



**FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO
LUCIO MAURO BRAGA MACHADO
(ORGANIZADORES)**

**AMPLIAÇÃO E
APROFUNDAMENTO
DE CONHECIMENTOS NAS
ÁREAS DAS ENGENHARIAS**



**FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO
LUCIO MAURO BRAGA MACHADO
(ORGANIZADORES)**

**AMPLIAÇÃO E
APROFUNDAMENTO
DE CONHECIMENTOS NAS
ÁREAS DAS ENGENHARIAS**

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: Natália Sandrini de Azevedo

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

Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

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 de 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. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
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 Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
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
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
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. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
 Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
 Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
 Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
 Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
 Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
 Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
 Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
 Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Douglas Santos Mezacas -Universidade Estadual de Goiás
 Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
 Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
 Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
 Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
 Prof. Me. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
 Profª Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
 Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
 Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
 Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

A526 Ampliação e aprofundamento de conhecimentos nas áreas das engenharias [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Braga Machado Tullio, Lucio Mauro Braga Machado. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-86002-74-4

DOI 10.22533/at.ed.744200804

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovações tecnológicas. 3. Tecnologia. I. Tullio, Franciele Braga Machado. II. Machado, Lucio Mauro Braga.

CDD 620

Elaborado por Maurício Amormino Júnior | CRB6/2422

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná - Brasil

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Em “Ampliação e Aprofundamento de Conhecimentos nas Áreas das Engenharias” vocês encontrarão dezenove capítulos que demonstram que as fronteiras nas engenharias continuam sendo ampliadas.

A engenharia aeroespacial brasileira vem realizando muitos estudos para a melhoria nos processos de construção de satélites e temos nesta obra quatro capítulos demonstrando isso.

Na engenharia elétrica e na computação temos quatro capítulos demonstrando empenho no aprofundamento de pesquisas envolvendo temas atuais.

A engenharia de materiais e a engenharia química trazem quatro capítulos com pesquisas na produção de novos materiais e produção de medicamentos.

Pesquisas na engenharia de produção temos três capítulos que demonstram o empenho na análise de qualidade da produção industrial.

Os demais capítulos apresentam boas pesquisas em engenharia civil, engenharia mecânica e engenharia agrícola.

Boa leitura!

Franciele Braga Machado Tullio

Lucio Mauro Braga Machado

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
AVALIAÇÃO DA PRONTIDÃO DA ORGANIZAÇÃO DE AIT DE SATÉLITES ARTIFICIAIS PARA O ATENDIMENTO DE REQUISITOS DE SEUS STAKEHOLDERS	
Isomar Lima da Silva Andreia Fátima Sorice Genaro José Wagner da Silva Elaine de Souza Ferreira de Paula Bruno da Silva Muro	
DOI 10.22533/at.ed.7442008041	
CAPÍTULO 2	13
EMPREGO DOS PARÂMETROS DE LAMINAÇÃO PARA OTIMIZAÇÃO DE PAINÉIS REFORÇADOS EM COMPÓSITOS SUBMETIDOS A CARGAS COMPRESSIVAS	
Hélio de Assis Pegado Laura Tameirão Sampaio Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.7442008042	
CAPÍTULO 3	30
AN OVERVIEW OF THE BFO - BASIC FORMAL ONTOLOGY - AND ITS APPLICABILITY FOR SATELLITE SYSTEMS	
Adolfo Americano Brandão Geilson Loureiro	
DOI 10.22533/at.ed.7442008043	
CAPÍTULO 4	39
COLETA DE REQUISITOS DO SUBSISTEMA BAZOOKA CANSAT UTILIZADO NO SEGUNDO CUBEDESIGN	
Daniel Alessander Nono Anderson Luis Barbosa Bruno Carneiro Junqueira André Ferreira Teixeira Aline Castilho Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.7442008044	
CAPÍTULO 5	47
CENTRAIS HIDROcinÉTICAS COMO MEIO PARA A REESTRUTURAÇÃO DEMOCRÁTICA DO SETOR ELÉTRICO	
Luiza Fortes Miranda Geraldo Lucio Tiago Filho	
DOI 10.22533/at.ed.7442008045	
CAPÍTULO 6	60
DE KAOS PARA SYSML NA MODELAGEM DE SISTEMAS EMBARCADOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA	
Timóteo Gomes da Silva Fernanda Maria Ribeiro de Alencar Aêda Monalizza Cunha de Sousa Brito	
DOI 10.22533/at.ed.7442008046	

CAPÍTULO 7	68
INTERNET OF THINGS NA ENGENHARIA BIOMÉDICA	
Tatiana Pereira Filgueiras	
Pedro Bertemes Filho	
DOI 10.22533/at.ed.7442008047	
CAPÍTULO 8	77
AVALIAÇÃO DE TOPOLOGIAS DE FONTES DE CORRENTE EM BIOIMPEDÂNCIA ELÉTRICA	
David William Cordeiro Marcondes	
Pedro Bertemes Filho	
DOI 10.22533/at.ed.7442008048	
CAPÍTULO 9	97
OBTENÇÃO DE BIODIESEL POR MEIO DA TRANSESTERIFICAÇÃO DO ÓLEO DE SOJA UTILIZANDO CATALISADOR DE KOH/Al ₂ O ₃ EM DIFERENTES COMPOSIÇÕES	
Laís Wanderley Simões	
Normanda Lino de Freitas	
Joelda Dantas	
Elvia Leal	
Julyanne Rodrigues de Medeiros Pontes	
Pollyana Caetano Ribeiro Fernandes	
DOI 10.22533/at.ed.7442008049	
CAPÍTULO 10	113
CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE FILMES HÍBRIDOS PRODUZIDOS POR AMIDO DE MILHO E QUITOSANA	
Francielle Cristine Pereira Gonçalves	
Kilton Renan Alves Pereira	
Rodrigo Dias Assis Saldanha	
Simone Cristina Freitas de Carvalho	
Vitor Rodrigo de Melo e Melo	
Kristy Emanuel Silva Fontes	
Richelly Nayhene de Lima	
Magda Jordana Fernandes	
Elano Costa Silva	
Thaynon Brendon Pinto Noronha	
Liliane Ferreira Araújo de Almada	
Paulo Henrique Araújo Peixôto	
DOI 10.22533/at.ed.74420080410	
CAPÍTULO 11	125
SYNTHESIS AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF SODIUM DODECYL SULFATE (DDS) MODIFIED LAYERED DOUBLE HYDROXIDE (HDL) AS MATRIX FOR DRUG RELEASE	
Amanda Damasceno Leão	
Mônica Felts de La Rocca	
José Lamartine Soares Sobrinho	
DOI 10.22533/at.ed.74420080411	
CAPÍTULO 12	134
THIN PLATE SPLINE INTERPOLATION METHOD APPLICATION TO PREDICT THE SUNFLOWER OIL INCORPORATION IN POLY (ACRYLIC ACID)-STARCH FILMS	
Talita Goulart da Silva	
Débora Baptista Pereira	
Vinícius Guedes Gobbi	

Layla Ferraz Aquino
Thassio Brandão Cubiça
Matheus Santos Cunha
Tiago dos Santos Mendonça
Sandra Cristina Dantas
Roberta Helena Mendonça

DOI 10.22533/at.ed.74420080412

CAPÍTULO 13 152

GESTÃO ESTRATÉGICA PARA O DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS NA EMPRESA DE MANUTENÇÃO JL AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Francely Cativo Bentes
David Barbosa de Alencar
Marden Eufrasio dos santos

DOI 10.22533/at.ed.74420080413

CAPÍTULO 14 162

OTIMIZAÇÃO DOS INSPETORES ELETRÔNICOS NA PRODUÇÃO DE TAMPAS METÁLICAS NO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS

Elisabete Albuquerque de Souza
David Barbosa de Alencar
Marden Eufrasio dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.74420080414

CAPÍTULO 15 174

CONTROLE DE QUALIDADE DOS BLOCOS CERÂMICOS DE VEDAÇÃO DE SEIS E OITO FUROS DAS OLARIAS DO AMAPÁ

Daniel Santos Barbosa
Adler Gabriel Alves Pereira
Orivaldo de Azevedo Souza Junior
Ruan Fabrício Gonçalves Moraes
Paulo Victor Prazeres Sacramento

DOI 10.22533/at.ed.74420080415

CAPÍTULO 16 190

REAPROVEITAMENTO DE TOPSOIL COMO MEDIDA DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

José Roberto Moreira Ribeiro Gonçalves
Fabiano Battemarco da Silva Martins
Ronaldo Machado Correia

DOI 10.22533/at.ed.74420080416

CAPÍTULO 17 199

AVALIAÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS: COMPARAÇÃO ENTRE A NBR 9452/2019 E O MÉTODO ESLOVENO

Ana Carolina Virmond Portela Giovannetti

DOI 10.22533/at.ed.74420080417

CAPÍTULO 18 208

DIMENSIONAMENTO DA POTÊNCIA MÍNIMA EXIGIDA DO ACIONAMENTO PRINCIPAL DE TRANSPORTADORES DE CORREIA

José Joelson de Melo Santiago
Carlos Cássio de Alcântara
Daniel Nicolau Lima Alves

Jackson de Brito Simões

DOI 10.22533/at.ed.74420080418

CAPÍTULO 19 220

CONSTRUÇÃO, INSTRUMENTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM TÚNEL DE VENTO DIDÁTICO DE CIRCUITO FECHADO

Lucas Ramos e Silva

Guilherme de Souza Papini

Rafael Alves Boutros

Romero Moreira Silva

Wender Gonçalves dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.74420080419

SOBRE OS ORGANIZADORES..... 236

ÍNDICE REMISSIVO 237

AVALIAÇÃO DA PRONTIDÃO DA ORGANIZAÇÃO DE AIT DE SATÉLITES ARTIFICIAIS PARA O ATENDIMENTO DE REQUISITOS DE SEUS STAKEHOLDERS

Data de aceite: 27/03/2020

Data de submissão: 01/01/2020

Isomar Lima da Silva

National Institute of Space Research-INPE, Space Engineering and Technology
São José dos Campos – SP
<http://lattes.cnpq.br/2850176208849053>

Andreia Fátima Sorice Genaro

National Institute of Space Research-INPE, Space Engineering and Technology
São José dos Campos – SP
<http://lattes.cnpq.br/1326926734177295>

José Wagner da Silva

National Institute of Space Research-INPE, Space Engineering and Technology
São José dos Campos – SP
<http://lattes.cnpq.br/5174955988023130>

Elaine de Souza Ferreira de Paula

National Institute of Space Research-INPE, Space Engineering and Technology
São José dos Campos – SP
<http://lattes.cnpq.br/2614616890948042>

Bruno da Silva Muro

Bachelor in Information Systems - La Salle College
Manaus – AM
<http://lattes.cnpq.br/0312405032134488>

RESUMO: As atividades de Montagem, Integração e Testes de um satélite artificial correspondem a conjuntos de procedimentos e à execução de uma sequência de eventos logicamente correlacionados, com a finalidade de obter um alto grau de confiança no funcionamento do satélite. A AIT (Assembly, Integration and Test) busca a garantia de que todos os parâmetros de projeto e de desempenho especificados serão alcançados. Para isso são simuladas todas as condições ambientais, nas quais o satélite fica sujeito, desde seu lançamento até sua operação em órbita. O estudo aqui apresentado faz parte de uma pesquisa de doutorado em andamento que tem por objetivo desenvolver um esquema (framework) conceitual e uma metodologia para análise da prontidão da organização de AIT para integrar um determinado satélite de maneira a atender de forma satisfatória aos requisitos de todos os seus stakeholders (stakeholders da AIT) e prezando pela qualidade, confiabilidade, segurança e conformidade de parâmetros de desempenho especificados para serem adotados pela organização de AIT.

PALAVRAS-CHAVE: AIT, Stakeholders, Requisitos, Prontidão, Processos.

EVALUATION OF THE READINESS OF THE AIT ORGANIZATION ARTIFICIAL SATELLITES APPLIED FOR STAKEHOLDERS REQUIREMENTS

ABSTRACT: The activities of Assembly, Integration and Testing of an artificial satellite corresponds to a set of procedures and the execution of the logically correlated events sequence to obtain a high degree of confidence of satellite operation. The Assembly, Integration and Testing (AIT) activities are performed to ensure that all specified design and performance parameters were reached. Within this context, all the environmental conditions in which the satellite will be asked for, from its launch until its operation in orbit, are simulated. The study presented herein is part of a Ph.D. research, with the purpose of developing a conceptual framework and a methodology for analysis of the AIT organization readiness level to integrate a particular satellite in order to satisfy all stakeholders' requirements (AIT stakeholders) valuing quality, reliability, safety and compliance of performance parameters usually adopted by the AIT organization.

KEYWORDS: AIT, Stakeholders, Requirements, Readiness, Organization.

1 | INTRODUCTION

This paper discusses the readiness assessment of the AIT (Assembly, Integration and Testing) organization for meeting the requirements of its stakeholders. It is essential in this area, to identify the stakeholders and to find out how to measure their interests during execution of a complex project, such as space projects, (Loureiro, 1999).

Space systems projects consists in quite specific enterprises due to complexity, high costs involved, use of brand new technologies in order to develop equipment for operation in adverse environments, as well as lack of possibility for repair the equipments, after its orbit operation started, (Loureiro1999).

For this type of project, is considered utmost importance to have an AIT organization with mature and well-defined processes wherefore meeting stakeholder requirements. To meet these requirements it is imperative identify stakeholders concerns, wishes, desires and goals, and also characterize and manage the stakeholders that affect or are affected by the product development.

The development of a method to evaluate the readiness of the AIT organization with a focus on the stakeholders requirements can be provided as a tool for quality assurance of the provided services. Evaluation of the readiness of the AIT organization to meet the requirements of its stakeholders.

2 | BIBLIOGRAPHIC REFERENCE

2.1 Stakeholder analysis and management

For Clarkson (1995), Donaldson and Preston (1995), Rowley (1997), Scott and Lane (2000), Baldwin (2002) and Mainardes et al. (2010), the concept of stakeholder management was developed to aim organizations to recognize, analyze and examine the characteristics of individuals or groups that has potential to influence or are influenced by an organization, such as its organizational behavior. For the authors listed above, the organizational management is done into three levels: stakeholders' identification; the development of processes that help to raise the stakeholders' needs and interests, and the construction of relationships between all stakeholders.

Stakeholder analysis can be considered as a continuous process of data collection and analysis from interested parts, their tendencies and preferences, (Mitchell *et al.*, 1997; Wood, 1990). For (Freeman, 2010), stakeholder analysis is a set of activities that should take into account prompt questions such as: who are the stakeholders? What they want? How will they try to achieve what they want? The cited questions are related to the attributes, purposes and methods used by stakeholders. This analysis is important to purchase the stakeholders knowledge influence in the project feasibility to determine the conflicts of interests between stakeholders involved.

2.2 Assembly, Integration and Testing

AIT (Assembly, Integration and Testing) ensures that all design parameters and specified performance will be achieved. To reach this, all the environmental conditions which the satellite will be submitted to are simulated, from launch to orbit operation, (LIT-INPE2015).

According to the life cycle of NASA projects, AIT activities are included into the phase D of a space project. The life cycle comprises the following phases:

- **Pre-Phase A:** Design Studies - Conceptual studies and identification of viable alternatives in the form of simulations, analyzes, study reports, models for the project;
- **Phase A:** Development of concept and technology -At this stage the definition of system concept and technology are presented in the manner of simulations, analysis, engineering models and mockups and trade study definition;
- **Phase B:** Preliminary Project - Establishment of a preliminary project or initial baseline, capable of mission needs. It establishes the development of necessary technology, the system requirements and design requirements in addition to managing a preliminary design for each final structure project of the system;

- **Phase C:** Final design and manufacturing - Completion of the design and construction of its associated subsystems, including their operating systems. Manufacture of hardware and software coding and components of the system;
- **Phase D:** AIT and release - Performs the implementation of Assembly, Integration and Product Testing of the final product or system. Initiate and prepare for launch and for product operation;
- **Phase E:** Operations and maintenance - This phase is implemented in the mission operation plan and mission is conducted, while proper maintenance of the system is carried out;
- **Phase F:** Discard or Decommissioning- On this stage the systems decommissioning and disposal scheme, developed in Phase E, are implemented. The data collected from the system is analyzed.

According to (NASA, 2007), each phase has its respective revisions, being the revisions of phase D as follows:

- **FRR** - Flight Readiness Review: Provides tests analysis, demonstrations and audits to determine the system's readiness for a safe and successful flight or launch and for subsequent flight operations;
- **ORR** - Operational Readiness Review: This review checks the current system characteristics and procedures used in the system operation or in the final product. It ensures that all hardware, software, personnel, procedures, system documentation and support documents reflect accurately the implanted state of the system;
- **SAR** - System Acceptance Review: Verifies completeness of specific end products in correlation with expected maturity level and assure stakeholder expectations scope;
- **TRR** - Test Readiness Review: Ensures that test item (hardware/software), test installation, and testing procedures are ready to Test and Acquisition, Reduction and Control of data.

The AIT activities and reviews, requires specialized technical expertise with the goal to achieve a high degree of confidence in order to assure the product accordance with specified parameters, it is required professionals from different areas and several stakeholders. These professionals/stakeholders have distinct interests however it converges to the same purpose, to ensure high reliability level and accurate satellite operation. Some of the main stakeholders are shown in figure 1.

