, portões eletrônicos, entre outras, estão cada vez mais presentes nas residências das pessoas. (VOLPATO, 2012, p.12)

Com a atualização constante e contínuo de novas tecnologias, novos sistemas de segurança surgem, tendo em busca um aperfeiçoamento e melhoria da segurança dos ambientes. Mas como toda tecnologia recente, o preço para implantação das mesmas é elevado fazendo assim como diferentes alternativas com custos mais acessíveis sejam implementadas. Tendo como ponto de partida o supracitado, este trabalho possui como objetivos a implementação de um sistema de segurança eficaz e de baixo custo, atendendo desta forma as necessidades da Escola Realeza.

## 2 | PROBLEMÁTICA

O presente trabalho teve como motivação a identificação de uma necessidade da comunidade local, onde na Escola Básica Municipal Realeza, situada na Rua Cristino Cruz, cidade de Chapecó-SC, detectou-se uma precariedade do sistema de segurança do local. A presente instituição contava apenas com uma trava manual conforme mostrado na Figura 01, permanecendo o mesmo aberto durante o turno letivo.



Figura 01: Trava manual  
Fonte: Autoria Própria (2019)

Tal situação, dificultava a organização escolar por duas razões fundamentais: pois permitia a saída de alunos sem autorização (menores de 10 anos de idade); e também a entrada de pessoas sem autorização na escola. Estas foram as razões que resultaram em uma preocupação na comunidade escolar e com a necessidade culminado em tornar necessário um sistema de segurança.

Através identificação desta problemática e de muitas reclamações de pais e professores, uma solução para este problema foi proposto por alunos do curso de Engenharia de Controle e Automação do IFSC-Chapecó. Os quais por meio de

um projeto de extensão, se propuseram a desenvolver um sistema para garantir a segurança dos usuários deste espaço.

### 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente a equipe desenvolvedora do projeto buscou a identificação dos requisitos do sistema, observando assim a necessidade de um sistema simples e intuitivo, de forma que manutenções futuras pudessem ser realizadas pela própria instituição de ensino, sem necessidade de profissionais especializados. Além disso, o sistema deveria proporcionar um fácil acesso às pessoas autorizadas como: professores, diretores, alunos, entre outros integrantes da comunidade escolar. Além disso, este sistema deveria permitir a identificação de pessoas não autorizadas.

Tendo em vista os objetivos principais deste projeto, iniciou-se o estudo buscando as opções possíveis de solução dos problemas de segurança.

Após várias reuniões e discussões, chegou-se a uma possível solução dividida em duas partes principais: Desenvolvimentos do Software e Instalação Elétrica.

#### 3.1 Instalação elétrica

A primeira meta do projeto foi a implementação de uma fechadura magnética, que conta com um sistema de telefonia interna, alocado no portão de entrada do estabelecimento (Figura 02).



Figura 02: Fechadura magnética

Fonte: A autoria Própria (2019)

Quando acionado por um usuário não cadastrado no sistema de segurança, o

sistema de comunicação realiza o contato com um responsável, onde esta pessoa poderá realizar a liberação manual mediante avaliação.

Esta primeira etapa do projeto é bastante simples, e tem como objetivo dar liberdade de escolha aos responsáveis. Com esta etapa implementada, os responsáveis da escola não necessitam mais realizar um contato físico com quem quer acesso as dependências da escola, realizando a devida identificação por meio de uma telefonia interna e a liberação do acesso por meio de um botão. Esta liberação do acesso é realizada através de uma espécie de “*by-pass*” do sistema de segurança, onde ao pressionar um botão (Figura 03), um sinal elétrico é enviado até a fechadura eletrônica o qual realiza seu desacoplamento e conseqüentemente liberação da entrada.



Figura 03: Fechadura magnética

Fonte: Autoria Própria (2019)

### 3.2 desenvolvimento do software

Com o objetivo de não dificultar o acesso de pessoas autorizadas, um software foi desenvolvido. Inicialmente para a realização da identificação dos indivíduos que possuíam acesso ao ambiente, foi proposta a utilização do conjunto de “*bottons*” e leitor *RFID*, onde cada professor e aluno teria seu próprio identificador, realizando assim o controle. Entretanto, tratando-se de um ambiente escolar infantil onde seus alunos são menores de 10 anos e o fluxo de professores é elevado, o percentual de perdas e trocas desses “*bottons*” seria muito grande, gerando um certo custo para a instituição de ensino.

Em reunião com diretores da escola decidiu-se que a identificação mais eficiente para este ambiente seria através login e senha. Tendo em vista isso, um teclado matricial foi instalado ao lado do portão de entrada, como mostrado na Figura 04.



Figura 04: Teclado matricial e botão de acionamento do sinal sonoro

Fonte: Autoria Própria (2019)

Pode-se observar também a presença de um botão abaixo do teclado matricial, o qual quando pressionado aciona um sinal sono dentro da sala da direção. Local ao qual, está o responsável pela liberação da entrada do indivíduo.

Por solicitação da escola, os computadores da instituição não poderiam ser utilizados para a implementação deste software, surgindo assim a necessidade da utilização de um microcontrolador embarcado. Em levantamento, observou-se que o controlador embarcado que possuía melhor custo benefício, seria o Raspberry Pi. Este tipo de microcontrolador possui um sistema operacional possibilitando a implementação de um banco de dados, além da possibilidade da utilização de sinais de portas de entrada e saída para realizar o destravamento da fechadura magnética.

Para um entendimento melhor do funcionamento do sistema, a Figura 05 apresenta um fluxograma do processo.

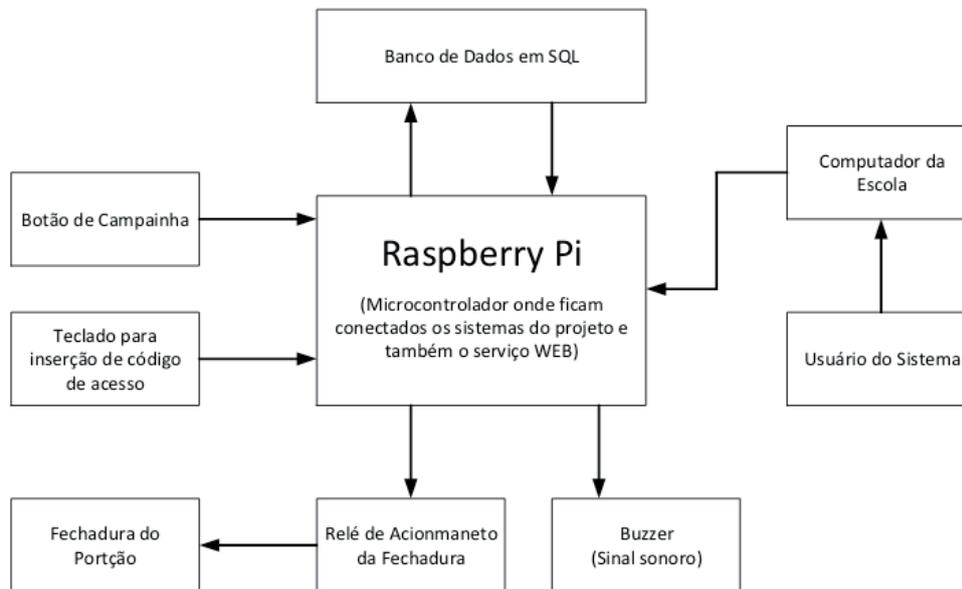


Figura 05: Etapas do sistema de identificação de acesso

Fonte: Autoria Própria (2019)

Como observado no fluxograma acima, o login e senhas digitados no teclado matricial, são interpretados pelo microcontrolador.

Para realizar esta leitura desenvolveu-se um programa em linguagem de programação Python, linguagem a qual é muito difundida devido ser de código aberto e de sintaxe moderna e enxuta.

Além de ser utilizado como linguagem principal no desenvolvimento de sistemas, o Python também é muito utilizado como linguagem *script* em vários softwares, permitindo automatizar tarefas e adicionar novas funcionalidades, entre eles: BrOFFICE.ORG, PostgreSQL, Blender, GIMP e Inkscape. (BORGES, 2010, p.13)

Após realizar a leitura destes dados, o programa realiza uma verificação no banco de dados *MYSQL* e realiza a verificação da existência de um usuário com informações compatíveis. Havendo compatibilidade entre as informações, um sinal elétrico é enviado para o relé de acionamento da fechadura, que quando acionado possibilita a abertura do portão por um período defendido de 15 segundos. Além disso, os dados do usuário e a hora da liberação do portão são registrados no banco de dados, possibilitando futuras análises.

Outra necessidade observada no projeto foi a possibilidade de cadastro de novos usuários, assim como a visualização dos dados de acesso, o que tornou necessário o desenvolvimento de um servidor web.

Assim como o banco de dados, o servidor web também foi alocado dentro do próprio controlador, podendo acessar sua página web através de um browser (Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge, etc.).

O site web desenvolvido possui aplicação local, ou seja, somente pode ser

acessado dentro da rede local, fornecendo assim, uma maior segurança ao software. Como a realização de novos cadastros e visualização de dados de acesso não podem ser realizados por qualquer indivíduo que tenha acesso à rede local, uma tela de Login foi desenvolvida, para restringir esses acessos. A Figura 06 segue a tela inicial do site.



Figura 06: Tela de login do site web.

Fonte: Autoria Própria (2019)

Ao realizar o login, o usuário deste site é transferido para uma tela de menus, como visto na Figura 07. É a partir desta tela que o usuário poderá realizar diversas ações, tais como: Cadastro e alteração de senha de usuário, alteração do login e senha do site web, e ainda realizar consulta dos horários de entrada de cada usuário.

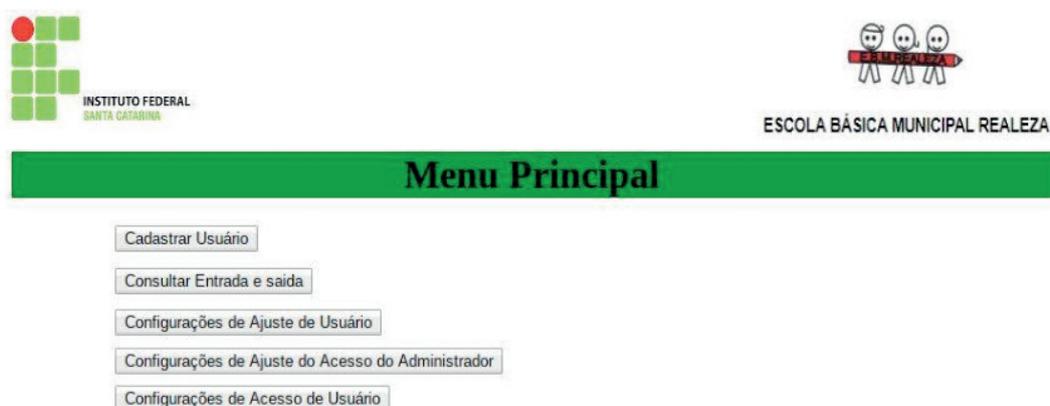


Figura 07: Menu principal do site web.

Autoria Própria (2019)

Para realizar esta consulta dos horários, o administrador pode realizar uma busca por data, definindo o período de consulta, e obtendo como retorno, todos os usuários que adentraram a este ambiente durante este período. Mas também a busca pode ser realizada pelo nome do usuário, retornando uma lista com todos os seus registros de entrada, a Figura 08 demonstra o retorno deste tipo de consulta.

## Dados do servidor

Voltar ao Menu Voltar à página Anterior

ID	NOME	ENTRADA/SAÍDA
1	Gleison	2018-12-18 11:42:38
1	Gleison	2018-12-18 11:45:40
1	Gleison	2018-12-18 11:59:23
1	Gleison	2018-12-18 12:29:10
1	Gleison	2018-12-18 12:30:02

Figura 08: Registro de acesso de usuário do sistema

Fonte: Autoria Própria (2019)

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o término de todas as instalações e implementações necessários, um curso foi ministrado pelos arquitetos do projeto, tendo como objetivo ensinar os usuários a realizar a manipulação adequada do sistema.

Juntamente com a finalização do projeto, um manual do software foi desenvolvido e entregue aos responsáveis da instituição.

Este manual, contém o passo a passo da estruturação do site web, assim como um explicativo de como navegação de todas as suas telas.

É válido ressaltar que houve um aumento na segurança do ambiente, devido ao sistema ser capaz de identificar os indivíduos que ali acessam.

Além disso, com a utilização desse sistema houve uma melhoria do ambiente escolar, mais agradável e seguro para a vivência.

Com a implementação deste sistema, muitas pessoas foram beneficiadas, tanto como pais, professores, crianças e a comunidade em geral.

Os integrantes deste projeto também foram beneficiados já que puderam colocar em prática seus conhecimentos adquiridos em sua graduação, além de permitir o aprimoramento dos mesmos.

## REFERÊNCIAS

BORGES, Luiz Eduardo. **Python para Desenvolvedores**. Rio de Janeiro: Edição do Autor, 2010. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3252265/mod\\_resource/content/1/b\\_Borges\\_Python\\_para\\_desenvolvedores\\_2ed.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3252265/mod_resource/content/1/b_Borges_Python_para_desenvolvedores_2ed.pdf). Acesso em: 08 out. 2019.

VOLPATO, Luan César Souza. **Sistema de segurança residencial integrado com aplicativo**

**para smartphone.** Florianópolis: UFSC, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/166363/PFC-20121-LuanCesarSouzaVolpato.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05 out. 2019.

TEREZA, V. R. **Alguns aspectos sobre a automação residencial-domótica.** Dissertação de Mestrado. UFSC,2002.