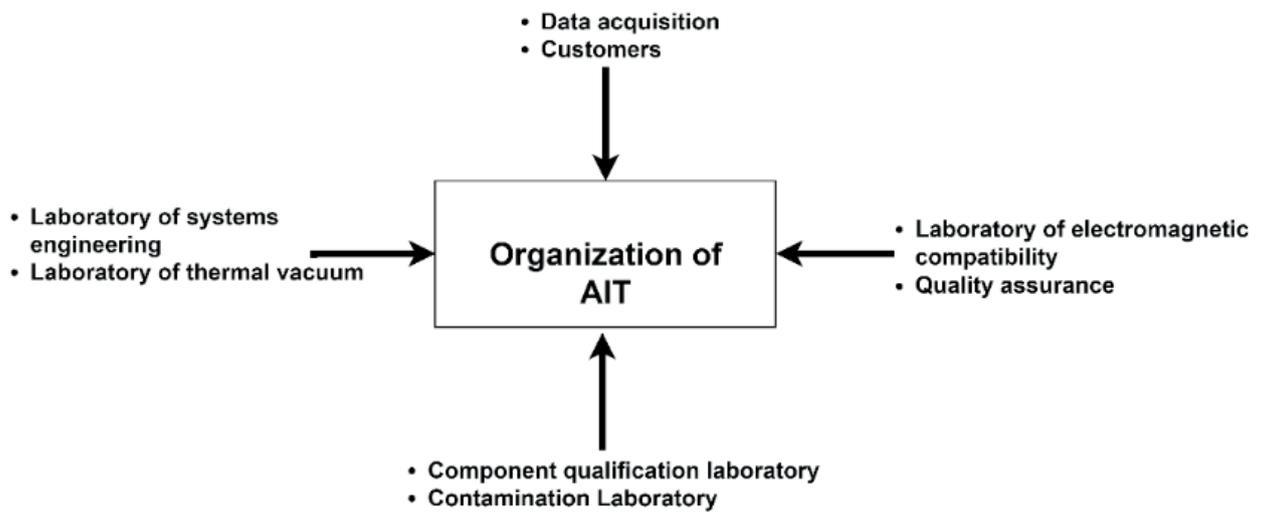


Figure 1. Stakeholders in AIT.

Source: Author (2019).

When known who the stakeholders of each AIT project are, allows to differentiate your interests, allows leveling the expectations besides enable comprehension of best way to deal with. (Silva Jr 2011) describes the AIT activities:

- **Assembly:** Includes the mechanical operations performed to position, fix and interconnect physically each one of the units that belongs the satellite system.
- **Integration:** Activities of interconnection and functional verification between the units which constitute a subsystem, and between the subsystems which compound the system.
- **Test:** This is a sequence of experiments with the aim to verify the design requirements are satisfied and whether the satellite will endure both launching and orbiting hard operations during the estimated time for its activities.

2.3 Readiness

The concept of readiness resembles the definition of capacity and maturity being the competence to efficiently repeat a list of results in a predictable manner through mature and consolidated processes (CMMI, 2018). On the other hand, the concept of readiness can be applied focused on the technological issue, for example TRL's technology readiness levels, which consist of a method that allows the certain technologies maturity estimation, (ESA, 2008).

In the same line of reasoning, it is possible to affirm that Readiness can be used to measure the level of maturity or evaluate something development such as: works, systems, processes, and technologies. Therefore, when level of readiness is determined it helps management and stakeholders in decision making regarding progress, capacity and technology development inside of an organization and thereby avoid problems related to implementation and budget commitment.

2.4 Maturity and capacity definition

Maturity and capacity is the competence to prevent the repetition of results list through mature and consolidated processes and also the competence to manage the development, acquisition and maintenance of products and services effectively (CMMI, 2018).

The maturity level of the company reveals its competitive and innovation capacity to obtain advantages in the development of differentiated products and services. The CMMI (Capability Maturity Model Integration) establishes five levels of maturity and capacity of a company. Each level is a predefined set of process areas, which indicates the organization's processes degree of maturity at a specific time (CMMI, 2018). See Figure 2.

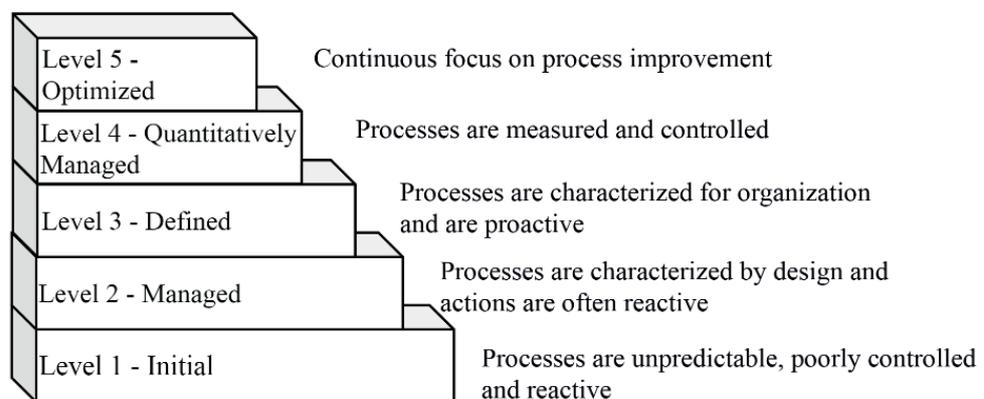


Figure 2. CMMI Levels.

Source: Adapted from CMMI (2018).

The maturity of an organization is closely linked to the capacity of its processes. When level of maturity and capacity is needed, a methodology is required to evaluate processes capacity and at the same time provide a link to the organization's strategic objectives, by identifying priorities (CMMI, 2018). To obtain success, it is necessary to know the current maturity stage of the organization as well as its ability to deal with new management techniques.

2.5 Measurement readiness metrics

Readiness Levels (RL) consist of a set of metrics that allow the evaluation of certain aspects in the organization, project or system as follows: system readiness, technology readiness, integration readiness, manufacturing readiness, and programmatic readiness.

For the assessment of technological readiness, the commonly used metric is the TRL (Technology Readiness Level). This is a set of management metrics that allows the maturity evaluation of certain technology, and a consistent comparison

of maturity between different types of technology, in the scope of a specific system, application and operating environment (ESA, 2008).

The technological readiness levels were stipulated to provide a common metric. Through the knowledge of maturity of new technologies is possible to communicate program executives, system developers and technology researchers among individuals from different organizations (ESA, 2008).

Regarding the readiness levels, each technology project is evaluated in relation with the parameters for each technology level, and receives a TRL classification based on the project progress. As well as ESA, NASA also uses a TRL scale composed by 9 readiness levels, where TRL 1 presents the scientific research at the beginning with its results being translated into research and future development. TRL 2 have been studied the basic principles and the practical applications can be implemented to the initial discoveries. TRL 3 performs analytical and laboratorial studies to confirm if a technology is feasible and / or is ready to proceed through the development process, this is the level where a proof-of-concept model is usually built. TRL 4, tests several components to demonstrate interoperability between each other. The TRL 5 is a continuation of the TRL4, however, a technology identified in 5 as a breadboard technology must perform more rigorous tests. In TRL 6 a fully functional prototype or representational model of the technology is developed, going to TRL 7 the technology cited will require a working model or prototype being demonstrated in a spatial environment. TRL 8 presents the technology tested and “qualified for flight” being ready to be implemented. Finally if the technology is proven in-flight during a successful mission is called TRL 9.

Besides TRL, there are other tools that was developed with the purpose of establishing readiness metric such as:

- System Readiness Levels (SLR) quantifier to assess the system readiness with regards to the complexity or compatibility of component integration (Sauser *et al.* 2010).
- Integration Readiness Levels (IRL) assesses the readiness of integration between the technological elements of a system through integration maturity level on a scale similar to TRL in order to be used in conjunction with Technology Readiness Assessments (TRA) to provide an assessment of the system readiness level (Gove, 2007; Sauser *et al.*, 2010).
- Manufacturing Readiness Levels (MRLs) evaluates the maturity of manufacturing readiness (products and manufacturing processes) or the capabilities from potential suppliers. The quantitative measure of MRLs are used to assess the maturity of a given technology, component or system by manufacturing perspective (Wheeler & Ulsh, 2010).
- Programmatic Readiness Levels (PRL) assesses readiness or concerns from program management, such as programmatic milestones documentation considered vital to successful development of technology products (Al-

3 | RESEARCH METHODOLOGY

The bibliographical research presents qualitative and quantitative aspects, with experimental disposition applied in a case study for the application of the proposed method. For this, methodological objectives follow steps already taken and others that will complement the research development, such as:

- Bibliographic review with the application of a literature systematic review with string research performed in the main databases;
- Study of norms and academic works of the space product warranty area (dependability, safety assurance, software assurance, product engineering) regarding readiness during phases of assembly, integration, and testing of spatial products;
- Identification of the needs of the AIT organization;
- Identification of stakeholder requirements for AIT organization;
- Structuring and developing of proposed evaluation method;
- Application of the method of readiness evaluation in the LIT (Laboratory of Integration and Testing) located at INPE (National Institute for Space Research).

3.1 Proposed method

The framework will consist of a methodology for assessing the readiness of an AIT organization in a system level, to meet the requirements of its stakeholders, ensuring that their needs are clear and comprehended before starting AIT activities. Correlating requirements stemming from Assembly, Integration and Testing of satellites, with stakeholders' requirements in relation to their activities, infrastructure and process of AIT organization applied to its product (satellite). Thus elaborate an AIT Readiness index.

This method, presented by a framework, can be used as a reference model and support all stages of AIT activities of a space product (engineering models, qualification, flight model, protoflight), from the perspective of stakeholder requirements from Assembly, Integration and Testing organizations that perform assembly and testing of subsystems and space systems. Figure 3 shows an generic model of the proposed method.

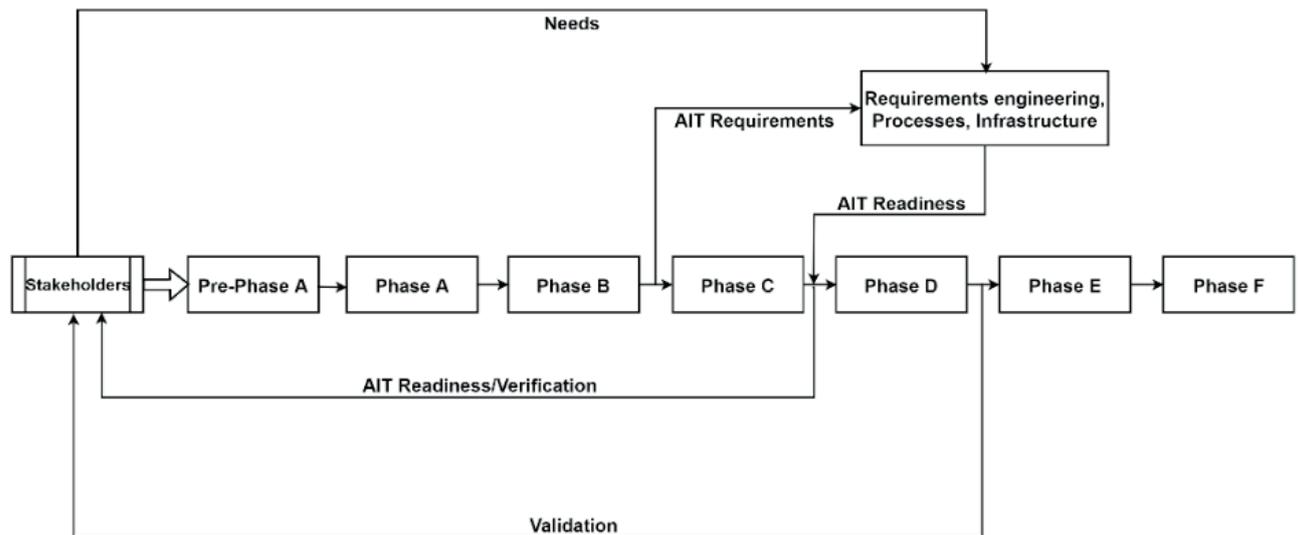


Figure 3. Generic model of the proposed method.

Source: Author (2019).

The proposed method will provide the possibility to measure the level of readiness of an AIT organization, identifying its evolution direction by applying the criteria of excellence to be defined (similar case: the Malcolm Baldrige Prize). Rotating around, are the vital aspects for any type of organization, for example: leadership, strategy, customers, knowledgement, people, processes and results. The detailed application, of the cited excellence criteria's in pursuit of readiness, is complex but effective.

The organization of AIT will be evaluated considering the parameters established for each level of readiness, and then a RL (Readiness Level) rating will be given based on the developed projects progress.

This classification shall indicate the system-level competencies that an AIT organization needs to have or to develop to perform satellite Mount, Integrate and Test.

The readiness levels will be established following the CMMI examples that establish five levels of maturity. This analysis will prove the capacity that a company can meet, referenced in Figure 2. Each level is a predefined set of process areas, which indicates the degree of maturity of the processes at a specific phase.

For a company to succeed in the global market during phase of products and services development, it is essential to had reached a high level of maturity by proving its competitive and innovative capacity.

Tables 1 and 2 present a possible adaptation of the CMMI process areas to meet the requirements of the here cited proposed method.

Table 1 shows that the process areas "Process management", "Project management" and "Engineering" can be adapted to "Process readiness",

“Management of readiness” and “AIT readiness”, this approach will be adopted for the other CMMI characteristics until the proposed method be achieved. Table 2 presents the possible processes to be created with their respective categories and also the readiness levels.

CMMI-DEV	PRONT-AIT process areas
Support	Support
Process managemen	Process readiness
Project management	Management of readiness
Engineering	AIT readiness

Table 1. Example of process area categories correlated between CMMI-DEV and PRONT-AIT.

Source: Author (2019).

ID	Process Area	Category	Readiness Level
AP01	Configuration Management – CM	Support	2
AP02	Organizational Process Definition – OPD	Process readiness	3
AP03	Quantitative Assembly, Integration and Test Management -QAITM	AIT Readiness Management	4
AP04	Integrated Assembly, Integration and Test Process Management - IAITPM	AIT Readiness Management	3
AP05	Assembly Requirements Development, Integration and Testing -ARDIT	AIT readiness	3
AP065	Technical Assembly, Integration and Test Solution - TAITTS	AIT readiness	3

Table 2. Example of Process Areas, Categories and Maturity Levels of PRONT-AIT.

Source: Author (2019).

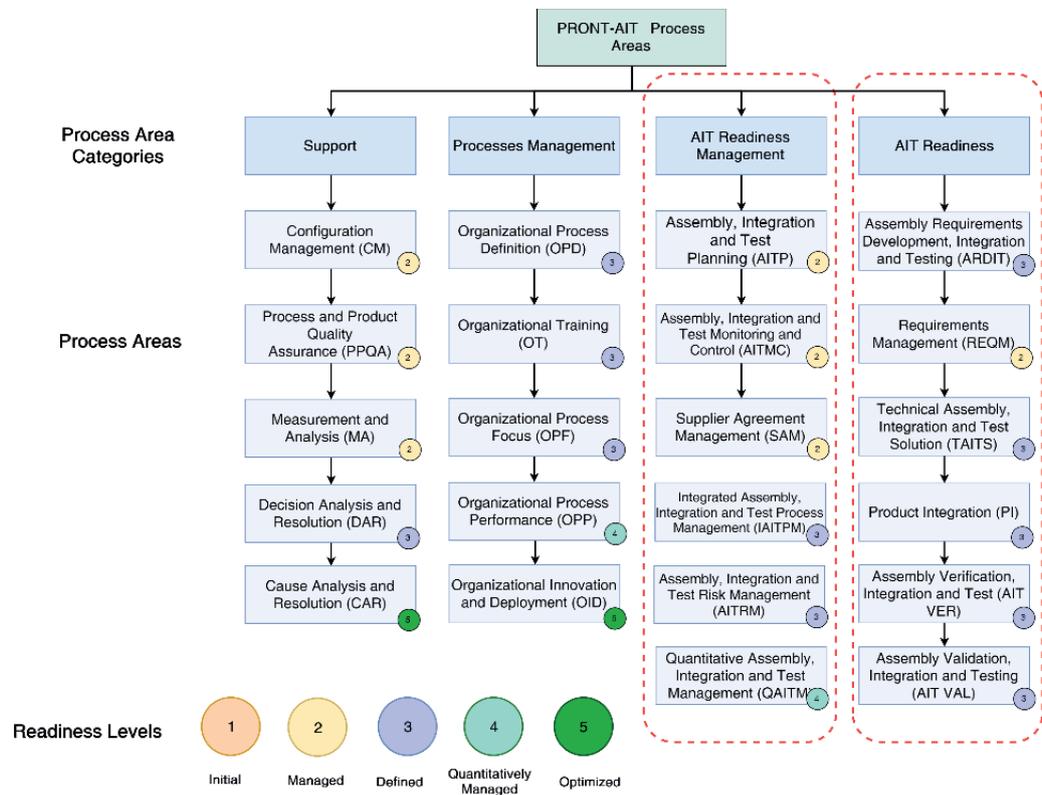


Figure 4. PRONT-AIT Process Areas, Categories, and Readiness Levels

Source: Author (2019).

4 | RESULTS

The work is currently in its initial phase of study, when the first systematic review data are being extracted. This review is carried out focusing on studies that deal with model theories such as engineering, qualification, flight and protoflight, academic standards and studies in the area of space product assurance (dependability, safety assurance, software assurance, product engineering) as well as topics addressing readiness, during the Assembly, Integration and Testing phases of spatial products.