## 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*).

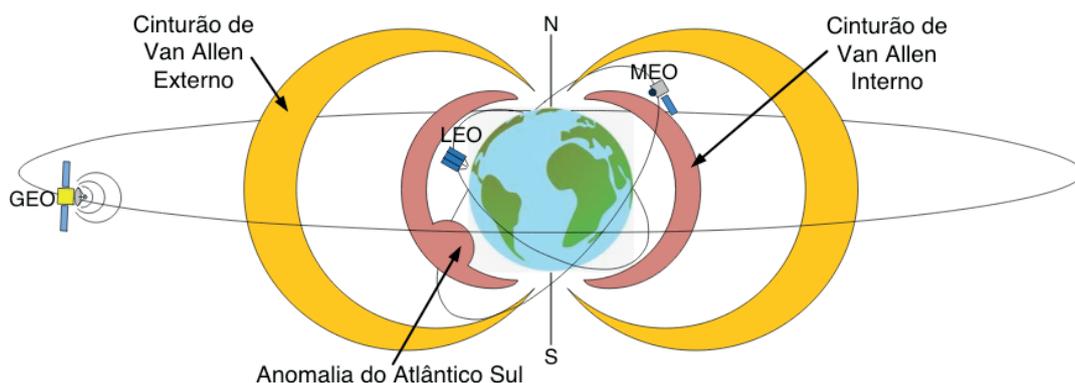


Figura 1: Representação do Cinturão de Van Allen.

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.

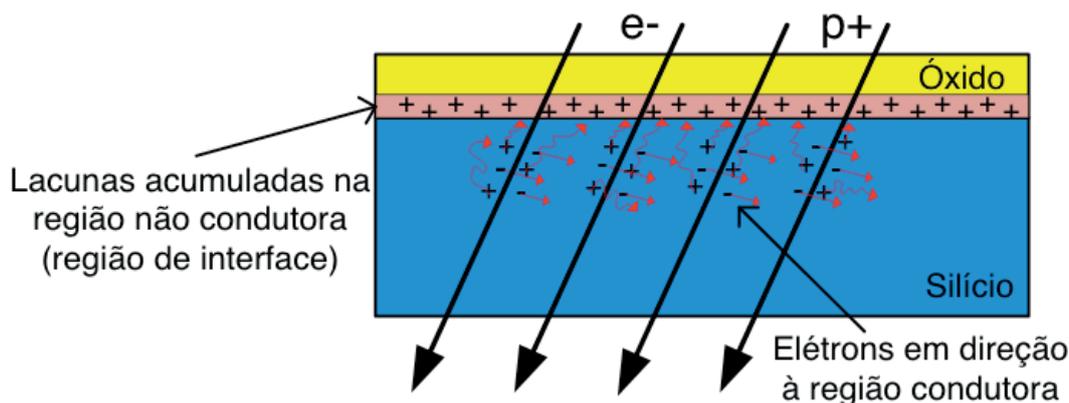


Figura 2: Esquema representativo da Dose Ionizante Total (TID).

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.

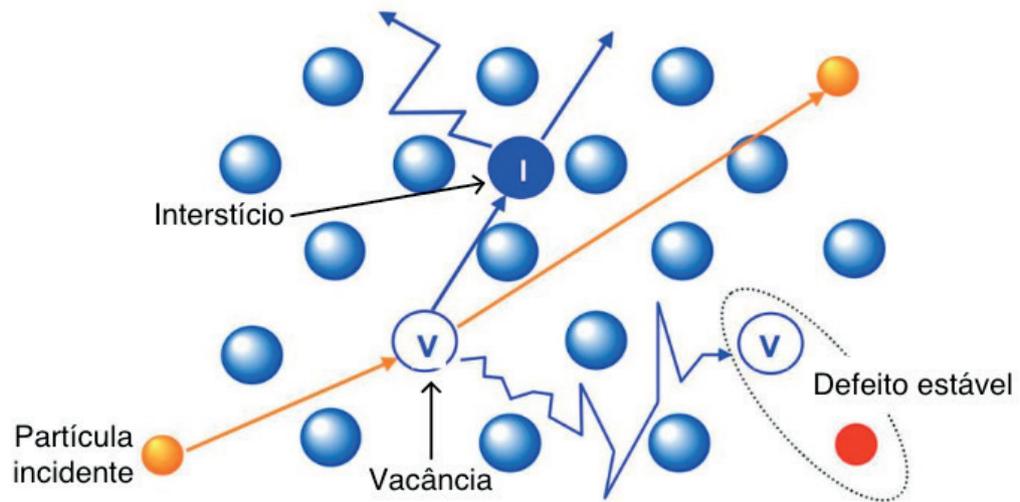


Figura 3: Esquema representativo da Dose de Dano de Deslocamento (DDD).

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.

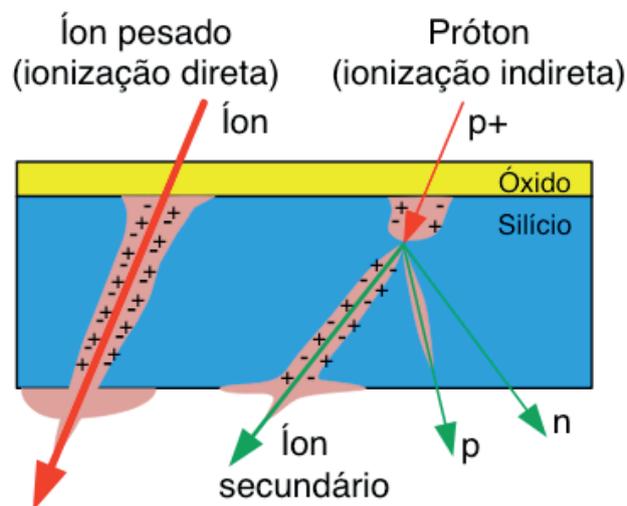


Figura 4: Esquema representativo do Efeito de Evento Único (SEE).

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.

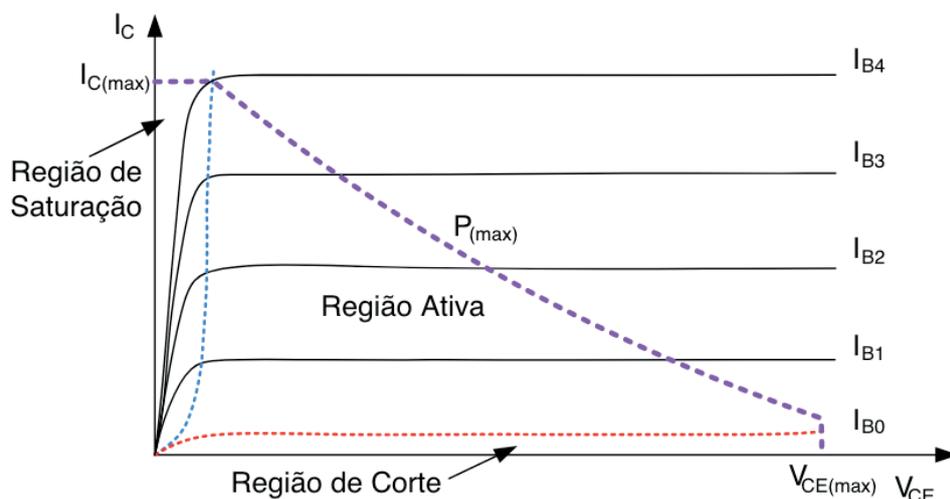


Figura 5: Regiões de operação do transistor.

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).