5 | FINAL CONSIDERATIONS

The readiness of an AIT organization to attend its stakeholders' requirements considering projects, such as space projects is a challenge. This is type of organization requires excellence performance, different technologies connections in various subsystems sizes, high-quality material and manufacturing inputs, testing, integration, and high level of specialized workmanship, going through long cycles of design and development. In case failure occurs, implications will be hard to deal with. All the diverse aspects involved in this area and the factors above-mentioned make the challenges of this work complex.

ACKNOWLEDGMENT

To the II CAB - Brazilian Aerospace Congress and its organizing committee.

REFERENCES

- Altunok, T. e Cakmak, T., 2010. “**A technology readiness levels (trls) calculator software for systems engineering and technology management tool**”. *Advances in Engineering Software*, Vol. 41, pp. 769–778. doi:10.1016/j.advengsoft.2009.12.018.
- CMMI, T.P., 2018. “**CMMI R for Development, Version 2.0: Driving performance through capability**”. CMMIDEV, V2.0.” Relatório técnico, Carnegie Mellon University. URL <http://www.sei.cmu.edu/library/abstracts/reports/10tr033.cfm>.
- ESA, 2008. “**technology readiness levels handbook for space applications**”. No. September.
- Freeman, R.E., 2010. **Strategic management: a stakeholder approach**. Cambridge University Press, Cambridge. ISBN 978-0521151740.
- Gove, R., 2007. **Development of an Integration Ontology for Systems Operational Effectiveness**. Tese de Pós-Doutorado, Stevens Institute of Technolog.
- LIT-INPE, 2015. “**Montagem, Integração e Testes de Satélites**”. URL <http://www.lit.inpe.br/pt-br/montagem{ }integracao{ }e{ }testes{ }de{ }satelites>.
- Loureiro, G., 1999. **A systems and concurrent engineering framework for the integrated development of space products**. Tese de Pós-Doutorado. doi:10.1016/S0094-5765(02)00272-2.
- Mainardes, E.W., Alves, H., Raposo, M. e Domingues, M.J., 2010. “**Categorização por importância dos stakeholders das universidades**”. *Revista Ibero-Americana de Estratégia - RIAE*, pp. 4–43. doi: <http://dx.doi.org/10.5585/riae.v9i3.1681>.
- Mitchell, R.K., Wood, D.J. e Agle, B., 1997. “**Toward a theory of stakeholders identification and salience: defining the principle of who and what really counts**”. *Academy of Management Review*, Vol. 22, No. 4, pp. 853–886. ISSN 03637425. doi:10.5465/AMR.1997.9711022105.
- NASA, 2007. **NASA Systems Engineering Handbook**. Washington, D.C., rev1 edição.
- Sauser, B.J., Gove, R., Forbes, E. e Ramirez-marquez, J.E., 2010. “**Integration maturity metrics: Development of an integration readiness level**”. *Information Knowledge Systems Management*, Vol. 9, No. 1, pp. 17–46. ISSN 1389-1995. doi:10.3233/IKS-2010-0133.
- Silva Jr, A.C., 2011. “**Amazonia 1 assembly, integration and test plan**”. doi:A827000-002-001.
- Wheeler, D. e Ulsh, M., 2010. “**Manufacturing Readiness Assessment for Fuel Cell Stacks and Systems for the Back-up Power and Material Handling Equipment Emerging Markets**”. , No. February, pp. NREL Technical Report TP–560–45406.
- Wood, D.J., 1990. **Business and Society**. Longman Higher Education-Average Customer Review, Pittsburgh. ISBN 0673384357.

EMPREGO DOS PARÂMETROS DE LAMINAÇÃO PARA OTIMIZAÇÃO DE PAINÉIS REFORÇADOS EM COMPÓSITOS SUBMETIDOS A CARGAS COMPRESSIVAS

Data de aceite: 27/03/2020

Hélio de Assis Pegado

Universidade Federal de Minas Gerais,
Departamento de Engenharia Mecânica, Belo
Horizonte, MG

<http://lattes.cnpq.br/4122679948024448>

Laura Tameirão Sampaio Rodrigues

Universidade Federal de Minas Gerais,
Departamento de Engenharia Mecânica, Belo
Horizonte, MG

RESUMO: A indústria aeronáutica emprega diversos programas comerciais para o projeto e análise de estruturas aeroespaciais. Na fase de projeto, o processo de otimização é utilizado visando obter estruturas leves, que resistam as cargas aerodinâmicas e o peso da carga paga e do combustível, e que não sejam susceptíveis a instabilidades, tal como a flambagem. Assim, esta pesquisa destina-se a otimizar painéis reforçados em compósito empregando programas utilizados pela indústria e os parâmetros de laminação. A função objetivo é a minimização do peso, as variáveis de projeto são as espessuras e os parâmetros de laminação, e a restrição é que não flambe após aplicação da carga em compressão. Para validação do modelo, emprega-se o método

em uma placa de alumínio e são comparados o resultado obtido com a solução analítica mostrando a coerência do modelo. Após estudar suas limitações e diferenças aplica-se o mesmo método para um painel em compósito e são analisados e estudados os resultados fornecidos pelo programa.

PALAVRAS-CHAVE: otimização, NASTRAN, flambagem

EMPREGO DOS PARÂMETROS DE LAMINAÇÃO PARA OTIMIZAÇÃO DE PAINÉIS REFORÇADOS EM COMPÓSITOS SUBMETIDOS A CARGAS COMPRESSIVAS

ABSTRACT: The aeronautical industry employs various commercial software for the design and analysis of aerospace structures. In the design phase, the optimization process is applied to obtain lightweight structures that withstand aerodynamic loads and the payload and fuel weights. Besides this, the structure must not be susceptible to instabilities such as buckling. Thus, the goal of this research is to optimize composite reinforced panels employing industry - used software and lamination parameters. The objective function is the weight to be minimized, the design variables are the thickness and the lamination parameters, and the restriction is that

it does not buckle after application of the compressive load. The aluminum plate model was simulated, and this result was compared with the analytical solution showing the coherence of the model. After studying its limitations and differences, the same method is applied to a composite panel, and the results provided by the software are analyzed and studied.

1 | INTRODUÇÃO

O uso de materiais compósitos em aeronaves tem se popularizado cada vez mais com o seu largo emprego em aeronaves comerciais, inclusive em elementos estruturais. Diversas empresas como a Boeing e a Airbus têm empregado materiais compostos na fabricação de diversos componentes do Boeing 787 Dreamliner (80% compósitos) e do Airbus A350 XWB (53%) o que mostra a importância e a atualidade do estudo de seu comportamento, de suas limitações aeroelásticas e das instabilidades associadas a seu emprego. A Figura 1 mostra o aumento do uso deste tipo material em aeronaves.

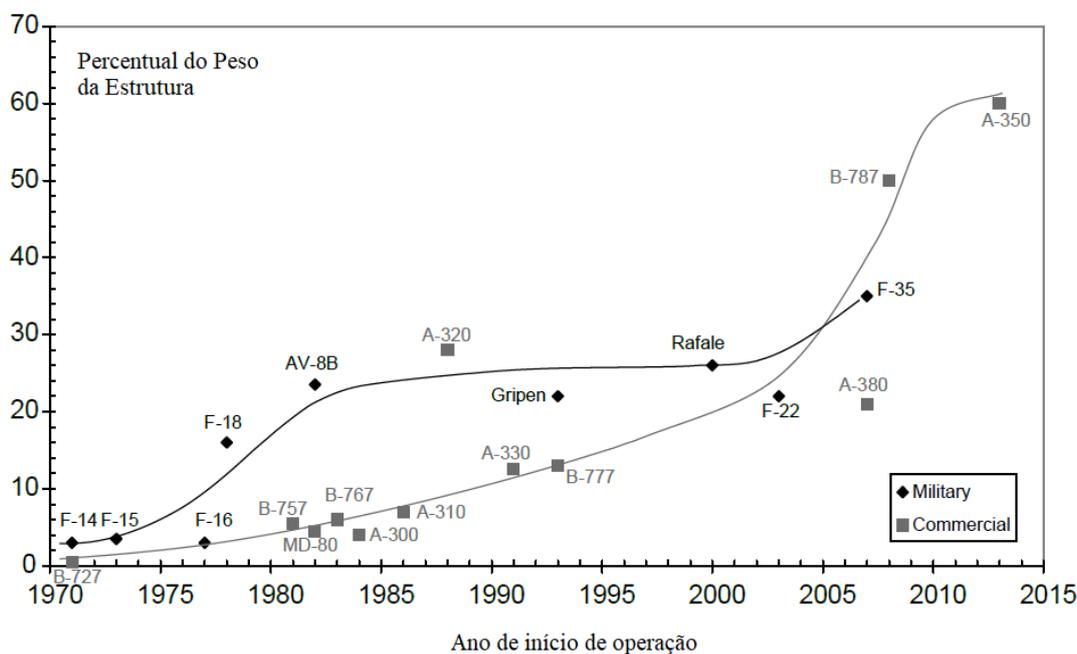


Figura 1: Evolução temporal do uso de compósitos em aeronaves (KASSAPOGLOU,2013).

Esta evolução se deu principalmente pelo aprofundamento do estudo das propriedades do material compósito. Este material é composto por fibras e uma matriz e através da alteração do alinhamento das fibras pode-se obter a resistência desejada. Além disso, sua densidade é bem menor que a do material metálico com uma resistência equivalente, o que se traduz em uma considerável redução de peso.

Na indústria aeronáutica, menor peso se traduz em mais carga paga a ser transportada, em consequência maior lucro, ou mais combustível disponível, portanto maior alcance, ou mesmo, uma combinação de aumento de carga paga e combustível disponível.

Uma das possibilidades para minimização do peso bruto da aeronave é a redução de seu peso estrutural (peso vazio), mantendo a mesma resistência ao carregamento e sem sofrer instabilidade estrutural (flambagem). Nesta linha, diversos autores tem procurado obtê-lo empregando diferentes métodos de otimização e abordagens.

Algumas destas técnicas voltadas para otimização de materiais compósitos definem a variação do número de camadas laminadas e dos ângulos de laminação como variáveis de projeto, assumindo que o material possui propriedades ortotrópicas. No entanto, esse tipo de otimização envolve alto custo computacional e consiste em um processo de otimização não linear com variáveis discretas em um espaço não-convexo.

Assim, para resolver o problema de otimização de variáveis discretas na sequência de laminação dos materiais compósitos, Miki (1993) propôs o uso de parâmetros de laminação. Seu método considera que a rigidez no plano e a rigidez à flexão das chapas laminadas simétricas e ortotrópicas são funções dos parâmetros de laminação, que dependem da sequência de laminação.

Fukunaga et al. (1994) apresentaram uma abordagem de otimização das configurações de placas laminadas simetricamente que maximiza as cargas de flambagem sob ação de cargas combinadas. A relação entre as configurações do laminado e as cargas de flambagem são obtidas com base no conceito de parâmetros de laminação. Dutra e Almeida (2015) apresentaram um método de otimização baseado em um metamodelo quadrático usado para estimar a função objetivo. É apresentada uma formulação analítica para obter as derivadas da função objetivo relativas aos parâmetros de laminação. Uma placa em compósito sujeita a cargas combinadas de flexão e torção é otimizada e os resultados são apresentados e discutidos em termos de projeto prático de estruturas aeronáuticas. Quadros e Hernandez (2018) estudaram uma parametrização de Lagrange dos parâmetros de laminação para maximizar a carga de flambagem de uma placa compósita de rigidez variável.

Entretanto, para a indústria aeronáutica é, por vezes, mais importante empregar softwares comerciais de análise estrutural, que são compatíveis com outros utilizados pela área de desenvolvimento, para projetos do que desenvolver uma ferramenta própria para análise. Neste viés, esta pesquisa (PEGADO & RODRIGUES, 2019) emprega um software conhecido na indústria, o NASTRAN/FEMAP (SIEMENS,2020), para análise e otimização estrutural.

Assim, este artigo está estruturado da seguinte forma: a metodologia utilizada na otimização das chapas reforçadas, as hipóteses consideradas, as equações utilizadas na análise de painéis compósitos, a validação dos modelos e os resultados obtidos expressos em tabelas e figuras.

2 | OTIMIZAÇÃO

Neste processo são utilizadas como variáveis de projeto os parâmetros de laminação, a espessura da chapa e do reforçador, e o peso como função objetivo. Foram analisadas duas placas reforçadas, uma de alumínio e outra de fibra de carbono. O otimizador usado é uma sub-rotina do NASTRAN (SIEMENS,2020) e sua eficiência na análise dessas chapas reforçadas é testada na chapa de alumínio. Estes resultados são comparados com o Fator de Eficiência de Farrar (Niu, 1997) e a eficácia deste otimizador é demonstrada. Após sua validação, o otimizador do NASTRAN (SIEMENS,2020), o SOL 200, é utilizado para otimização de chapas em compósitos com parâmetros de laminação e espessuras como variáveis de projeto.

2.1 Considerações

O modelo satisfaz a Teoria Clássica do Laminado e:

- I. cada camada é quase-homogênea e ortotrópica;
- II. o laminado é fino e suas dimensões laterais são muito maiores que sua espessura e são carregadas apenas no plano (condição de tensão plana);
- III. os deslocamentos são pequenos quando comparados com a espessura do laminado: $|u|, |v|, |w| \ll h$;
- IV. o laminado é simétrico e balanceado, o que significa que a lâmina está disposta em pares ($+\theta$ e $-\theta$) acima e abaixo do plano médio;
- V. esta placa laminada satisfaz a Regra dos Dez Por Cento, onde o número de camadas em cada ângulo de laminação ($0, \pm 45$ e 90°) é no mínimo de 10% do total de camadas.

2.2 Modelo da Placa Laminada

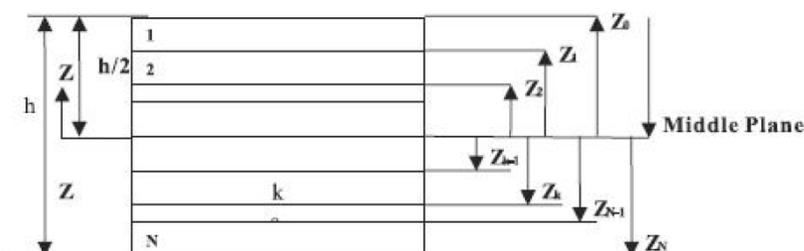


Figura 2. Sequência de Laminação (LIU, HAKKA & TROMPETTE,2004)

A metodologia adotada para o uso dos parâmetros de laminação por Rodrigues (2018) segue o modelo mostrado na Figura 2 e considera que a sequência de laminação pode ser expressa pela Equação 1:

$$[(\pm\theta_n)_{Nn}/\dots/(\pm\theta_2)_{N2}/(\pm\theta_1)_{N1}]_s \quad (1)$$

Segundo MIKI (1993), os parâmetros de laminação são boas opções para serem utilizados como variáveis de projeto no projeto e fabricação de um laminado, pois é possível obter uma região viável dos parâmetros de laminação em um plano bidimensional. Quando existe um laminado simétrico e ortotrópico, a rigidez no plano (matriz A - Eq 2) e a rigidez à flexão (matriz D – Eq 2) tornam-se funções dos parâmetros de laminação, que são funções da sequência de laminação (Figura 2). Como este laminado é simétrico, a rigidez devida ao acoplamento (matriz B - Eq2) é zero.

$$\begin{bmatrix} M \\ N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ B & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon^o \\ \kappa \end{bmatrix} \quad (2)$$

Onde M é a intensidade dos momentos de flexão pura e cisalhamento por unidade de comprimento e N é a força direta ou de cisalhamento por unidade de comprimento produzida por cargas no plano. As matrizes de rigidez A, B e D podem ser expressas pela invariante de rigidez U e doze parâmetros de laminação (RODRIGUES, 2018). Ao considerar o laminado como simétrico, a matriz de acoplamento de rigidez B será zero e, em seguida, o número de parâmetros de laminação será reduzido para 8. Da mesma forma, vários fabricantes adotam como prática de projeto que as lâminas são ortotrópicas e podem ter apenas 0° / 45° / 90° como ângulos de laminação, reduzindo assim os parâmetros de laminação para 6. Portanto, as seguintes expressões são usadas para a rigidez no plano e a rigidez à flexão:

$$\begin{bmatrix} A_{11} \\ A_{12} \\ A_{22} \\ A_{66} \\ A_{16} \\ A_{26} \end{bmatrix} = h \begin{bmatrix} 1 & \xi_1^A & \xi_2^A & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\xi_2^A & 1 & 0 \\ 1 & -\xi_1^A & \xi_2^A & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\xi_2^A & 0 & 1 \\ 0 & \frac{\xi_3^A}{2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\xi_3^A}{2} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ U_5 \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad \begin{bmatrix} D_{11} \\ D_{12} \\ D_{22} \\ D_{66} \\ D_{16} \\ D_{26} \end{bmatrix} = \frac{h^3}{12} \begin{bmatrix} 1 & \xi_1^D & \xi_2^D & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\xi_2^D & 1 & 0 \\ 1 & -\xi_1^D & \xi_2^D & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\xi_2^D & 0 & 1 \\ 0 & \frac{\xi_3^D}{2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\xi_3^D}{2} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ U_5 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Os parâmetros de laminação são apresentados na Equação 4, onde o subscrito D representa a matriz D e o subscrito A, a matriz correspondente A.

$$\begin{aligned} \xi_{[1,2,3]}^A &= \frac{1}{h} \int_{-h/2}^{h/2} [\cos 2\varphi, \cos 4\varphi, \sin 2\varphi] dz & e & & \xi_{[1,2,3]}^D = \\ \frac{12}{h^3} \int_{-h/2}^{h/2} [\cos 2\varphi, \cos 4\varphi, \sin 2\varphi] z^2 dz & & & & \end{aligned} \quad (4)$$

Após análise das equações 2 e 4, pode-se observar que os parâmetros de laminação estão relacionados aos termos D_{16} e D_{26} da matriz [D]. Estes termos não contribuem significativamente para as análises e, como a falha por flambagem será estudada, o parâmetro ξ_3^D poderá ser desprezado. E como o laminado é simétrico e balanceado em relação ao plano médio, o parâmetro de laminação ξ_3^A não será levado em consideração neste estudo, portanto, os seguintes parâmetros de laminação serão considerados durante a otimização do painel:

$$\begin{aligned} \xi_1^A &= \frac{1}{h} \int_{-h/2}^{h/2} \cos 2\varphi dz, \quad \xi_2^A = \frac{1}{h} \int_{-h/2}^{h/2} \cos 4\varphi dz, \quad \xi_1^D = \frac{12}{h^3} \int_{-h/2}^{h/2} \cos 2\varphi z^2 dz & e & \\ \xi_2^D &= \frac{12}{h^3} \int_{-h/2}^{h/2} \cos 4\varphi z^2 dz & & & \end{aligned} \quad (5)$$

Embora os parâmetros de laminação permitam uma otimização contínua do laminado com um número relativamente baixo de variáveis de projeto, não é possível evitar a acomodação de várias lâminas em uma sequência com o mesmo ângulo de laminação. Portanto, após otimizar o laminado usando os parâmetros de laminação, será necessário usar um banco de dados de laminado para obter a solução discreta do laminado.