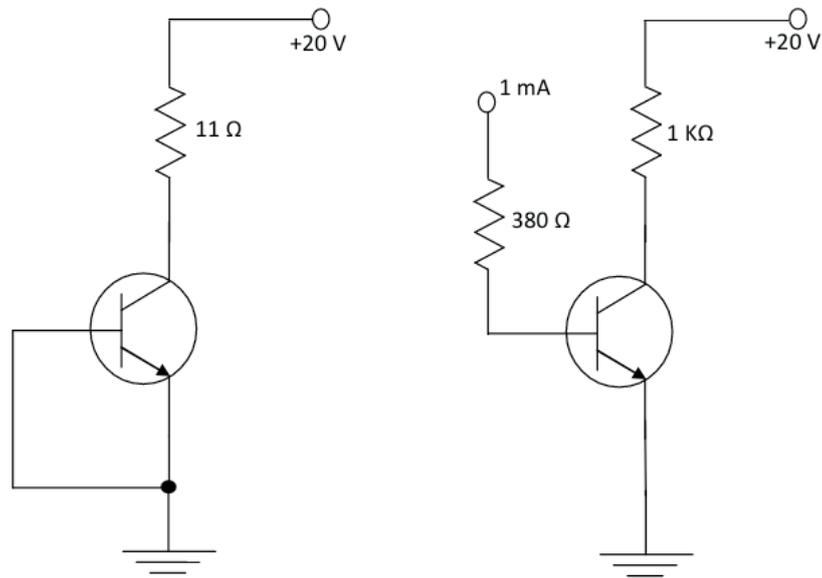


Figura 7: Polarização nas condições respectivamente OFF e ON para o ensaio TID.

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.

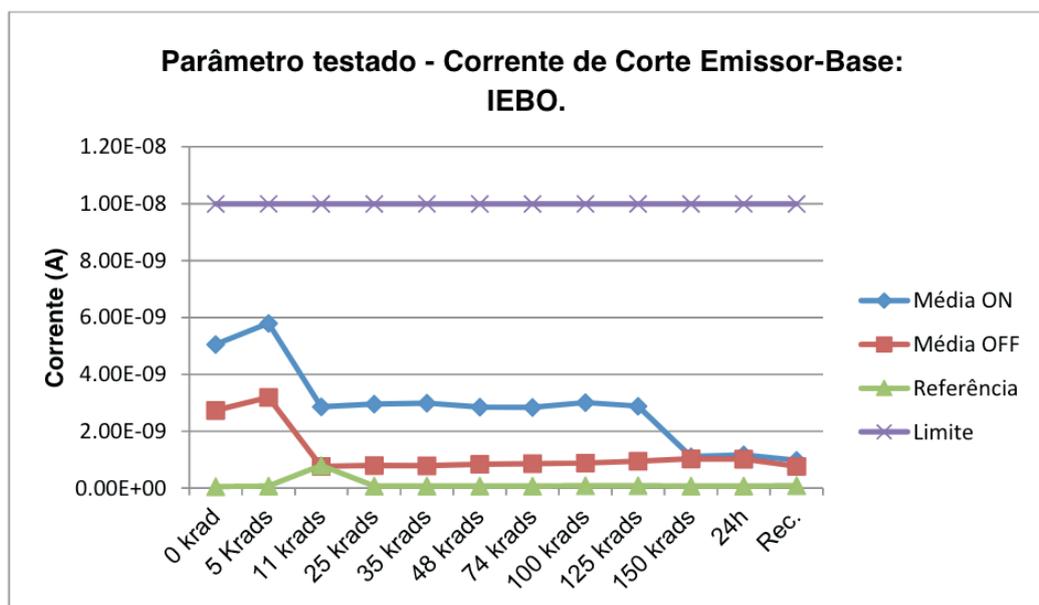


Figura 8: Gráfico do parâmetro Corrente de Corte Emissor-Base.

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.

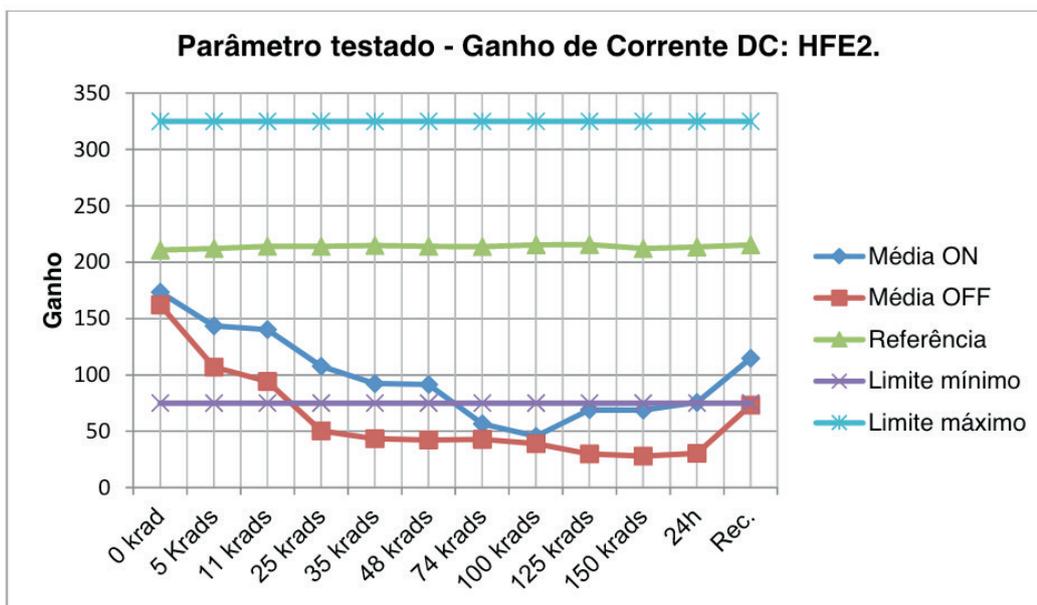


Figura 9: Gráfico do parâmetro de Ganho de Corrente DC.

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.

## UM BREVE ESTUDO SOBRE AS CÔNICAS E SUAS APLICAÇÕES

Data de aceite: 03/12/2019

### Wendell de Queiróz Lamas

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia  
de Lorena  
Lorena – São Paulo

### Giorgio Eugenio Ocare Giacaglia

Universidade de Taubaté, Departamento de  
Engenharia Mecânica  
Taubaté – São Paulo

**RESUMO:** Este trabalho apresenta uma pesquisa bibliográfica com abordagem qualitativa cujo objetivo é apresentar as principais características dos temas relacionados às cônicas. Foram, também, apresentadas aplicações das seções cônicas em diversas áreas da engenharia, corroborando sua importância e eficiência nos projetos nos quais tal conhecimento é utilizado.

**PALAVRAS-CHAVE:** álgebra linear, geometria analítica, seções cônicas.

### A BRIEF STUDY ON CONICS AND THEIR APPLICATIONS

**ABSTRACT:** This work presents a qualitative bibliographic research whose objective is to present the main characteristics of the themes related to conics. Applications of conical

sections in various engineering areas were also presented, corroborating their importance and efficiency in projects in which such knowledge is used.