O painel compósito possui uma sequência de lâminas dispostas em ângulos é simétrico em relação ao plano do médio. Conforme afirma (MIL-HDBK-17-3F, 2002) e (NIU, 1992), a principal vantagem do uso do laminado simétrico é o desacoplamento entre o comportamento de membrana e da flexão da estrutura. Em um laminado simétrico, de acordo com a notação mostrada na Figura 3 e de acordo com a Equação 2, a matriz de laminado [B] se cancela.

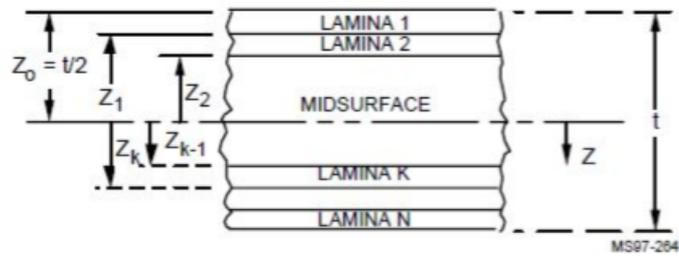


Figura 3: Notação para Espessura do laminado e Sequência de Laminação (MIL HDBK-17-3F,2002)

Os laminados balanceados (Figura 4) são aqueles em que todas as camadas, menos 0° e 90° , são acomodadas nos pares $+\theta$ e $-\theta$ acima e abaixo do plano médio do laminado. Para o conjunto de laminados compostos por camadas com ângulos $0 / \pm 45/90$, cada lâmina de $+45^\circ$ deve ser acompanhada por uma de -45° . Os laminados balanceados têm vantagens semelhantes às dos simétricos.

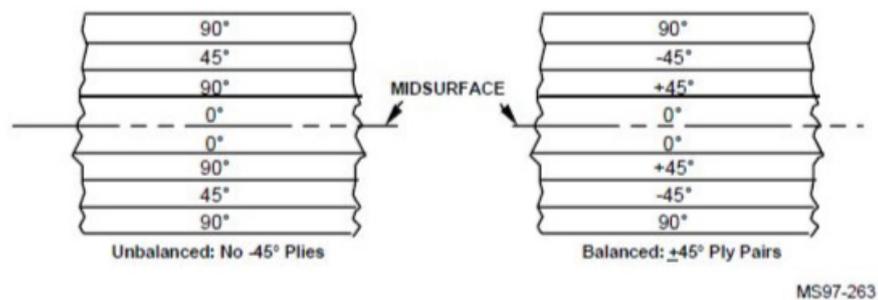


Figura 4: Laminado balanceado e Desbalanceado (MIL HDBK 17-3F,2002)

A regra dos 10% foi seguida em vários projetos estruturais de materiais compósitos e demonstrou bons resultados, sendo adotada até os dias atuais. A regra de 10% determina que pelo menos 10% das camadas finais do laminado tenham ângulos de laminação (0° , $\pm 45^\circ$ e 90°). O uso dessa prática de projeto produz laminados mais robustos e menos suscetíveis à fragilidade associada a laminados estritamente ortotrópicos (BAILLIE; LAY & PASRICHA, 1997).

2.3 Simulação com NASTRAN (SIEMENS,2020)

As variáveis de projeto são as espessuras do revestimento e do reforçador bem como os parâmetros de laminação (ξ). Para essas simulações, foi utilizado o tipo MAT2 que define as propriedades do material, para materiais anisotrópicos lineares e independentes da temperatura, e para os elementos isoparamétricos de casca, o elemento PSHELL que define as propriedades de membrana, flexão e cisalhamento transversal dos elementos de casca. Para impor as restrições, o

DCONSTR foi usado e a função de minimização de peso objetivo é ativada usando o comando DESOBJ. Três soluções NASTRAN (SIEMENS,2020) são usadas: a solução de otimização (SOL200), a estática (SOL101) e a solução de flambagem (SOL105).

2.4 Metodologia

2.4.1 Análise Teórica

Este modelo foi desenvolvido usando a metodologia de Niu (1997) que é resumida em Rodrigues (2018). O ponto ótimo e as dimensões da placa reforçada são obtidas empregando o Fator de Eficiência da Farrar. A seguir, são apresentadas as principais considerações e equações utilizadas para estimar as dimensões.

Algumas hipóteses são impostas para esta análise:

- I. O painel é longo o suficiente para permitir que seja tratado como uma coluna, o que significa que não há restrições impostas às suas bordas longitudinais;
- II. o painel possui fixações (apoios) no final de sua estrutura, em relação ao comprimento L , apesar disto, L é considerado como o comprimento efetivo do painel;
- III. A conexão placa-reforçador não restringe a flambagem da placa.

A Figura 5 mostra um painel típico reforçado e sem flanges (NIU, 1997), em que t é a espessura do revestimento, b é o espaçamento entre os reforçadores, b_w é a profundidade do reforçador, L é o comprimento, f é a tensão aplicada, f_o é a tensão de flambagem inicial da seção do painel e f_E é a tensão de Euler.

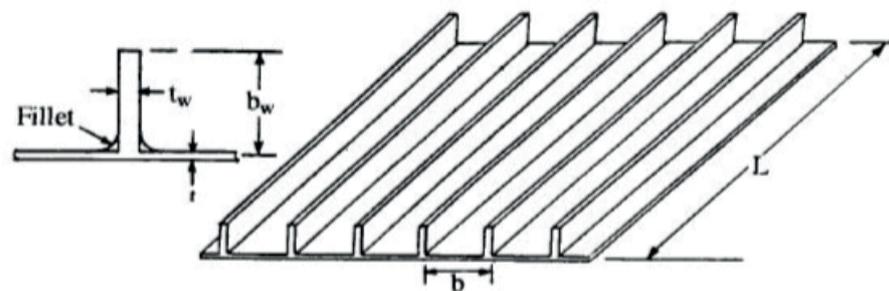


Figura 5: Painel com Reforçadores integrados sem-flanges (NIU,1997)

De acordo com Niu (1997), o fator de eficiência de Farrar é:

$$F=1.314 \frac{R_b^3 R_t (4 + R_b R_t)^{1/4}}{1 + R_b R_t} \left(\frac{f_E}{f_o} \right)^{1/4} \quad (6)$$

onde R_b é a relação $R_b = \frac{b_w}{b}$, $R_t = \frac{t_w}{t}$, é a tensão de flambagem inicial de uma longa placa com espaçamento de reforçador b , uma espessura da placa simplesmente apoiada nas bordas t , e $f_E = 3.62E_t \left(\frac{t}{b}\right)^2$.

O fator de eficiência de Farrar pode ser escrito como $F=f\left(\frac{L}{NE_t}\right)^{1/2}$ onde L é o comprimento do painel e E_t o módulo tangente. NIU (1997) emprega variáveis auxiliares para resolver este problema graficamente.

$$J_1=b\left(\frac{E_t}{NL^3}\right)^{1/4}, J_2=t_w\left(\frac{E_t}{NL}\right)^{1/2}, J_3=b_w\left(\frac{E_t}{NL^3}\right)^{1/4} \text{ e } J_4=t\left(\frac{E_t}{NL}\right)^{1/2} \quad (7)$$

Estas variáveis são obtidas assumindo um valor para Rb . F e o ponto ótimo Rb são encontrados usando diagramas (Niu, 1997).

Um painel reforçado extrudado de Al 2024-T3 otimizado foi projetado, seguindo a metodologia do Fator de Eficiência de Farrar proposta por (NIU, 1997), que resiste a uma carga de compressão de 100000 N/m (269777 lbs / in). A metodologia proposta pelo autor foi seguida e os resultados são apresentados nas tabelas contendo os resultados.

2.4.2 Painel Metálico – Método dos Elementos Finitos

Após a aplicação do software NASTRAN (SIEMENS,2020) para otimizar uma chapa reforçada com as mesmas dimensões da calculada analiticamente pelo fator de eficiência de Farrar, estes resultados foram comparados. Suas diferenças foram analisadas e o modelo foi considerado validado. A seguir, o otimizador foi aplicado para obter as dimensões ideais para placas compósitas e metálicas reforçadas.

Um modelo de elementos finitos para simular um painel reforçado foi desenvolvido como mostrado na Figura 6 para executar a otimização. Esse modelo foi desenvolvido usando apenas um material, tanto para a placa quanto para o reforçador (Al 2024 T3), com as características mostradas na Tabela 1.

Propriedades do Al 2024-T3 Extrudado		
Módulo Tangente (Et)	66,2x10 ³ N/mm ²	9,16x10 ³ Ksi
Poisson (ν)	0,33	0,33
Densidade (ρ)	2,8x10 ⁻³ g/mm ³	0,1 lb/in ³

Tabela 1: Propriedades do Material (RICE,2003)

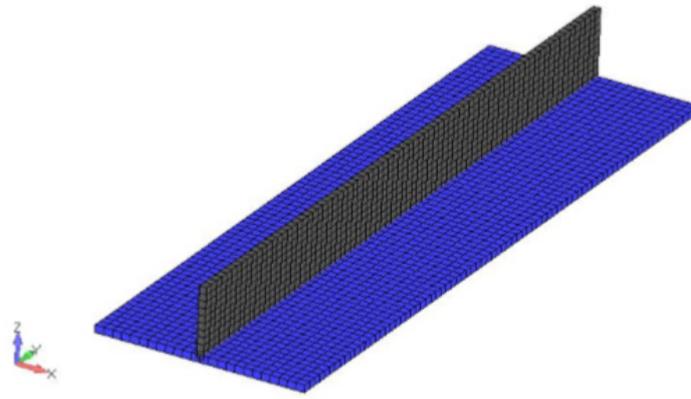


Figura 6: Painel Reforçado – NASTRAN / FEMAP (Rodrigues,2018)

O modelo da Figura 6 mostra as condições de contorno empregadas no modelo NASTRAN (SIEMENS,2020) e foi desenvolvido com elementos tipo placa (PLATE) para o reforçador e a placa, e com propriedades (PROPERTY) distintas, uma vez que possuem espessuras diferentes.

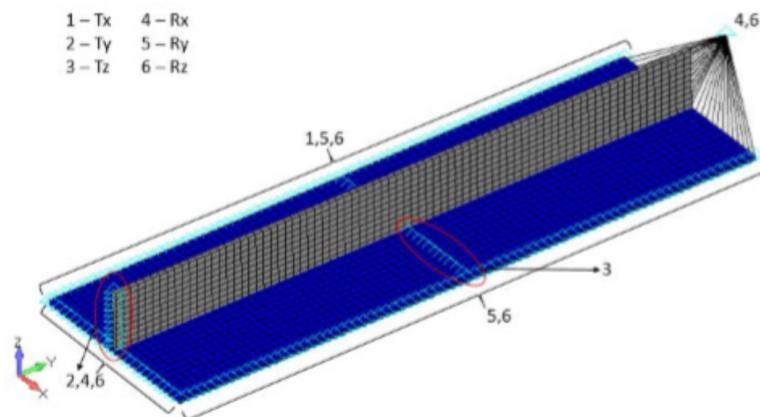


Figura 7: Condições de Contorno - FEMAP (Rodrigues,2018)

Em relação à carga aplicada no modelo, foi definido que o painel reforçado seria submetido apenas a uma carga de compressão, sem cisalhamento. E, essa carga de compressão foi aplicada como mostrado na Figura 8, usando um elemento rígido do tipo RBE2 para distribuir a carga igualmente entre os nós da placa que estão localizados na borda do reforçador.

O objetivo da otimização era minimizar o peso da estrutura, para isso a carga de compressão constante foi mantida, e as espessuras da placa e do reforçador foram alteradas até obter as dimensões ótimas. Esta estrutura ideal teve que suportar a carga de compressão sem flambar, usando uma restrição dentro do otimizador (SOL 105).

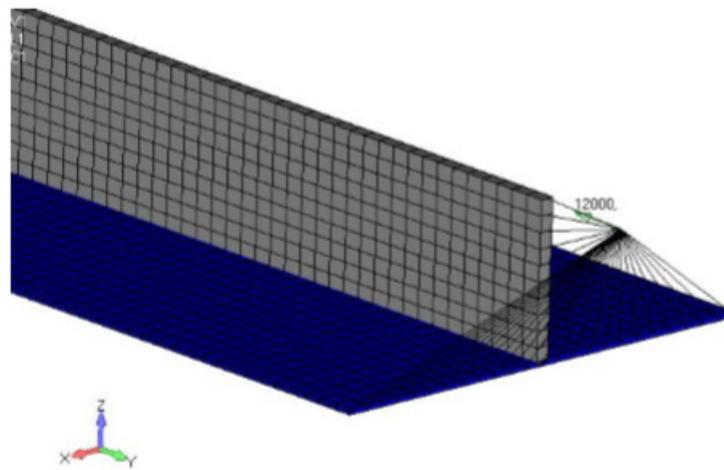


Figura 8: Carga aplicada no Reforçador (10000 daN)

2.4.3 Otimização de placas em compósito

Este modelo foi desenvolvido usando fibra de carbono, com propriedades diferentes já que existe um material com o número de camadas diferentes para a placa e outro para o reforçador, de acordo com a Figura 9, e portanto com espessuras diferentes.

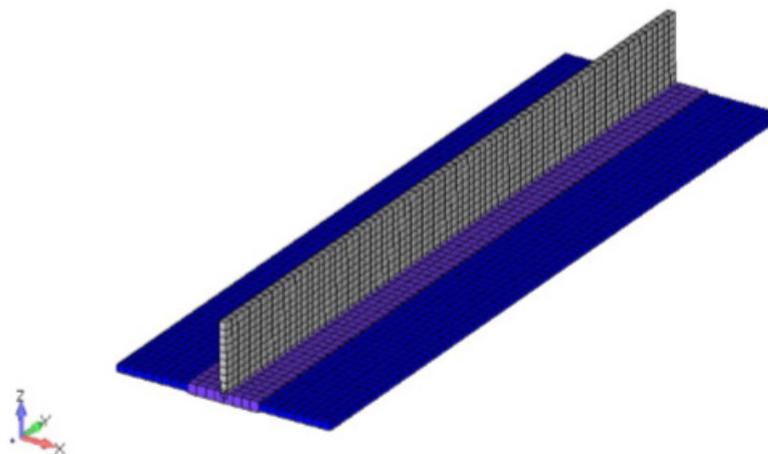


Figura 9: Placa de Compósito Reforçada (RODRIGUES,2018)

A base do reforçador é composto tanto do material da placa quanto da malha do reforçador, conforme mostrado na Figura 10. O modelo foi desenvolvido com elementos do tipo placa (PLATE) para o reforçador e placa. A espessura do reforçador é chamada de t_{web} , da placa é t e da base t_{wbase} .

As condições de contorno aplicadas no modelo de elementos finitos para placas reforçadas de compósitos são as mesmas que as aplicadas no modelo para placa reforçada metálica. Em relação à carga aplicada no modelo, foi definido

que o painel reforçado seria submetido apenas a uma carga de compressão, sem cisalhamento. Portanto, essa carga de compressão foi aplicada da mesma maneira que no modelo reforçado com material metálico, como mostrado na Figura 8.