**KEYWORDS:** analytical geometry, conical sections, linear algebra.

### 1 | INTRODUÇÃO

Os primeiros estudos sobre a geometria remontam à Grécia antiga, onde, apesar da genialidade dos pensadores da época, a matemática não estava preparada para fornecer conhecimento com a estrutura hoje apresentada. Porém, o geômetra Apolônio de Perga (262 a.C.-194 a.C) já escrevera uma obra bem aprofundada sobre as cônicas, constando de oito volumes sobre o tema (BOYER, 1996).

No século XVI, surgem avanços nos estudos da matemática e afins, os quais proporcionaram, mais especificamente por meio, ou melhor, com a associação à álgebra, que a geometria alcançasse a forma de conhecimento que se tem nos dias atuais (GARNICA; SOUZA, 2012).

Nesse quadro geral, René Descartes (1596-1650) e Pierre de Fermat (1601-1665), curiosamente ambos formados em direito, que possibilitaram a formalização do estudo das

quádricas a partir da definição dos espaços de primeira ordem ( $\mathbb{R}$ ), por meio da equação do primeiro grau que, no plano, representa uma reta, e de segunda ordem ( $\mathbb{R}^2$ ), por meio da equação do segundo grau que, no plano, representa uma cônica (DOMINGUES, 2013).

Portanto, se denominam as secções cônicas, curvas originadas de cortes em cones, como sendo o lugar geométrico dos pontos do  $\mathbb{R}^2$  cujas coordenadas  $(x, y)$ , com relação à base canônica, satisfazem à equação do segundo grau, Eq. (BARISON, 2018).

$$ax^2 + by^2 + 2cxy + dx + ey + f = 0 \quad (1)$$

## 2 | METODOLOGIA

Este trabalho conta com uma abordagem qualitativa, haja vista que apresenta somente um resumo das principais características das secções cônicas. Este estudo não conta com caráter empírico, tampouco fora realizado em campo. Assim sendo, conta apenas com apoio bibliográfico. Há precedentes da natureza do trabalho, pois a finalidade do mesmo se remete a uma breve revisão da literatura sobre o tema, com o objetivo de descrever um resumo que sirva de início e de orientação básica no estudo sobre as secções cônicas.

## 3 | SECÇÕES CÔNICAS

Em geometria, chama-se de secção cônica, ou simplesmente de cônica, a qualquer curva produzida pela intersecção de um plano e um cone circular. Dependendo do ângulo relativo entre o plano e o cone, a intersecção pode ser uma circunferência, uma elipse, uma hipérbole ou uma parábola, conforme ilustrado na Figura 1 (TAISBAK, 2018).

Uma circunferência, ou círculo, é uma forma fechada simples, formada quando o ângulo relativo entre o cone e o plano é igual a zero.

Segundo Euclides,

Um círculo é uma figura plana delimitada por uma linha e tal que todas as linhas direitas, desenhadas a partir de um determinado ponto dentro dela, até a linha delimitadora, são iguais. A linha delimitadora é chamada sua circunferência e o ponto, seu centro. (DODGSON, 1883, p. 4)

Quando um plano atravessa a superfície de um cone, nessa intersecção, tem-se uma elipse.

A parábola também é definida na intersecção de um plano que penetra

obliquamente a superfície de um cone.

A hipérbole é definida na interseção de um plano que penetra um cone em paralelo ao seu eixo.

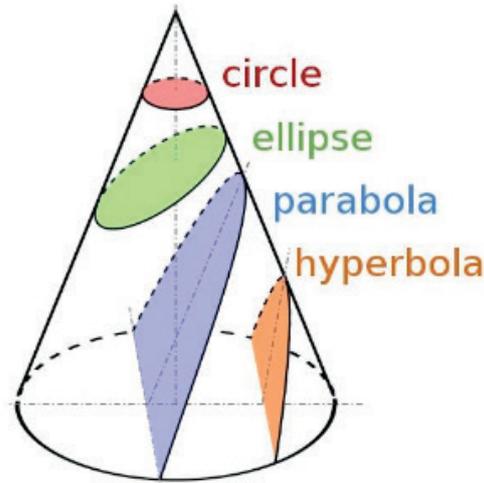


Figura 1. Seções cônicas (TAISBAK, 2018).

Vários parâmetros estão associados a uma seção cônica. Sendo que o eixo principal é a linha que une os focos de uma elipse ou hipérbole, e o centro, nesses casos, é o ponto médio do segmento de linha que une os focos. Algumas das outras características comuns e/ou parâmetros de cônicas são dadas a seguir (AKOPYAN; ZASLAVSKY, 2007).

Excentricidade é um parâmetro comum a toda seção cônica, representado por um número real, que significa a medida de o quanto uma seção cônica se desvia de ser circular.

A Tabela 1 lista as equações e a excentricidade das seções cônicas.

Cônica	Tipo	Equação	Excentricidade (e)
Circunferência		$x^2 + y^2 = a^2$	0
Elipse	centro na origem e eixo maior horizontal	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$	$\sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$
	centro na origem e eixo maior vertical	$\frac{y^2}{a^2} + \frac{x^2}{b^2} = 1$	
Hipérbole	centro na origem e focos no eixo $Ox$	$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$	$\sqrt{1 + \frac{b^2}{a^2}}$
	centro na origem e focos no eixo $Oy$	$\frac{y^2}{b^2} - \frac{x^2}{a^2} = 1$	

Parábola	vértice na origem, concavidade para a direita e eixo de simetria horizontal	$y^2 = 2px$	1
	vértice na origem, concavidade para a esquerda e eixo de simetria horizontal	$y^2 = -2px$	
	vértice na origem, concavidade para cima e eixo de simetria vertical	$x^2 = 2py$	
	vértice na origem, concavidade para baixo e eixo de simetria vertical	$x^2 = -2py$	

Tabela 1. Parâmetros das secções cônicas (AKOPYAN; ZASLAVSKY, 2007).

A elipse tem uma série de elementos constituintes que estão identificados na Figura 2.

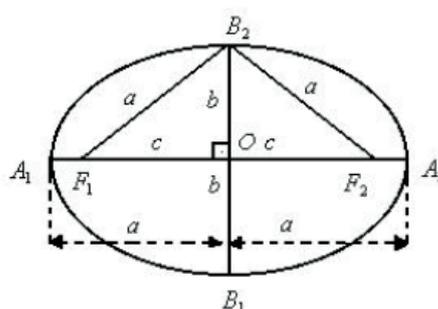


Figura 2. Detalhamento de uma elipse (SÓ MATEMÁTICA, 2018).

Da Figura 2, tem-se os elementos descritos a seguir: **focos**: os pontos  $F_1$  e  $F_2$ ; **centro**: o ponto  $O$ , que é o ponto médio de  $\overline{F_1F_2}$ ; **semi-eixo maior**:  $a$ ; **semi-eixo menor**:  $b$ ; **semi-distância focal**:  $c$ ; **vértices**: os pontos  $A_1, A_2, B_1, B_2$ ; **eixo maior**:  $|A_1A_2| = 2a$ ; **eixo menor**:  $|B_1B_2| = 2b$ ; **distância focal**:  $|F_1F_2| = 2c$ .

As elipses podem ser representadas com seu centro na origem e o eixo maior sendo horizontal (Figura 3) ou vertical (Figura 4).