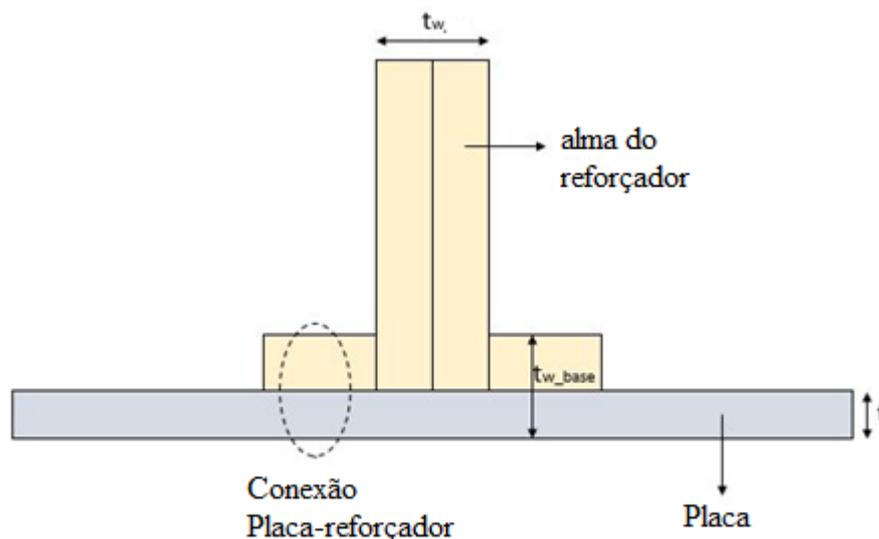


Figura 10: Base do Reforçador em Compósito (Rodrigues,2018)

Assim como na placa de metal, a função objetivo era minimizar o peso da estrutura. Portanto, durante a solução de otimização, a carga compressiva foi mantida constante, e as espessuras da placa e do reforçador variaram. Na otimização do painel reforçado, os parâmetros de laminação da placa e do painel reforçado também foram variados. Foi obtida uma estrutura que suportaria a carga de compressão imposta, respeitando a restrição de flambagem no otimizador (SOL 105).

3 | DISCUSSÕES E RESULTADOS

Os resultados obtidos na pesquisa são apresentados na forma de tabelas e figuras. Os resultados que comprovam a validade do modelo adotado são apresentados inicialmente e, logo após, são apresentados os resultados referentes à otimização de uma placa reforçada em material metálico e, finalmente, os resultados referentes à otimização utilizando os parâmetros de laminação.

3.1 Resultado do Modelo Teórico

Os resultados do modelo teórico foram obtidos seguindo a metodologia de Niu (1997) com o uso de vários ábacos, a maioria deles construídos experimentalmente. Rodrigues (2018) mostra como calculá-los em seu trabalho com a aplicação do Fator de Eficiência de Farrar e os resultados são transcritos na Tabela 2. Como é

um método gráfico utilizando ábaco fornecidos por Niu (1997), a solução de Farrar fornece dois pontos ótimos que são apresentados na Tabela cuja massa prevista após o cálculo é a mesma.

Dados de Entrada				N (N/mm)	N(lbs/in)	R _b
				1.000	5.710,2	0,33
Resultados Parciais	ótimo	F	R _t	J ₄	f (psi)	Et (psi)
	1	0,65	1,20	1,2	40.000	5,4x10 ⁶
	2	0,65	2,7	0,8	40.000	5,4x10 ⁶
Resultados Finais			Ponto Ótimo	M (kg)	t (mm)	t _w (mm)
			1	0,717	3,884	4,661
			2	0,717	2,590	6,993

Tabela 2: Resultados do Modelo Teórico e Dados de Entrada (Rodrigues,2018)

A Figura 11 mostra o resultado após a otimização, e seu resultado para uma placa de metal sujeita a uma força de compressão é apresentado na Tabela 3. Esta Tabela 3 apresenta uma comparação entre os dois pontos “ótimos” do modelo teórico e o resultado do modelo de elementos finitos. Essa diferença provavelmente se deve a imposição do fator de eficiência Farrar de 0,65 no modelo teórico para um painel ótimo reforçado e ao uso de gráficos. O ponto 2 apresenta um resultado mais próximo dos resultados do NASTRAN. Um modelo de otimização foi desenvolvido para o material metálico, no qual o material possuía o mesmo módulo tangente E_t do modelo teórico, uma vez que o NASTRAN SOL105 é linear, ou seja, não considera a plasticidade do material. As variáveis de projeto são as espessuras da placa e do reforçador. Observa-se que para a espessura da placa o resultado obtido por Farrar é bem próximo do NASTRAN (1%) enquanto para a espessura do reforçador o resultado fica mais distante (18%).

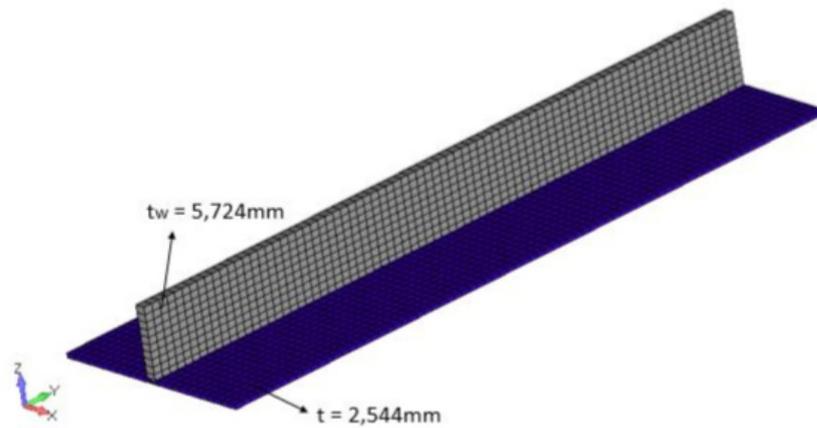


Figure 11: Resultado obtido pelo Nastran para Placa Metálica Reforçada (Rodrigues,2018)

	Teórico 1	Diferença Teórico 1 x NASTRAN	Teórico 2	NASTRAN	Diferença Teórico 2 x NASTRAN
t(mm)	3.884	53%	2.590	2.544	1%
t_w (mm)	4.661	22%	6.993	5.724	18 %
m (kg)	0.717	18%	0.717	0.587	18%

Tabela 2: Comparação Teórica e Modelo NASTRAN

3.2 Painel Reforçado Laminado e Metálico

Foi realizada a simulação em NASTRAN e seus resultados validados após compará-los com o resultado analítico, conforme é mostrado na Tabela 3. Assim, pode-se empregar o mesmo modelo para materiais compósitos. A Figura 12 mostra as dimensões obtidas pelo otimizador NASTRAN para um painel metálico com uma configuração composta por placa, base do reforçador e reforçador, e a Figura 13 mostra um painel com uma configuração semelhante confeccionado com fibra de carbono. A Tabela 3 transcreve estes valores otimizados obtidos para as espessuras da placa metálica e da placa em compósito. Observa-se que as espessuras obtidas são muito próximas, exceto a espessura do reforçador cuja diferença entre o metal e o compósito é de cerca de 25%.

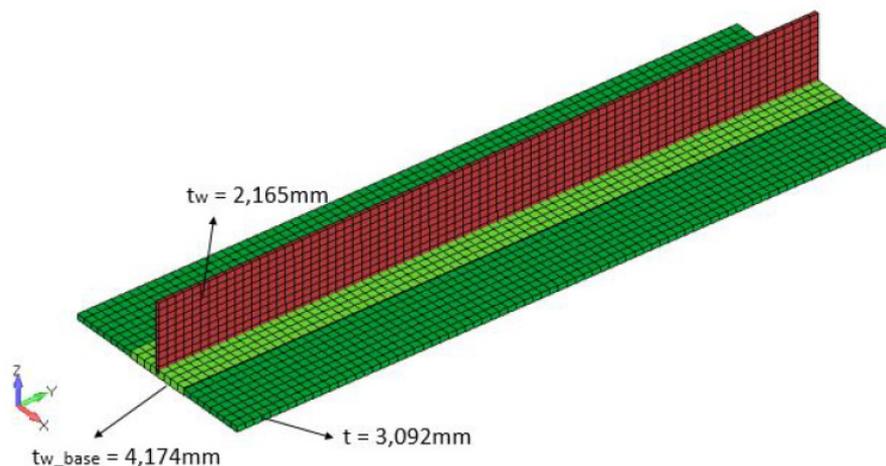


Figura 12: Espessuras do Painel Metálico Reforçado Otimizado (Rodrigues,2018)

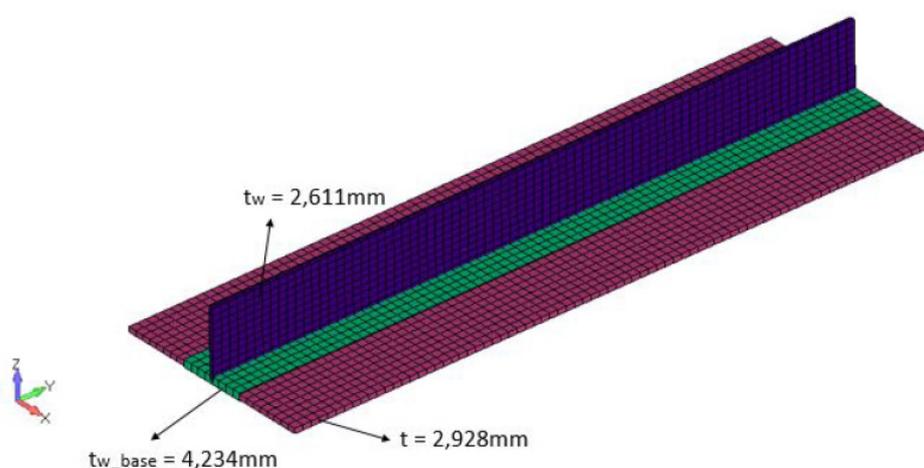


Figura 13: Espessuras do Painel Compósito Reforçado Otimizado (Rodrigues, 2018)

Model o	Placa (mm)	Reforçador (mm)	Espessura da base do Reforçador (mm)
Metálico	3,092	2,165	4,174
Laminado	2,928	2,611	4,234

Tabela 4: Resultados da Otimização empregando NASTRAN

Como esperado, o peso da estrutura metálica está bem acima da placa laminada, como mostrado na Tabela 5. O peso da estrutura foi calculado usando a densidade do material ($\rho_{Al} = 2,8 \times 10^{-3} \text{g/mm}^3$ e $\rho_{lam} = 1,56 \times 10^{-3} \text{g/mm}^3$). Esta placa deve resistir à carga compressiva aplicada sem flambar. A Figura 14 mostra os modos de flambagem obtidos após a simulação NASTRAN.

Modelo	Peso (kg)
Liga de Alumínio	0,551
Laminado	0,309

Tabela 5: Peso da Estrutura após Otimização (Rodrigues,2018)

A Tabela 6 apresenta os valores obtidos para os parâmetros de laminação após a otimização. Com um banco de dados de laminados, é possível obter a configuração dos laminados que satisfazem estes parâmetros.

Componente Estrutural	ξ_1^A	ξ_2^A	ξ_1^D	ξ_2^D
Reforçador	0,3182	0,0348	0,0537	-0,0625
Placa	0,2560	0,0529	-0,0851	-0,0913
Base	0,2853	0,0443	0,0215	-0,199

Tabela 6: Parâmetros de Laminação obtidos após a Simulação (Rodrigues,2018)

O uso do FEMAP/NASTRAN (SIEMENS,2020) permite mostrar visualmente as regiões sujeitas a flambagem através de um código de cores conforme se observa na Figura 14.

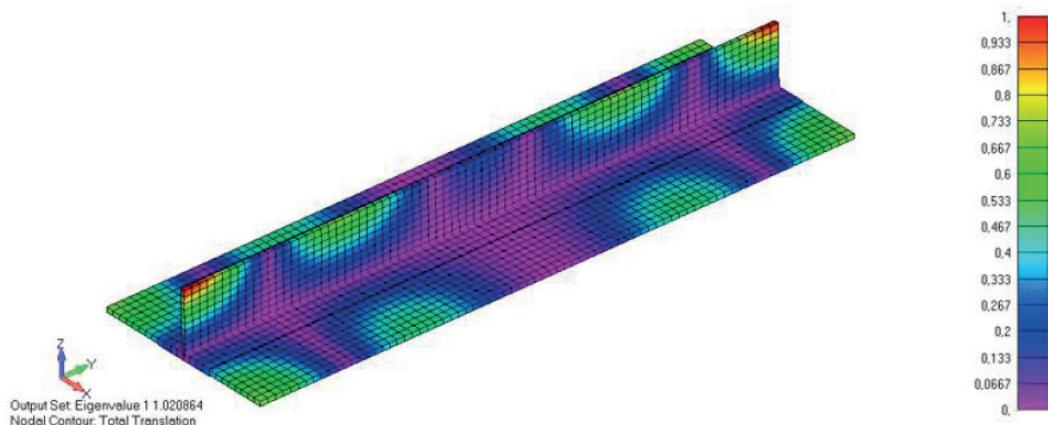


Figura 14: Análise de Flambagem da Placa de Compósito Reforçada– NASTRAN (RODRIGUES, 2018)

4 | CONCLUSÕES

O uso de parâmetros de laminação permitiu uma otimização consistente do painel reforçado compósito e mostrou suas vantagens em relação a otimização discreta com base no número e na direção de cada lâmina laminada.

Os resultados foram coerentes e, a partir da análise do material metálico, observa-se que as diferenças entre o modelo teórico do Fator de Eficiência de Farrar e o resultado obtido pelo NASTRAN são baixas.

Como esperado, o peso do compósito é mais leve e o resultado foi obtido mais rapidamente usando os parâmetros de laminação e o otimizador NASTRAN, que é o mais usado na indústria aeronáutica.

REFERÊNCIAS

Bailie J; Ley, R.; Pasricha, A, 1997. **A summary and review of composite laminate design guidelines**. National Aeronautics and Space Administration, Final, n. 22.

Dutra, T.A. and Almeida, S.F.M., 2015. **Composite Plate Stiffness Multicriteria Optimization using Lamination Parameters**. *Composite Structures*, Elsevier, v.133, p. 166-177.

Fukunaga,H., Sekine,H., Satot, M. and Lino, A.,1995. **Buckling Design of Symmetrically Laminated Plates using Lamination Parameters**. *Computer and Structures*, Pergamon, v.57, n.4, p. 643-649.

Kassapoglou,C..**Design and Analysis of Composite Structures with Applications to Aerospace Structures**. John Wiley and Sons Ltd, 2010.

Liu,B. Haftka, R. and Trompette, P., 2004. **Maximization of buckling loads of composite panels using flexural lamination parameters**. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, Springer, v. 26, n. 1-2, p.28–36.

Miki, M., 1993. **Optimum Design of Laminated Composite Plates using Lamination Parameters**. *AIAA Journal*. AIAA, v. 31, n.5, p.921-922.

MIL-HDBK-17-3F, 2002. **Polymer Matrix Composites, Materials Usage, Design and Analyses**. *Composite Materials Handbook*, US Department of Defense, v.3.

Niu, M.C-Y, 1997. **Airframe Stress Analysis and Sizing**. Hong Kong Conmilit Press LTD. P. 617-648.

Pegado, H.A. & Rodrigues, L.T.S..**Optimization of Composite Stiffened Panels using Lamination Parameters**. Anais do 2º Congresso Aeroespacial Brasileiro, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2019.

Pegado, H.A. & Rodrigues, L.T.S. **Thin walled stiffened plates: optimization using Lamination Parameters**. *Brazilian Journal of Development*, v.5, n.12, 2019.

Quadros, H.B.; Hernandez, J.A., 2018. **A Lagrange Parametrization for the Design of Variable Stiffness Laminates**.*Structural and Multidisciplinary Optimization*, Springer, v. 58, n. 1, p.129-137.

Rice, R. C., 2003. **Metallic Materials Properties Development and Standardization (MMPDS)**. *National Technical Information Service*, cap 1-4.

Rodrigues, L.T.S., 2018. **Otimização Estrutural de um painel reforçado utilizando parâmetros de laminação**. *Trabalho de Conclusão de Curso*, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

SIEMENS. **NX NASTRAN User's Guide**. Disponível em: https://docs.plm.automation.siemens.com/data_services/resources/nxnastran/10/help/en_US/tdocExt/pdf/User.pdf. Acessado em: 13 jan 2020.

AN OVERVIEW OF THE BFO - BASIC FORMAL ONTOLOGY - AND ITS APPLICABILITY FOR SATELLITE SYSTEMS

Data de aceite: 27/03/2020

Data de submissão: 03/01/2020

Adolfo Americano Brandão

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais,
Engenharia e Gerenciamento de Sistemas
Espaciais – CSE
São José dos Campos – SP
<http://lattes.cnpq.br/9801309621464289>

Geilson Loureiro

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais,
Engenharia e Gerenciamento de Sistemas
Espaciais – CSE
São José dos Campos – SP
<http://lattes.cnpq.br/7824447045520901>

ABSTRACT: This work aims to present an overview of the top-level ontology BFO - Basic Formal Ontology - and its applicability for Satellite Systems. As an upper level ontology, the BFO was designed to be extended, providing the basis for the specification of detailed representational artifacts about scientific information domains. These aspects and the challenges of satellite systems complexity and large size compose a suitable scenario for the creation of a specialized dialect to improve efficiency and accuracy when modeling such

systems. By analyzing BFO based ontologies in other disciplines and existing satellite models it is possible to describe an application for satellite systems, which can provide a foundation for the creation of a concrete ontology to be applied on satellite modeling.

KEYWORDS: Ontology; Knowledge-based engineering; Complex systems; Model based systems engineering; Satellite systems.

VISÃO GERAL DA BFO – BASIC FORMAL ONTOLOGY – E SUA APLICABILIDADE PARA SISTEMAS DE SATÉLITE

RESUMO: Este trabalho tem por objetivo apresentar uma visão geral da ontologia de topo BFO - Basic Formal Ontology – e sua aplicabilidade para sistemas de satélite. Como uma ontologia de topo, a BFO foi projetada para ser estendida, fornecendo a base para a especificação de artefatos detalhados de representação em domínios informacionais científicos. Tais aspectos e os desafios da complexidade inerente a sistemas de satélite compõem um cenário adequado para a criação de um dialeto especializado para melhorar a eficiência e acurácia na modelagem desse tipo de sistema. Através da análise de ontologias baseadas na BFO em outras disciplinas e

modelos de satélites é possível descrever uma aplicação para sistemas de satélite, o que possibilita a criação de uma ontologia concreta para ser aplicada na modelagem de satélites.

PALAVRAS-CHAVE: Ontologia; Engenharia baseada em conhecimento; Sistemas complexos; Engenharia de sistemas baseada em modelos; Sistemas de satélite.

1 | INTRODUCTION

An ontology is a representational artifact composed of a taxonomy, concepts and relations between them, concerning an informational or scientific domain. Therefore, it formalizes knowledge about a specific subject and is studied nowadays by information systems, knowledge management and knowledge-based engineering disciplines.

One purpose of ontologies is to allow consistent sharing, interchanging, collaboration, reuse and continued knowledge development among scientific communities regardless of location, language and socio-cultural aspects, mainly by computational resources. This goal can only be achieved if knowledge is structured according to a formal, common computer-based dialect.

As observed by many scientists in many disciplines, as society evolves, also do the problems. Increasing demand for solving more complex problems require more advanced techniques and tools. According to [Warwick 2016],

It did not seem to matter as much in the heydays of the 1950's and 60's, when programs with technically unachievable goals were launched and canceled with astonishing regularity. But today shareholders and taxpayers, as well as customers, demand accountability, and program performance has become a crucial issue.

For those ever-growing complexity problems, it is needed that computers are empowered with common means in order to share, reuse and expand knowledge. As stated by [Liu et al. 2005],

The task of computing is seamlessly carried out in a variety of physical embodiments. There is no single multi-purpose or dedicated machine that can manage to accomplish a job of this nature. The key to success ... lies in a large-scale deployment of computational agents capable of autonomously making their localized decisions and achieving their collective goals.

This is only achievable if disparate computers communicate efficiently among each other. This is one of the purposes of ontologies. One specific kind of ontology, upper level, or top-level ontology allows two ontologies to be accurately related to one another. They do not specify an information domain, but rather lay down the common structure needed to relate and extend specific domain ontologies, being a tool for integrating and sharing knowledge.

On the satellite systems perspective, why is it needed an ontology? Letting

aside the knowledge sharing and scientific development aspect, the very nature of complex systems is to be called to answer this question: Intricateness, size, variety, among others [Macau 2002]. According to [Skarka 2007],

Scientific literature shows that 80% of design engineers activities is related to repetitive, routine tasks, while the remaining 20% on innovative tasks.

A reason to use ontologies for product development is that it can encapsulate much information in a single concept, providing standard practices and reuse, enabling engineers to engineer more, instead of repeating manual, error prone work. When a problem is solved, or an error is corrected, it can be automatically propagated by the use of an ontology. This can reduce costs and improve quality, which is another very compelling reason.

At this point of our research there could not be found a single ontology related to designing and modeling satellites on the system level. This is why we think that creating such ontology would be an important contribution and is the subject of an ongoing work, mentioned in section 5.

2 | METHODOLOGY

We executed an extensive, but not exhaustive literature examination on several published papers related to the subject matter in question, to determine whether this work is relevant in terms of scientific contribution. Material produced for an ongoing bibliometrics [McBurney and Novak 2002] work for my master's degree has been used, in which keyword searches followed by paper analysis were performed. This procedure is being carried on by executing a set of steps, described below:

1. Mainly IEEE and Engineering Village were searched at this point of the research;
2. Objective keywords regarding ontologies, systems engineering, space systems and satellite engineering were used;
3. Time frame was set from beginning of all publications at each database;
4. Title and abstract were defined as the search attributes;
5. Papers were filtered according to most relevant titles;
6. Filtered papers were filtered again according to most relevant abstracts;
7. Filtered papers were selected based on the most relevant contents;
8. Article was written based on selected papers and author experience.

3 | RESULTS AND DISCUSSION

Some Considerations About Ontologies

Ontologies represent things that exist, things that are. In this prism, they can be used to represent any physical thing in the world, any domain of information including complex systems, engineering systems and satellite systems. The most popular areas we could identify in which ontologies are vastly used are biology, medicine, pharmacology, chemistry and computer science. BFO was used in the design of a large list of industry ontologies, which can be found in [Arp et al. 2015]. In engineering in general and specifically in aerospace engineering, there are very few ontologies compared to other sciences.

After researching most popular scientific sources, very few ontology research works related to aerospace engineering and even less for satellite development were found. Among those works we can mention a few: [Arvor et al. 2019], a research which focuses on the capacity of ontologies to represent both symbolic and numeric knowledge, to reason based on cognitive semantics and to share knowledge on the interpretation of remote sensing images; [Cox et al. 2016], an ontology to characterize space objects according to a variety of parameters including their identifiers, design specifications, components, subsystems, capabilities, vulnerabilities, origins, missions, orbital elements, patterns of life, processes, operational statuses, and associated persons, organizations, or nations; [Malin and Throop 2007], a paper which paper describes a set of taxonomies for interpreting descriptions of aerospace entities, functions, properties and problems; [Blasch 2015], a paper which explores the concepts of ontologies for applications to aerospace avionics as motivated by the NextGen and Single European Sky ATM Research (SESAR) standards and [Verhagen and Curran 2011], a paper about the development of an ontology for the aerospace composite manufacturing domain.

BFO Overview

BFO was created as a result of experience and practice. It has evolved from the Gene Ontology - GO [Ashburner et al. 2000], which has the purpose of representing the gene scientific domain. It was developed during years of research and practice, making it a very broad, general ontology, capable of representing all kinds of concepts. The most basic concepts of BFO are Universals and Particulars. Those can be easily understood by applying an analogy to computer programming languages variables and its types. For example, A numeric variable with value 10 is of the type number. In this case, number is the Universal and 10 is the Particular. These concepts define types and instances, which are among the most important concepts for designing ontologies, together with relations between them.

BFO Entities

BFO presents many concrete elements (entities and relations) which allow to define a precise communication language and semantic for any domain, including satellite systems, which comprise our object of study. BFO, as all ontologies, is composed of a hierarchy of concepts, but following the single inheritance rule, where the elements are described from top down, increasing the level of detail and decreasing the level of generality, inheriting the characteristics of only one upper element. Lower elements are specializations of upper elements. Except by the top-most element, all elements in BFO have one more general concrete type. This hierarchical inheritance principle is fundamental to ontological languages based on a top-level ontology because they are designed by extending the definition and characterization of the base concepts and defining possible relations between the new extension concepts. Figure 2 summarizes the entities defined by BFO 2.0 in [Ruttenberg 2019], and the element hierarchy.

BFO Relations

BFO defines two main kinds of relations: 1) Universal-Universal relations: relations between two universals and 2) Spatial and Temporal relations: treatment of location and adjacency and temporal aspects of relations. Table 4 provides the relations defined by [Arp et al. 2015] in the BFO.

BFO Applicability to Satellite Systems

According to [Arp et al. 2015], BFO is an upper-level ontology developed to support integration of data obtained through scientific research. In this sense, it can support the integration of the disparate disciplines involved in a satellite design project, because diverse teams and sets of knowledge are required in order to be composed as a whole. For that to be achieved, models of different nature must have a mechanism of vocabulary synchronism and integration. This BFO integration feature is made clear by [Arp et al. 2015]:

BFO is deliberately designed to be very small, in order that it should be able to represent in consistent fashion those upper-level categories common to domain ontologies developed by scientists in different fields ... BFO assists domain ontologists by providing a common top-level structure to support the interoperability of the multiple domain ontologies created in its terms.

It can be noticed in Figure 2 and Table 4 the diversity and generality of the terms comprising the BFO entities and relations. This makes possible to reach the objective of being a tool to construct languages and representational artifacts to be applied in any field of science, including satellite systems modeling.

Structure and Behavior

A top-level ontology, such as BFO, provides the base concepts, is very general and capable of scaling down to more specific areas while making it possible to maintain the structure and logic of all things to be represented. Also, it is by nature carefully designed to be extended. It brings concepts for things that are (Continuants), things that occur (Occurrents), going down to a certain level of generality, after which the concepts must be specific to the domain in question; By defining Continuants and Occurrents, it covers both static (structure) and dynamic (behavior) aspects of satellite design concepts such as its physical constituent parts and its behavior function flows.

Element Detailment

Many elements in BFO can be used to detail parts of a satellite system, including Quality, Disposition, Function, Specifically Dependent Continuant, Generically Dependent Continuant, among others. Those can provide a means to formalize fine grained details which can be further reused and shared among projects. Also, other information modeling ontologies can be applied to represent very precise modeling constructs, including standard and complex systems of engineering units. By formalizing qualities or attributes, it becomes possible to ensure only pertinent qualifiable elements can be qualified with specific information.

Subsystems Interfaces

Many constructs from BFO target the relationship among parts which can be further refined. Site, Spatial Region, Continuant Fiat Boundary are entity examples. From the relations side, all the relations from BFO can be used directly or refined to represent interfaces at any level in a satellite system, such as adjacent to, has participant, and others. By designing semantic language rules, roles in an interface interaction can be validated in order to fulfill their responsibilities by providing only valid information, energy or matter, at a conceptual level.

Risks and Failures

Failure Modes and Effects Analysis is a very powerful tool to identify actions to mitigate possible failures and should be carried out for all aerospace systems. [Ebrahimipour et al. 2010] proposes an approach to use an ontology to carry on FMEA activities in such a way its results can be shared and reused among projects. According to [Ebrahimipour et al. 2010],

The information stored in risk assessment tools is in the form of textual natural language descriptions that limit computer-based extraction of knowledge for the

reuse of the FMEA analysis in other designs or during plant operation. To overcome the limitations of text-based descriptions, FMEA ontology has been proposed that provides a basic set of standard concepts and terms.

The FMEA ontology shows an example of application of an ontology for complex systems and can be a reference to develop risk management concepts in a BFO based satellite systems ontology. Aspects of a satellite project which can be modeled and designed by conforming to a formal ontology can be many more than those mentioned in this section. The ones covered by this work are part of a preliminary study to provide a starting point for a deeper research to be carried out in our ongoing work, mentioned in section 5.

4 | CONCLUSION

In our experience, disparate and informal notations and inconsistent sets of vocabulary are applied to create isolated and disintegrated models. Even when standard languages are used, modeling environments still lack syntactic and semantic verification throughout the miscellaneous models, which can cause misunderstandings, increasing the time needed for comprehension at each development stage and many issues can arise.

An ontology defines a standard clear semantic, language and vocabulary needed for a precise communication among teams involved in any scientific research or product development. A top-level ontology helps to enforce the correctness and robustness of such artifacts and its constructs. Being based on the same top-level ontology, different sets of terms can be integrated in a consistent fashion allowing more effective collaboration and reuse.

Broad adoption in many domains has proven BFO to be a powerful tool to accomplish successfully effectiveness and accuracy in many projects. Its general terms and coverage of all base concepts and distinctive characteristic aspects about things that can exist in the real world are concluded to make BFO a relevant candidate for any domain.

It can be clearly perceived by reading BFO summary table provided in the discussion section, it provides enough terms to represent all material things, processes, compositions, relations, and so on, required in all systems. Even more abstract concepts as boundaries, spaces, regions, among others, can be formally defined by using BFO as a top ontology.

As for satellite systems, the lack of ontologies at the system level is a clear opportunity for the proposition of such an artifact. Being BFO one of the most robust, mature and popular top-level ontologies available, we conclude it has the characteristics which may be needed to bring to the satellite engineering teams

environment a change game tool.

5 | ONGOING WORK

”An Ontology for Satellite Systems” is an ongoing work for my master’s degree at INPE. It is being made of a deep research of ontologies in general, specific ontologies related to space and satellite systems, bibliometrics research and literature review and it is planned to be concluded by 2020.

This paper [Brandão and Loureiro 2019] was originally published at the WETE X - 10° Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais, held at INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, on 7, 8 and 9 of august, 2019 [Rodrigues et al 2019].

ACKNOWLEDGMENTS

Dr. Geilson Loureiro, my dear mentor.

REFERENCES

Arp, R., Smith, B., and Spear, A. D. (2015). **Building Ontologies with Basic Formal Ontology**. The MIT Press.

Arvor, D., Belgiu, M., Falomir, Z., Mougenot, I., and Durieux, L. (2019). **Ontologies to interpret remote sensing images: why do we need them?** *GIScience & Remote Sensing*, 56(6):911–939.

Ashburner, M., Ball, C. A., Blake, J. A., Botstein, D., Butler, H., Cherry, J. M., Davis, A. P., Dolinski, K., Dwight, S. S., Eppig, J. T., Harris, M. A., Hill, D. P., Issel-Tarver, L., Kasarskis, A., Lewis, S., Matese, J. C., Richardson, J. E., Ringwald, M., Rubin, G. M., and Sherlock, G. (2000). **Gene ontology: tool for the unification of biology**. *Nature Genetics*, 25(1):25–29.

Blasch, E. (2015). **Ontologies for nextgen avionics systems**. In 2015 IEEE/AIAA 34th Digital Avionics Systems Conference (DASC), pages 3B5–1–3B5–13.

Brandão, A. A.; Loureiro, G. **An overview of the BFO - Basic Formal Ontology - and its applicability to satellite systems**. In: WORKSHOP EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA ESPACIAIS, 10. (WETE), 2019, São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2019. On-line. ISSN 2177-3114. IBI: <8JMKD3MGPDW34R/3TTALCH>. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGPDW34R/3TTALCH>>.

Cox, A. P., Nebelecky, C. K., Rudnicki, R., Tagliaferri, W. A., Crassidis, J. L., and Smith, B. (2016). **The space object ontology**. In 2016 19th International Conference on Information Fusion (FUSION), pages 146–153.

Ebrahimipour, V., Rezaie, K., and Shokravi, S. (2010). **An ontology approach to support FMEA studies**. *Expert Syst. Appl.*, 37(1):671–677.

Liu, J., Jin, X., and Tsui, K. C. (2005). **Autonomy Oriented Computing - From Problem Solving to Complex Systems Modeling**. Springer.

Macau, E. E. N. (2002). **Sistemas complexos e complexidade**. In Anais... Congresso Temático de Dinâmica, Controle e Aplicações, 1. (DINCOM).

Malin, J. T. and Throop, D. R. (2007). **Basic concepts and distinctions for an aerospace ontology of functions, entities and problems**. In 2007 IEEE Aerospace Conference, pages 1–18.

McBurney, M. K. and Novak, P. L. (2002). **What is bibliometrics and why should you care?** In Proceedings. IEEE International Professional Communication Conference, pages 108–114.

Rodrigues, I. P.; Rodrigues, A. C. ; Barbosa, A. L. ; Junqueira, B. C. ; Batista, C. L. G. ; Mateus, D. A. C. ; Blanco, G. C. ; Lima, J. S. S. ; Leonardo, J. M. P. ; Munhoz, M. G. C. ; Silva Júnior, M. W. ; Tenório, P. I. G. ; Pereira, Y. M. D. . **Anais do 10º Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais**. 2019.

Ruttenberg, A. (2019). **Basic formal ontology (BFO)**.

Skarka, W. (2007). **Application of Moka methodology in generative model creation using Catia**. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 20(5):677 – 690. Soft Computing Applications.

Verhagen, W. J. C. and Curran, R. (2011). **Ontological modelling of the aerospace composite manufacturing domain**. In ISPE CE.

Warwick, G. (2016). **Problems aerospace still has to solve**.

<http://www.inpe.br/wete/2019/>

COLETA DE REQUISITOS DO SUBSISTEMA BAZOOKA CANSAT UTILIZADO NO SEGUNDO CUBEDESIGN

Data de aceite: 27/03/2020

Data de submissão: 01/01/2020

Daniel Alessandro Nono

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
São José dos Campos – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/5899252892071526>

Anderson Luis Barbosa

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
São José dos Campos – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/9745869685056509>

Bruno Carneiro Junqueira

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
São José dos Campos – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/6490179894105021>

André Ferreira Teixeira

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
São José dos Campos – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/4117184145281894>

Aline Castilho Rodrigues

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
São José dos Campos – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/999177555597652>

RESUMO: Projetos espaciais requerem um alto nível organizacional para seu sucesso. O nível de assertividade é proveniente da escolha dos métodos de engenharia mais adequados

para propor, construir, verificar, validar, operar e descartar os sistemas. Dentre os métodos empregados pelos engenheiros do INPE, existem a Engenharia de Requisitos e a Engenharia de Sistemas. Este trabalho analisou, classificou e organizou os interessados e afetados, ou stakeholders, do sistema Bazooka Cansat, operada no evento Segundo CubeDesign. Em seguida foram feitas entrevistas com os interessados e as necessidades coletadas, analisadas e transformadas em requisitos. Os requisitos foram balanceados segundo as necessidades dos entrevistados e se mostraram eficazes para as etapas subsequentes de montagem, integração, testes e uso.

PALAVRAS-CHAVE: Engenharia de Sistema; Requisitos; CanSat.

REQUIREMENTS ELICITATION FOR THE BAZOOKA CANSAT USED IN THE SECOND CUBEDESIGN

ABSTRACT: Space projects requires a high organizational level for its success. The assertiveness level comes from the choosing of the most suitable engineering methods to propose, develop, verify, validate, operate and discard the systems. Among the methods applied by engineers from INPE (National

Institute for Space Research), there are the Requirements Engineering and the Systems Engineering. This work analyses, ranks and organizes the Stakeholders for the Bazooka CanSat system, used in the Second CubeDesign. Then, the people interested on the system where interviewed and the necessities gathered, analyzed and turned into System Requirements. The requirements were weighted according to the need of the people interviewed and proved to be effective for the subsequent steps.