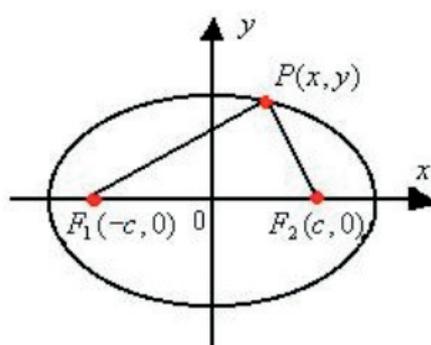


Figura 3. Elipse com centro na origem e eixo maior horizontal (SÓ MATEMÁTICA, 2018).

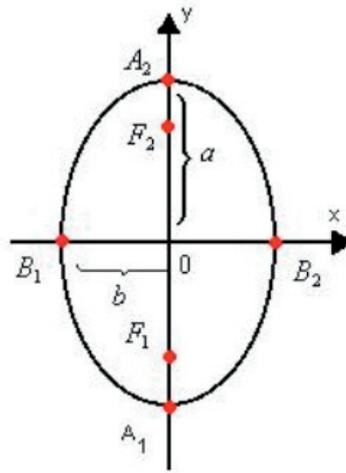


Figura 4. Elipse com centro na origem e eixo maior vertical (SÓ MATEMÁTICA, 2018).

A hipérbole tem uma série de elementos que estão identificados na Figura 5.

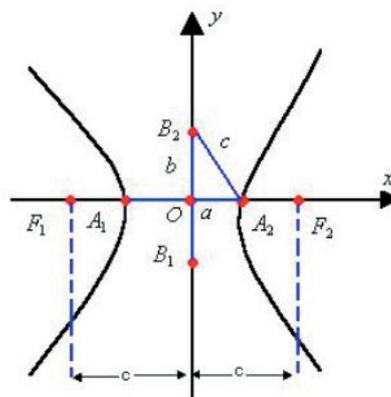


Figura 5. Detalhamento de uma hipérbole (SÓ MATEMÁTICA, 2018).

Da Figura 5, tem-se os elementos descritos a seguir: **focos:** os pontos  $F_1$  e  $F_2$ ; **vértices:** os pontos  $A_1$  e  $A_2$ ; **centro da hipérbole:** o ponto  $O$ , que é o ponto médio de  $\overline{A_1A_2}$ ; **semi-eixo real:**  $a$ ; **semi-eixo imaginário:**  $b$ ; **semi-distância focal:**  $c$ ; **distância focal:**  $|F_1F_2| = 2c$ ; **eixo real:**  $|A_1A_2| = 2a$  (contém os focos); **eixo menor:**  $|B_1B_2| = 2b$  ( $b > 0$  e tal que  $a^2 + b^2 = c^2$  - relação fundamental).

Para fins de uma melhor compreensão, dois casos serão considerados a seguir: hipérbole com centro na origem e focos no eixo  $Ox$  (Figura 6) e hipérbole com centro na origem e focos no eixo  $Oy$  (Figura 7).

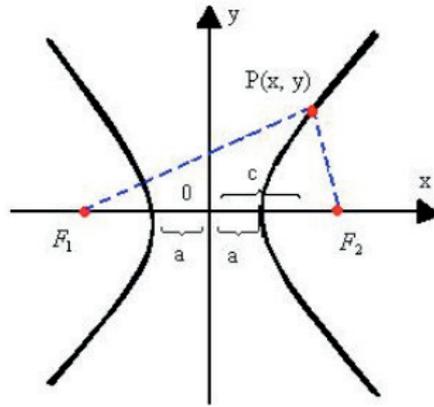


Figura 6. Hipérbole com centro na origem e focos no eixo  $Ox$  (SÓ MATEMÁTICA, 2018).

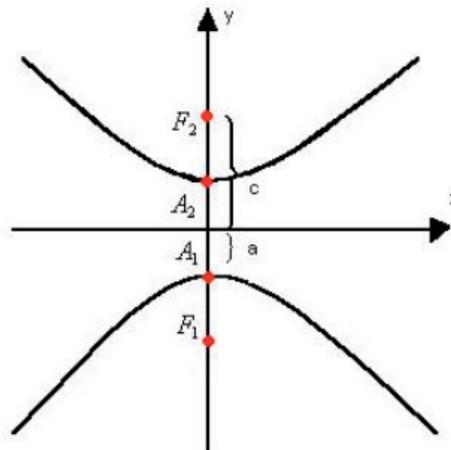


Figura 7. Hipérbole com centro na origem e focos no eixo  $Oy$  (SÓ MATEMÁTICA, 2018).

Uma hipérbole é chamada equilátera quando as medidas dos semi-eixos real e imaginário são iguais, Figura 8.

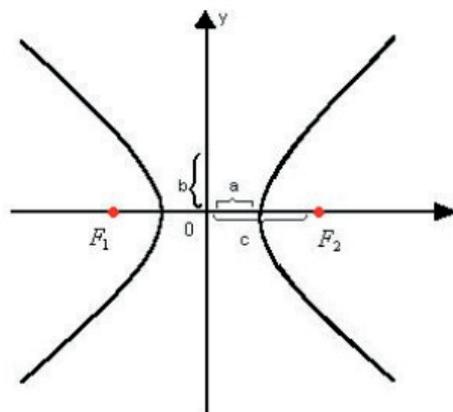


Figura 8. Caracterização de uma hipérbole equilátera (SÓ MATEMÁTICA, 2018).

**Assíntotas são retas que contêm as diagonais do retângulo de lados  $2a$  e  $2b$  de uma hipérbole.**

Quando o eixo real é horizontal, o coeficiente angular dessas retas é  $m = \pm \frac{b}{a}$

; quando é vertical, o coeficiente é  $m = \pm \frac{a}{b}$ .

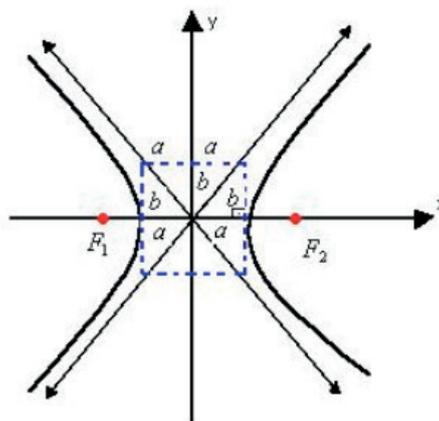


Figura 9. Assíntotas de uma hipérbole equilátera (SÓ MATEMÁTICA, 2018).

Para fins de uma melhor compreensão, dois casos serão considerados a seguir: Eixo real horizontal e  $C(0, 0)$  (Eq. (2)); e Eixo vertical e  $C(0, 0)$  (Eq. (3)).

$$y = \pm \frac{b}{a} x \tag{2}$$

$$y = \pm \frac{a}{b} x \tag{3}$$

A Figura 10 ilustra pontos distribuídos em uma elipse pertencente ao plano  $\alpha$ .

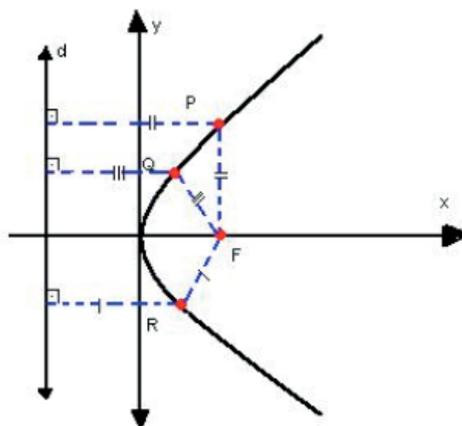


Figura 10. Pontos de uma parábola no plano (SÓ MATEMÁTICA, 2018).

A parábola tem uma série de elementos que estão identificados na Figura 11.

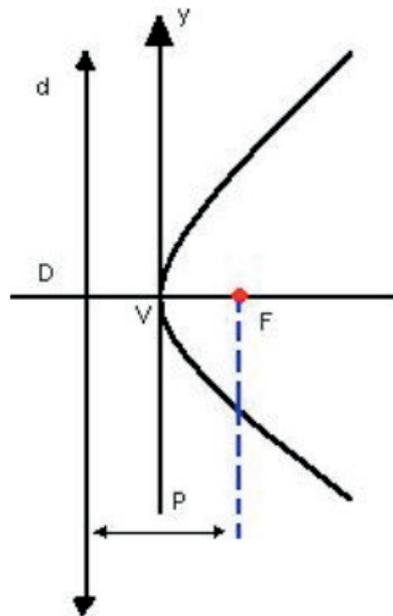


Figura 11. Detalhamento de uma parábola (SÓ MATEMÁTICA, 2018).

Da Figura 11, tem-se os elementos descritos a seguir: **foco**: o ponto  $F$ ; **diretriz**: a reta  $d$ ; **vértice**: o ponto  $V$ ; **parâmetro**:  $p$ .

Para fins de uma melhor compreensão, quatro casos serão considerados a seguir: parábola com vértice na origem, concavidade para a direita e eixo de simetria horizontal (Figura 12), parábola com vértice na origem, concavidade para a esquerda e eixo de simetria horizontal (Figura 13), parábola com vértice na origem, concavidade para cima e eixo de simetria vertical (Figura 14), parábola com vértice na origem, concavidade para baixo e eixo de simetria vertical (Figura 15).

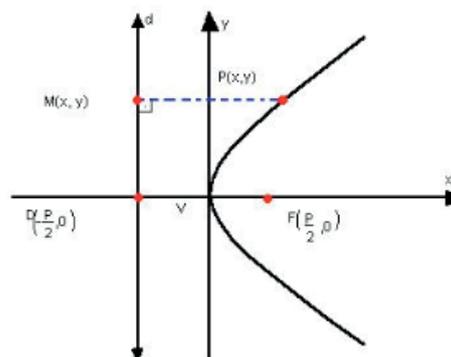


Figura 12. Parábola com vértice na origem, concavidade para a direita e eixo de simetria horizontal (SÓ MATEMÁTICA, 2018).

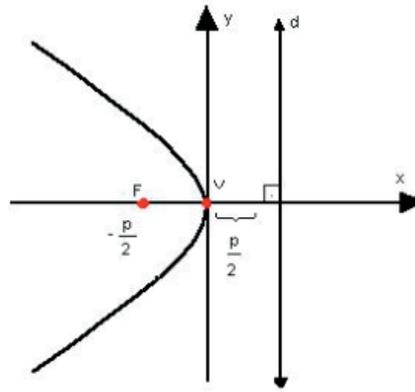


Figura 13. Parábola com vértice na origem, concavidade para a esquerda e eixo de simetria horizontal (SÓ MATEMÁTICA, 2018).

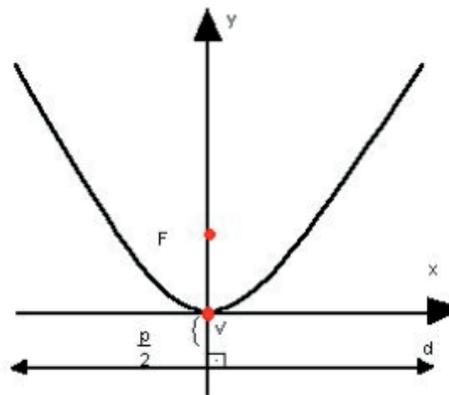


Figura 14. Parábola com vértice na origem, concavidade para cima e eixo de simetria vertical (SÓ MATEMÁTICA, 2018).

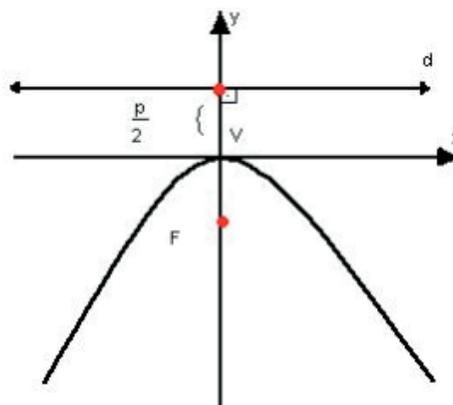


Figura 15. Parábola com vértice na origem, concavidade para baixo e eixo de simetria vertical (SÓ MATEMÁTICA, 2018).

#### 4 | ALGUMAS APLICAÇÕES DAS CÔNICAS

O interesse pelo estudo das cônicas vem de épocas há muito distas. De fato, essas curvas desempenham um papel importante em vários domínios da física, incluindo a astronomia, na economia, na engenharia e em muitas outras situações.

Isso explica por que o interesse pelo seu estudo seja tão antigo.

A seguir, se relacionarão algumas situações onde tais curvas aparecem.

O feixe de luz emitido por uma lanterna direcionada para uma parede desenhará nessa parede uma curva cônica. Esse fato se dá porque o feixe de luz emitido pela lanterna forma um cone e, também, porque a parede funciona como um plano que corta o cone formado. Dependendo da inclinação da lanterna com relação à parede, se obterá uma circunferência, uma elipse, uma parábola ou uma hipérbole.

Certos candeeiros de cabeceira, cujo quebra luz (abajur) é aberto segundo uma circunferência, desenharam na parede uma hipérbole e no teto uma elipse. De fato, os projetistas da área de iluminação usam essa informação, entre outras, para construir candeeiros, lanternas, etc.

O deslocamento de ar provocado pelo som emitido por um avião a jato supersônico tem o formato de um cone e forma uma curva cônica. Assim, dependendo da inclinação do avião com relação ao solo, se obtêm elipses, parábolas ou hipérbolas. A audiometria usa esse fato, entre outros, para saber a que distância do solo o avião pode ultrapassar a velocidade do som.

A superfície formada pela água dentro de um copo é elíptica, sendo circular apenas no caso em que o copo esteja alinhado com o nível, na horizontal. Se o copo for agitado com um movimento rotativo sobre si próprio, a superfície do líquido nele inserido será a de um parabolóide. Essa técnica é frequentemente usada para se obter esse tipo de superfície.

Na astronomia, Kepler mostrou que os planetas do sistema solar descrevem órbitas elípticas, as quais têm o Sol em um dos focos, Figura 16.