KEYWORDS: System Engineering; Requirement; CanSat.

1 | INTRODUCTION

CubeDesign is an event focused in divulgating for the world Space Engineering and INPE (National Institute for Space Research). This event has three categories: MockUp, CanSat and CubeSat. On the CanSat category, the competitors must develop satellite prototypes to be launched 32 meters height by a launch system. The requirement elicitation for the launch system is shown in this paper.

Figure 1 shows the flowchart of the engineering methods used in the development of the launch system named Bazooka CanSat.

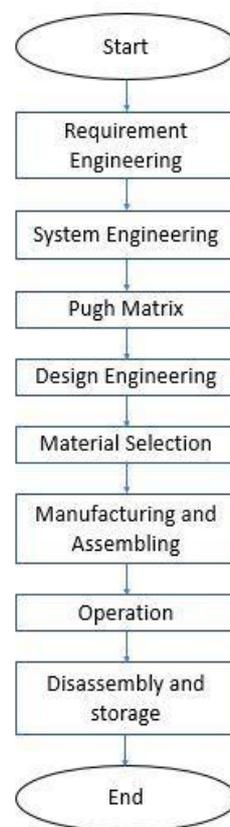


Figure 1 – Bazooka CanSat Flowchart of the Engineering Methods

Requirement Engineering is a method responsible for the deep understanding of the necessities of the stakeholders of a system. In this method, the necessities are

interpreted and turned into measurable parameters through iterative processes. The main attributes of a concise requirements are: traceability, verifiability, unambiguity and feasibility [1-3]. Also, the acceptance criteria and validation methods, where the requirements are turned into system specifications, are defined. [1-4]

System Engineering is responsible for proposing one or more solutions, weighted among the stakeholders of the system. This method observes, analyzes and structures the organizational, physical and environmental structures, as well as the people involved, and seeks to meet the requirements of the project, mission, and functions. [1]

The Pugh's Matrix is an engineering method which seeks to choose the more adequate logical solution for the project and the mission fulfillment. It utilizes the output of the possible solutions proposed by the System Engineering. [2]

System Engineering is a method to design a system. It is interdisciplinary and involves the development of the structural calculations, electronics, material selection, product dimensions, product design, and the manufacturing and assembly sequence. [3]

Material selection analyzes and determines the materials which must be employed to make the physical parts of the system, considering cost, geometry, environment, system scenarios, and to increase the lifespan of the system. [1, 2]

The parts manufacturing and assembly is the step where the pieces are made, and the systems are assembled and integrated. After the integration, the final verification and validation by the clients/stakeholders occurs.

2 | METHODOLOGY

The steps for the gathering and treatment of the necessities, generation, verification and validation of the requirements are presented as a flowchart in the Figure 2.

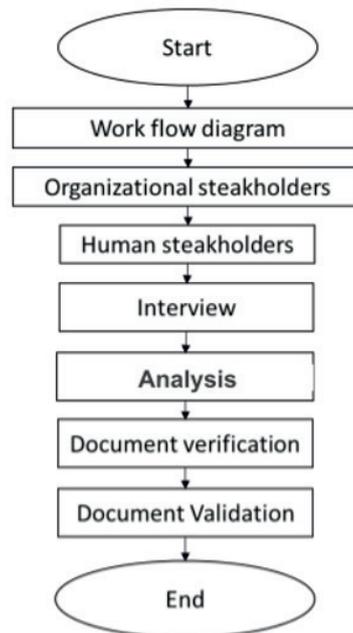


Figure 2 - Steps for the development and validation of Requirements

The methods for requirement elicitation applied were: interview, activities analysis, and Brainstorming.

For the interview, the following questions were used: What are the essential necessities of the system? What is use intended use for the system? How long the system will be in use? Is there any restriction to the system? What are the fundamental physical characteristics of the system? What are the fundamental chemical characteristics of the system? What is the ideal geometry of the system? What is the deadline to deliver the system? What is the cost limit of the system?

3 | RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1 Workflow Diagram

The first step was to elaborate the life cycle of the product, focusing in the workflow. Then, the stakeholder groups were identified through the activity analysis, which is shown in Figure 3.

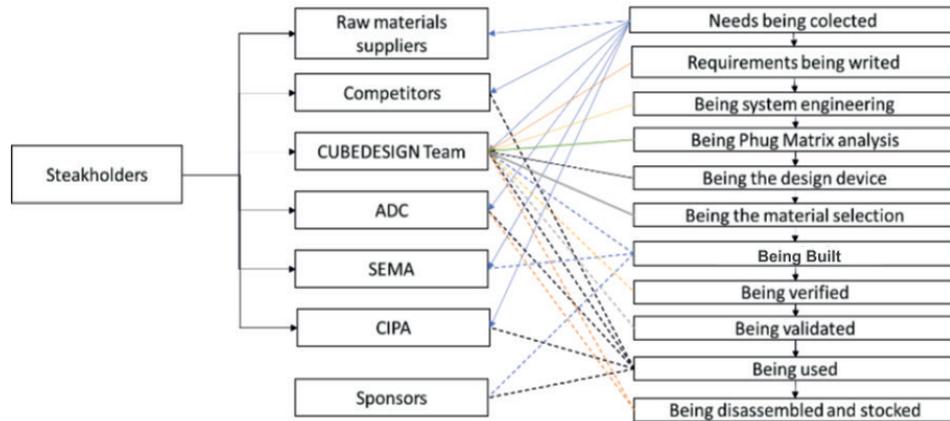


Figure 3 - Organizational stakeholder map in activities function

3.2 Organizational Stakeholders

Figure 4 shows the detailed analysis of the subgroup CUBEDESIGN / CanSat Team. The other subgroups are not shown.

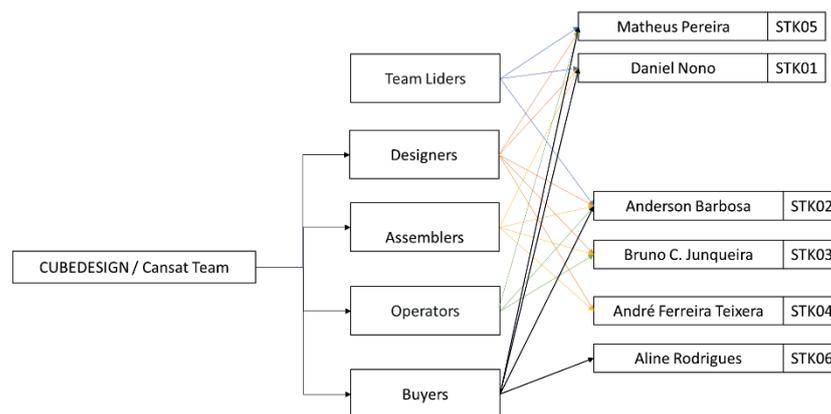


Figure 4 - Stakeholders for the Subgroup CanSat Team.

3.3 Interviews and analyzes

The interviews were effective to elicit the requirements. The experience showed that most of the stakeholders have confusing ideas, which reflect in greater time expending to sort the types of requirements. The results are shown in the columns one and two of the Table 1

3.4 Document Verification

The documentation was verified through the internet. The information was uploaded to a drive on the data cloud and the stakeholders verified if the requirements were acceptable.

This step was burdensome due to fact that the necessities weighting was discussed several times, until a solution that moderately satisfied the stakeholders was found.

3.5 Documents Validation

This step was less disturbed because the stakeholders had already verified the requirements and agreed with it. The work employed on the detailed verification was responsible for the fast validation of the requirements.

3.6 Requirements Results

The results of the requirement analysis and of the requirements obtained are shown in simplified version in the Table 1.

Number	Author	Type	Necessity	Author of the Necessity	Requirement	Verification Method	Validation Method	Verification Text	Rationale
RQT01	Daniel Nono	Performance	“Basically, it is necessary to verify the flight height and the CanSat dimension”	Eduardo Burguer	The system must be capable to throw CanSat at a height of 32 ± 1 meter.	Experimental and Modeling	Field Test	The verification must be done through the recording of the launch with 20 ± 0.3 cm. A standard of $1\pm 0,05$ m must be placed in the vertical, away $10\pm 0,3$ meters of the launching system, below and parallel to the flight trajectory. The recording must be analyzed and a geometric comparison between the flight apogee and the standard. The prototypes must follow the established criteria in the RQT05. Five launches must be done. The requirement will be considered verified if the flight height is of 32 ± 1 m.	The group decided that the launch must reach the center of the soccer field of ADC/INPE. Therefore, for a launch at 45° , it is necessary to reach this height.
RQT02	Daniel Nono	Performance	“Basically, it is necessary to verify the flight height and the CanSat dimension”	Eduardo Burguer	The system must be capable to throw CanSat at a height of 32 ± 1 meter.	Experimental and Modeling	Field Test	The verification must be done through the recording of the launch with 20 ± 0.3 cm. A standard of $1\pm 0,05$ m must be placed in the vertical, away $10\pm 0,3$ meters of the launching system, below and parallel to the flight trajectory. The recording must be analyzed and a geometric comparison between the flight apogee and the standard. The prototypes must follow the established criteria in the RQT05. Five launches must be done. The requirement will be considered verified if the flight height is of 32 ± 1 m.	The group decided that the launch must reach the center of the soccer field of ADC/INPE. The greater distance from the side to the center of the soccer field is, approximately, 32m.

RQT03	Daniel Nono	Performance	“Basically, it is necessary to verify the flight height and the CanSat dimension”	Eduardo Burguer	The system must be capable to throw a CanSat with radius of $3.0\pm 0.05\text{cm}$.	Experimental	Field Test	The verification must be done through the measuring of the distance of the launching system, with the help a calibrated caliper with a precision of 0.01mm. The requirement is verified if the diameter is bigger than $3\pm 0.05\text{cm}$	The competitions rules say that the official measures of a CanSat is of a diameter of $60\pm 0.1\text{mm}$, so it is necessary to verify if the CanSat will fit in the launcher.
-------	-------------	-------------	---	-----------------	--	--------------	------------	---	---

Table 1 – Results of the requirement analysis

4 | CONCLUSION

The requirements elicitation for the system Bazooka CanSat was inspired on the method applied by INPE in Satellites projects. The results were weighted among the stakeholders through arduous negotiations. Among the main problems found, the meeting between the expected launch height and the height that was possible to accomplish with the time and resources available was the hardest. The results accomplished were satisfying, even though some of the requirements could not be met. In fact, this sequence of methods to generate requirements helped the designers, assemblers, and operators of the system to accomplish the mission and to satisfy the stakeholders

ACKNOWLEDGMENTS

To the workers of INPE’s mechanical workshop for their disposition and help to find technical solutions. To Dr. Maria do Carmo de Andrade Nono for lend us the TECAMB’s group laboratory so we could build and assemble the Bazooka CanSat and to all CubeDesign 2 team for the support on the project.

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001

REFERENCES

[1] NASA Systems Engineering Handbook. Washington: United States Government Printing Office, 2008.

[2] IEEE Guide for Developing System Requirements Specifications. [Place of publication not identified]: [publisher not identified], 1998.

[3] ECSS-E-ST-10C 6 Space engineering. System engineering general requirements. Noordwijk, The Netherlands: ECSS Secretariat ESA-ESTEC Requirements & Standards Division, 2009.

[4] IEEE Std 830-1998: IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications. [S.l.]: IEEE, 1998.

CENTRAIS HIDROKINÉTICAS COMO MEIO PARA A REESTRUTURAÇÃO DEMOCRÁTICA DO SETOR ELÉTRICO

Data de aceite: 27/03/2020

Luiza Fortes Miranda

Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas – CERPCH, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá, Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/1457409258649701>

Geraldo Lucio Tiago Filho

Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas – CERPCH, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá, Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/1838249887289555>

RESUMO: Com a crescente preocupação ambiental, o setor energético está em processo de mudança e avanços tecnológicos possibilitam aproveitamentos com menores impactos ambientais. Fazem parte desse processo de transição energética o desenvolvimento de tecnologias para uso de fontes renováveis e o incentivo de geração distribuída na matriz elétrica. Essa transição de cenário proporciona a possibilidade de uma reestruturação democrática do sistema elétrico. Aliar desenvolvimento tecnológico a mudanças socioeconômicas e políticas é um desafio essencial, que deve ser considerado durante esse período de transição.

Fica claro que só a transição energética (que objetiva a redução de impactos ambientais) não garante a justiça e democracia energéticas; para obter uma ‘transição justa’ é preciso considerar a engenharia como instrumento que pode unir teoria acadêmica a conhecimentos e necessidades das comunidades. Nesse contexto, a tecnologia hidrocínética é apresentada como uma alternativa viável para aproveitamento hidrelétrico de baixo impacto ambiental e social. Centrais hidrocínéticas não utilizam barragens, pois a turbina é projetada para aproveitar a energia cinética dos rios e não a energia potencial; e, como suas potências são menores, são adequadas para geração distribuída. O presente artigo busca compilar informações e estudos de turbinas hidrocínéticas, além de abordar também o conceito de ‘democracia energética’, que tem se difundido na academia após ter surgido de movimentos populares. O estudo considera o contexto da América do Sul, com ênfase no caso brasileiro. A implementação de novas tecnologias de aproveitamento energético pode auxiliar na consolidação de sentido de sociedade das populações, inclusive daquelas de menor poder econômico, muitas vezes colocadas à margem das decisões.

PALAVRAS-CHAVE: Democracia energética.

HYDROKINETIC POWER PLANTS AS A MEANS FOR DEMOCRATIC RESTRUCTURING OF THE ELECTRICITY SECTOR

ABSTRACT: The environmental concern is growing; therefore, the energy sector is changing and technological advancements enable energy uses with minor environmental impacts. This process of energy transition includes the development of technologies for the use of renewable sources and the incentive of distributed generation in the electricity matrix. The scenario of transition provides the possibility of a democratic restructuring of the electricity system. Combining technological development with socioeconomic and political change is an essential challenge that must be considered during this transitional period. It is clear that only the energy transition (which aims to reduce environmental impacts) does not guarantee energy justice and democracy – in order to achieve a ‘just transition’, engineering must be considered and used as an instrument that can link academic theory with the knowledge and needs of communities. In this context, hydrokinetic technology is presented as a viable alternative for use of hydropower with low environmental and social impacts. Hydrokinetic power plants do not use dams because the turbine is designed to harness the kinetic energy of rivers rather than the potential energy, and also, as their powers are lower, hydrokinetic plants are suitable for distributed generation. This paper aims to compile information and studies of hydrokinetic turbines, as well as discuss the concept of ‘energy democracy’, which has spread to the academy after emerging from popular movements. The study considers the context of South America, with emphasis on the Brazilian case. The implementation of new energy technologies may help to consolidate the sense of society of the populations, including those of less economic power, that are often placed on the sidelines of decisions.

KEYWORDS: Energy democracy. Energy Transition. Hydrokinetic technology.

1 | INTRODUÇÃO

O homem utiliza diversas formas de energia e para as mais variadas finalidades, mas o acesso a tecnologias que facilitam a vida humana a partir de aproveitamentos energéticos não é uniforme na sociedade. Assim, as decisões energéticas são hierarquizadas e muitas vezes afastam o homem da consciência sobre os instrumentos que utiliza.

Parte relevante do aproveitamento energético humano passa pela forma de energia *eletricidade*. As redes elétricas permitem a utilização da energia em distância da ordem de grandeza do sistema de transmissão. O sistema elétrico se baseia em geração, transmissão e distribuição e esses três componentes da

indústria de eletricidade causam impactos sociais e ambientais. Dessa forma, a participação efetiva da sociedade nas decisões do setor elétrico impacta no setor e na cidadania vivenciada pelas populações.

Existem diversas formas de se gerar energia elétrica, a principal delas no Brasil é a geração a partir de aproveitamentos hídricos, que representam hoje mais de 60% da matriz elétrica brasileira (ANEEL, 2019). O aproveitamento hidrelétrico utiliza uma fonte interna, renovável e limpa, mas é conhecido que grandes hidrelétricas têm impacto social e ambiental relevante devido à necessidade de barragens e reservatórios. Uma alternativa para o aproveitamento hidrelétrico do potencial remanescente é a partir de centrais hidrocinéticas.

1.1 Breve explicação da tecnologia hidrocinética

Turbinas hidrocinéticas são turbinas que transformam energia cinética de correntes de água em potência de eixo – ao contrário de turbinas hidráulicas convencionais, não operam energia potencial. A equação da energia cinética (E_c) é dada na eq. (1):

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad [J] \quad (1)$$

Sendo m a massa e v a velocidade. A potência [Energia/Tempo] disponível (Pot_{disp}) no escoamento é dada na equação (2), sendo a quantidade de massa por unidade de tempo.

$$Pot_{disp} = \frac{1}{2}\dot{m}v^2 \quad [W] \quad (2)$$

O cálculo da vazão mássica, \dot{m} , é dado na equação (3), onde ρ é a massa específica do fluido e A é a área transversal ao fluxo.

$$\dot{m} = \rho Av \quad [kg/s] \quad (3)$$

Substituindo (3) em (2), chegamos na equação da potência disponível no escoamento, (4).

$$Pot_{disp} = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad [W] \quad (4)$$

A equação (4) representa, portanto, a potência que está disponível num dado escoamento de velocidade v , de fluido com massa específica ρ , numa dada área A (área da turbina, transversal ao escoamento).