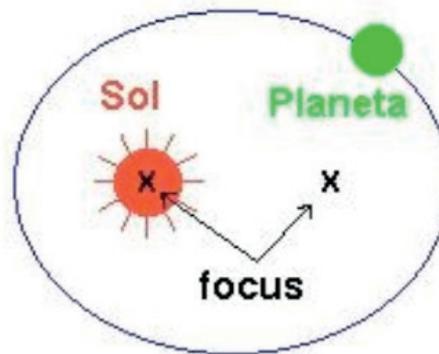


Figura 16. Planeta com órbita elíptica ao redor do Sol (OLIVEIRA; VARANDAS, 1999).

A exemplo do planeta da Figura 16, a Terra descreve uma trajetória elíptica em torno do Sol, que é um dos focos dessa trajetória.

A Lua em torno da Terra e os demais satélites em relação a seus respectivos planetas também apresentam esse comportamento. Também os satélites artificiais enviados para o espaço percorrem trajetórias elípticas. Mas nem todos os objetos que circulam no espaço têm órbitas elípticas.

Existem cometas que percorrem trajetórias hiperbólicas, os quais ao passarem perto de algum planeta com grande densidade, alteram a sua trajetória para outra hipérbole com um foco situado nesse planeta. Há também aqueles cometas cujas trajetórias são parábolas, sendo que o Sol ocupa o foco. O cometa de Halley segue uma órbita elíptica, tendo o Sol como um dos focos.

Como a parábola é um caso de equilíbrio entre a elipse e a hipérbole (a excentricidade da parábola é igual a um), a probabilidade de existir algum satélite com órbita parabólica é quase nula. Mas isso não impede a existência de satélites com essa trajetória.

Os telescópios refletores mais simples têm espelhos com secções planas parabólicas.

A superfície de um líquido contido em um cilindro que gira em torno de seu eixo com velocidade constante é parabólica.

Também as trajetórias dos projéteis, em um ambiente sob a ação da força de gravidade, são parabólicas. Já no ambiente terrestre, onde existe a resistência do ar, essas trajetórias são elípticas, mais propriamente, arcos de elipses. No entanto, por vezes, as diferenças entre as trajetórias elípticas e as parabólicas são quase indiscerníveis, pelo que, pode-se facilmente verificar tais fatos tomando atenção ao jato de água de uma mangueira, cuja abertura está inclinada para cima. A balística, ciência que estuda as trajetórias de projéteis, faz uso desse fato para determinar o local da queda de um projétil.

No estudo dos átomos, um campo da Física e da Química, as órbitas dos elétrons em torno do núcleo são elípticas.

Fazendo uso da propriedade refletora da parábola, Arquimedes construiu espelhos parabólicos, os quais por refletirem a luz solar para um só ponto, foram usados para incendiar os barcos romanos quando das invasões de Siracusa.

Esse mesmo princípio é utilizado pelas antenas parabólicas, onde, ao contrário do calor, concentram-se micro-ondas que são refletidas para uma determinada posição logo a cima de sua superfície, onde um equipamento chamado LNB (*Low Noise Block converter*), que fica "apontado" para um satélite que transmite o sinal que se deseja capturar.

De fato, as propriedades refletoras das cônicas têm contribuído para a construção de telescópios, antenas, radares, faróis, ópticas dos carros, lanternas etc. Na verdade, alguns dos objetos mencionados também obedecem à propriedade refratora das cônicas. Como exemplo de objetos mais comuns que usam tal propriedade, estão os óculos graduados, as lupas e os microscópios.

A partir da propriedade refletora das parábolas, os engenheiros civis construíram pontes de suspensão parabólica, conforme a ilustrada na Figura 17.



Figura 17. Construção de uma ponte com suspensão parabólica (OLIVEIRA; VARANDAS, 1999).

Ao imaginar os cabos que prendem o tabuleiro da ponte como raios de luz, facilmente se verifica que o cabo principal, aquele que passa pelos pilares da ponte, tem a forma de uma parábola.

As extremidades das asas do famoso avião britânico *Spitfire*, usado com grande sucesso na II Guerra Mundial, eram arcos de elipses, conforme se pode observar na Figura 18.



Figura 18. Um grupo de aviões *Spitfire* que foram cruciais para a defesa da Inglaterra em 1940.

(Fonte: WikiPhotos)

Embora a razão da sua escolha se prenda ao fato de se obter mais espaço para transportar munições, esse tipo de asa diminuía a resistência do ar, favorecendo melhores manobras ao avião em voo.

O sistema de localização de barcos denominado por LORAN (*Long Range Navigation*), faz uso das hipérbolas confocais, onde os radares estão nos focos. A ideia

é baseada na diferença de tempo da recepção dos sinais emitidos simultaneamente pelos dois pares de radares, sendo um dos radares comuns aos dois pares. O mapa assim construído apresenta curvas hiperbólicas. Essa técnica foi usada na II Guerra Mundial, para detectar barcos japoneses.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se que há uma vasta literatura voltada ao estudo das secções cônicas, em nível de ensino médio e de ensino superior, que propiciariam um extenso trabalho a respeito do assunto e o alcance de um maior detalhamento.

As aplicações práticas das secções cônicas também são vastas e podem ser observadas em nosso cotidiano. Viu-se que a observação de tais aplicações e o seu uso vem de longa data e nas mais variadas áreas.

## 6 | AGRADECIMENTOS

Dr. Wendell de Queiróz Lamas agradece por sua bolsa de Produtividade em Pesquisa (PQ), concedida pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio do processo número 300992/2018-1.

Dr. Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia agradece por sua bolsa de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora (DT), concedida pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio do processo número 314689/2018-4.

## REFERÊNCIAS

AKOPYAN, A. V.; ZASLAVSKY, A. A. **Geometry of Conics**. Providence, RI: American Mathematical Society, 2007.

BARISON, M. B. **Curvas Cônicas** Londrina, PRUEL, , 2018. . Disponível em: <[http://www.uel.br/cce/mat/geometrica/php/dg/dg\\_9t.php](http://www.uel.br/cce/mat/geometrica/php/dg/dg_9t.php)>.

BOYER, C. B. **História da Matemática**. 2. ed. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 1996.

DODGSON, C. E. **Euclid - Books I, II**. 2. ed. London, England, UK: Macmillan, 1883.

DOMINGUES, H. H. **A Geometria Analítica, Fermat e Descartes**. Disponível em: <<https://www.obaricentrodamente.com/2013/06/a-geometria-analitica-fermat-e-descartes.html>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

GARNICA, A. V. M.; SOUZA, L. A. de. **Elementos de História da Educação Matemática**. São Paulo, SP: Cultura Acadêmica, 2012.

OLIVEIRA, H.; VARANDAS, J. M. **Cônicas: Aplicações**. Disponível em: <<http://www.educ.fc.ul.pt/icm/icm99/icm26/aplicacoes.htm>>. Acesso em: 20 out. 2018.

SÓ MATEMÁTICA. **Geometria Analítica - Cônicas**. Disponível em: <<https://www.somatematica.com.br/emedio/conicas/conicas.php>>. Acesso em: 18 out. 2018.

TAISBAK, C. M. **Conic Section (Geometry)**. Encyclopædia Britannica, Inc., , 2018. . (Nota técnica).

## **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