A tecnologia de turbinas hidrocínéticas é análoga a turbinas eólicas (algumas referências que tratam desse assunto são Kumar e Saini (2016) e Laws e Epps (2016). Assim, sabemos que a velocidade do escoamento após a turbina não pode ser nula, ou seja, é impossível o aproveitamento total da $P_{ot_{disp}}$ pela turbina hidrocínética. Considerando esse aspecto, aparece um parâmetro importante tanto para turbinas hidrocínéticas quanto para eólicas: o coeficiente de potência (C_p), que é a porcentagem da potência disponível que é de fato transformada em potência de eixo (P_e) pela turbina, como mostra a equação (5) a seguir:

$$P_e = C_p \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad [W] \quad (5)$$

A potência de eixo depende então da área da turbina, da velocidade ao cubo do escoamento, da massa específica do fluido e da capacidade da turbina em aproveitar a potência disponível. O C_p das máquinas pode, teoricamente, variar de 0 a 0,593 (limite de Betz).

A partir da equação (5), nota-se a vantagem das turbinas hidrocínéticas em relação às eólicas devido a maior massa específica da água, mas é preciso considerar que a limitação de área é maior para turbinas hidrocínéticas do que para as eólicas, geralmente. Além disso, como para as turbinas eólicas, é necessário estudo dos melhores locais para aproveitamento (locais de maior velocidade de escoamento).

1.2 Turbinas hidrocínéticas e turbinas convencionais

A água é um recurso renovável e interno do país, por isso sua utilização para geração de energia sempre foi uma alternativa interessante para países que têm esse recurso em abundância. Porém, quando pensamos no aproveitamento de recursos hídricos para geração de eletricidade é comum pensarmos apenas nas grandes usinas hidrelétricas, que são conhecidas pelos grandes impactos ambientais e sociais.

Usinas hidrelétricas convencionais necessitam de barragens, condutos forçados, grandes estruturas para a casa de máquinas, subestações elevadoras para transmissão da energia. Assim, para construção de usinas convencionais é comum que se alague grandes áreas (destruição de fauna, flora, questões sociais de reassentamento, conflitos com povos indígenas pelo território), além de causar

impactos na vida e reprodução de peixes.

Já turbinas hidrocínéticas, por aproveitarem apenas a energia cinética dos rios, não necessitam de barragens, não represam água (evita o conflito de uso) e têm influência quase nula na vida dos peixes (AMARAL et al, 2011). É um tipo de aproveitamento que gera potências mais baixas do que as usinas hidrelétricas convencionais, por isso é adequado pensar em turbinas hidrocínéticas para geração distribuída, ligada diretamente à rede de distribuição (baixa tensão), ou mesmo para geração isolada.

Assim, não é possível resumir o aproveitamento hidrelétrico às grandes UHEs (Usinas Hidrelétricas, mais de 30MW instalados), é preciso considerar as possibilidades de aproveitamento de menor porte. Os aproveitamentos de menor porte são adequados à tendência de geração distribuída para ampliação da matriz elétrica brasileira, além de causarem menores impactos ambientais e sociais.

2 | DEFINIÇÃO DE DEMOCRACIA ENERGÉTICA

Para compreensão deste trabalho é imprescindível ter consciência da definição de ‘democracia energética’ considerada, para que não se cometa o erro comum de utilização de termos que se propagam em textos acadêmicos ao mesmo passo que são esvaziados de seu sentido concreto. Assim, a definição do que se tomou por ‘democracia energética’ ao longo da produção do presente artigo evita que se perca a motivação desse termo, que surgiu antes como ação em movimentos sociais e apenas depois na academia (VEELEN e HORST, 2018). Assume-se, portanto, o risco de tratar de um assunto complexo de maneira demasiadamente superficial, com o logro de esclarecer o escopo do trabalho.

Ao pensar em democracia energética, podemos considerar o significado de democracia, como direção a ser seguida para liberdade humana, a partir de decisões ligadas à vida das pessoas. Assim, democracia passa a ter um papel constitutivo em decisões que anteriormente eram tratadas apenas nos campos técnicos e econômicos (SOVACCOOL et al. 2016). Ao mesmo tempo que a palavra democracia assume um significado amplo e não formal, é necessário que sejam construídos os instrumentos que permitem a concretização da democracia.

Na questão formal, a luta por democracia energética pode ser tratada como processo gradual. Com inserção de meios para exercício da cidadania por parte das populações. Trazer populações antes excluídas para a tomada de decisão no setor elétrico já pode ser uma realidade, levando em conta os desenvolvimentos tecnológicos do setor (JENKINS, MCCAULEY e FORMAN, 2017). Mas, para diferentes realidades, medidas diferentes devem ser tomadas em prol da democracia energética, assim é imprescindível analisar o contexto tratado.

A democracia energética deve ser levada em conta ao se planejar o setor energético. A eletricidade ocupa papel relevante nesse setor, dessa maneira, a atenção para as formas de geração, transmissão e distribuição de eletricidade é crucial. A decisão dos meios tecnológicos pode ser meio de promoção da cidadania e ampliação de uma democracia concreta vivida por populações que hoje são excluídas das decisões. Essa democracia concreta só é possível quando se considera a democracia idealizada na concepção dos caminhos para o desenvolvimento tecnológico.

3 | CONTEXTUALIZANDO O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

O Setor Elétrico Brasileiro (SEB) possui características ímpares que o diferencia de outros sistemas elétricos no mundo, apontam-se (TOLMASQUIM, 2016) como características: predominância de geração hidrelétrica com participação (cada vez menor) de usinas com capacidade de regularização e usinas em cascata; complementariedade de características hidrológicas entre as regiões; extenso sistema de transmissão de longa distância – o Sistema Interligado Nacional (SIN) tem dimensão continental.

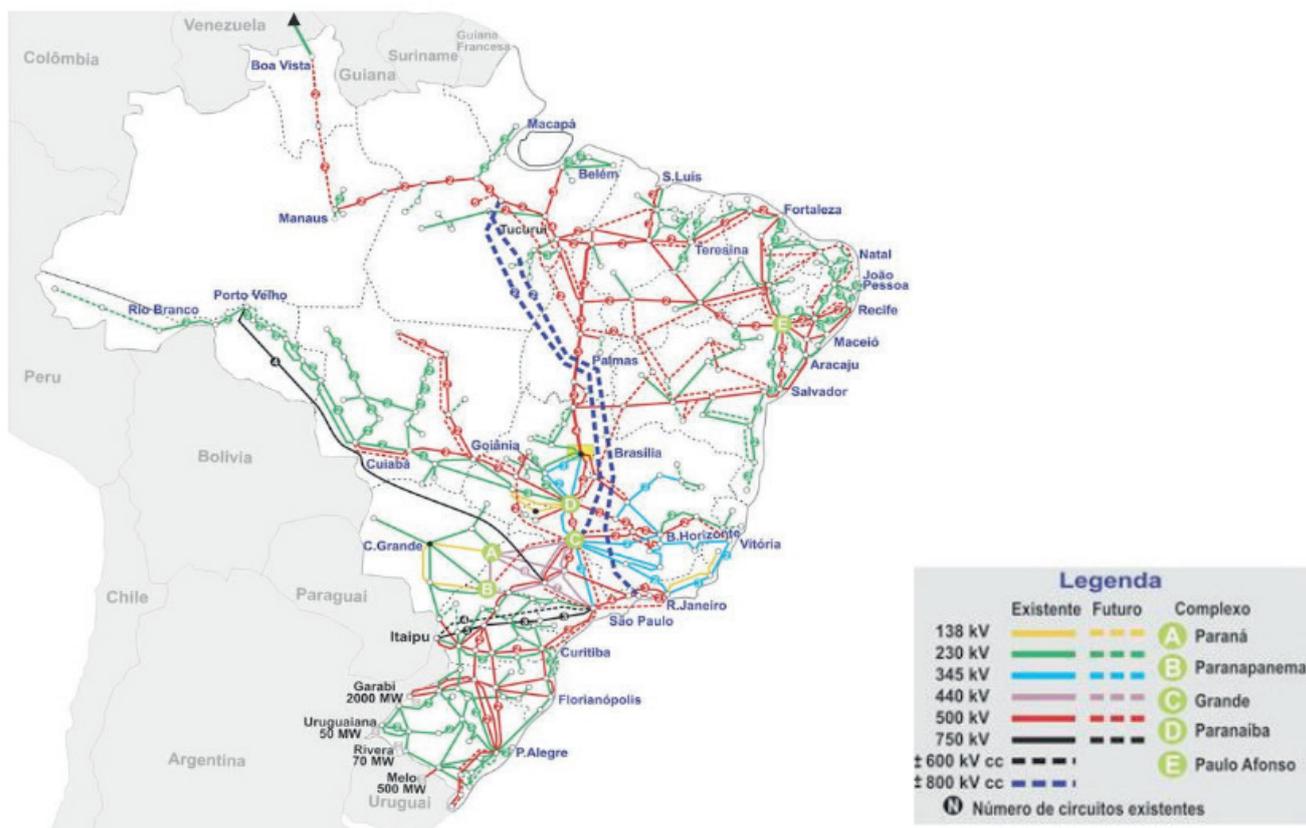


Figura 1 - Integração eletroenergética do SEB, horizonte 2017e: ONS, 2019

A Figura 1 caracteriza o SEB. É possível notar que grande parte do país é

abrangido pelo SIN, que é composto por quatro subsistemas, mas os estados do Amazonas, Acre e Roraima ainda possuem sistemas isolados.

A operação centralizada apresenta vantagens ao sistema predominantemente hidrelétrico, pois permite a utilização das usinas com reservatório de regularização para beneficiar não só a bacia dessa usina, mas todas as bacias integradas ao sistema. Para a complexa operação do SIN existe o Operador Nacional do Sistema, que realiza o despacho das usinas de maneira idônea e independente.

Para segurança no fornecimento de eletricidade, considerando o aumento de demanda e para assegurar um ambiente adequado ao desenvolvimento industrial, é preciso o incremento da potência instalada no país. Países atualmente desenvolvidos já exploraram largamente seu potencial hidráulico, sendo que os países em desenvolvimento ainda possuem possibilidade de expansão nesse campo. O Brasil apresenta significativo potencial hidrelétrico a ser explorado, sendo que 70% desse potencial se encontra nos biomas da Amazônia e Cerrado, de complexas questões ambientais e sociais (TOLMASQUIM, 2016).

3.1 Universalização do acesso à energia elétrica

O acesso à energia elétrica é um fator importante para desenvolvimento social e, concomitantemente, econômico de um país. A universalização desse acesso é então agenda imprescindível para as políticas públicas. Os impactos do acesso à energia elétrica são inúmeros e desencadeiam infinitos outros efeitos, sendo então de difícil mensuração. Como aspectos mais evidentes cita-se a iluminação artificial, a possibilidade de utilização de eletrodomésticos, o aumento na praticabilidade de fornecimento de serviços de saúde e educação.

É instintivo pensar que as regiões mais carentes de acesso à energia elétrica são rurais. As populações locais desassistidas na distribuição de energia muitas vezes poderiam se beneficiar da utilização da energia elétrica para auxílio na agricultura familiar ou desenvolvimento de outra atividade econômica. Cita-se como exemplo a possibilidade de se utilizar forrageiras elétricas (mais baratas em custo inicial e manutenção do que as que utilizam combustíveis fósseis).

Em regiões caracterizadas por longos períodos de seca a eletrificação se mostra ainda mais indispensável, pois permite o uso de bombas em poços, viabilizando o uso da água para as pessoas, para irrigação de plantações e hidratação dos animais.

Com o acesso à eletricidade, a iluminação pública se torna viável e estudo recente (FALSETE, 2013) relaciona o acesso à energia elétrica à redução na criminalidade, especificamente nos casos de homicídios.

A eletricidade, então, permite o desenvolvimento social e aliada a condições

econômicas favoráveis, movimentam expressivamente mercados; alguns dados quantitativos que representam essa importância econômica da eletricidade são apresentados na avaliação do Luz para Todos de 2009 (MME, 2009). O acesso à eletricidade deve, indubitavelmente, ser universalizado, sendo papel do Estado desenvolver políticas públicas que permitam essa universalização.

No Brasil, as políticas públicas de universalização do acesso à energia elétrica ganharam força a partir do programa Luz no Campo, em 2000. Esse primeiro programa teve sido substituído em 2003 pelo programa Luz para Todos. Esse segundo programa, com um modelo diferente e mais democrático, tem mostrado resultados positivos expressivos no desenvolvimento principalmente de zonas rurais. Com duração inicialmente prevista para apenas 5 anos, o Luz para Todos foi prorrogado diversas vezes e tem finalização prevista hoje para 2022.

O número de pessoas sem acesso à eletricidade é cada vez menor, graças à adoção de políticas públicas que priorizam a eletrificação. A Figura 2 a seguir mostra a faixa de porcentagem de população com acesso à energia elétrica por estado no Brasil em 2015 (IBGE, 2015).

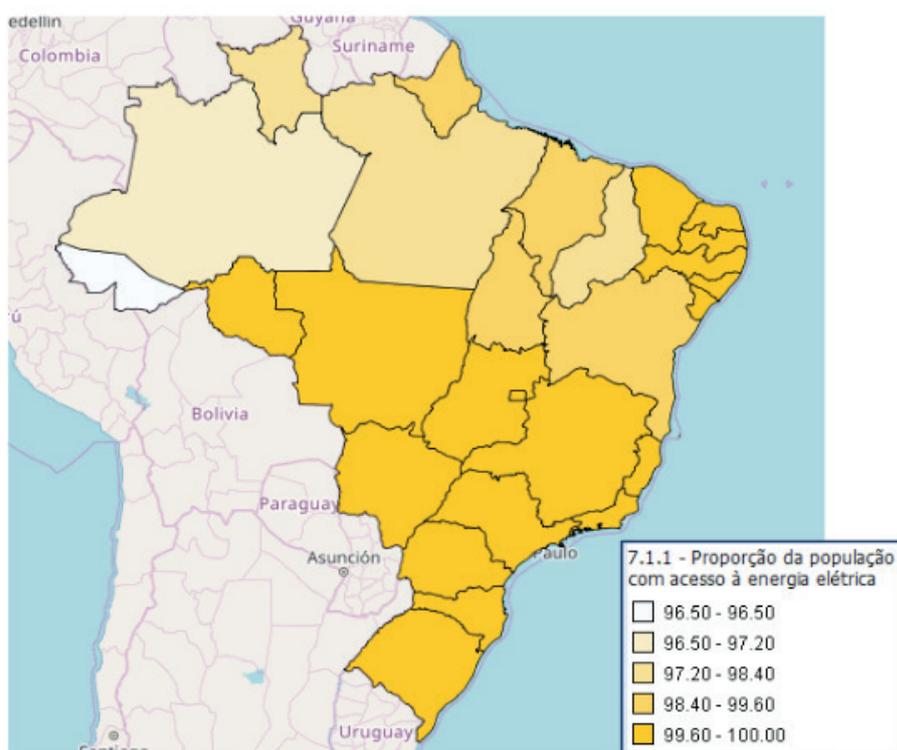


Figura 2 Proporção da população com acesso à energia elétrica no Brasil por estado em 2015

Fonte: IBGE, 2015

As populações que ainda não têm acesso à energia elétrica (ou têm acesso precário e intermitente) se encontram em sua maioria em locais de difícil acesso. Portanto, é preciso encontrar soluções tecnológicas para garantir o acesso dessas

pessoas à energia elétrica confiável e, de preferência, a partir de fonte renovável.

3.2 Possibilidades de integração energética

A indústria de gás natural e a de eletricidade apresentam características diferentes de outras indústrias, sendo consideradas indústrias de rede (possuem interdependência elevada entre os componentes da rede). Ao mesmo tempo que torna sua operação complexa, essa característica promove a possibilidade de integração regional. É possível também promover a transição energética para um modelo com menores impactos ambientais e socialmente adequado com integração regional (CINTRA, 2018). Existem casos de sucesso de integração energética na América Latina, devido à grande complementariedade entre as fontes nos diversos países (EPE, 2018).

A integração energética tem o papel de promover desenvolvimento econômico, segurança energética, sinergia entre outros setores estratégicos de diferentes países, incentivo a fontes renováveis de maneira sistêmica, entre outras vantagens. É evidente que para um planejamento adequado é preciso manter atenção na independência e soberania nacional.

Na América do Sul

Citando a integração na indústria de eletricidade entre países da América do Sul, a Empresa de Pesquisa Energética apresenta a Figura 3 para a integração elétrica na América do Sul (EPE, 2018).

América do Sul	ARG	BOL	BRA	CHI	COL	EQU	GUI	GFR	PAR	PER	SUR	URU	VEN
ARG													
BOL	S/C												
BRA	T	S/C											
CHI	T	S/C											
COL			S/C										
EQU						T							
GUI			S/C										
GFR			S/C										
PAR	G/T	S/C	G/T										
PER		S/C	S/C	S/C	S/C	T							
SUR			S/C				S/C	S/C					
URU	G/T		T										
VEN			T		T		S/C						

Legenda: G – Geração compartilhada.

T – Interconexão por linha de transmissão.

S/C – Países fronteiriços sem conexão.

Países com estudos/projetos de integração referenciados em seus Planos Nacionais de Energia.

Países não fronteiriços.

Figura 3 - Experiência de integração elétrica na América do Sul

A integração energética entre os países depende das ações diplomáticas. A União de Nações Sul-Americanas (UNASUL), por exemplo, apresentou documento (UNASUR, 2010) com objetivo de ampliar a integração energética entre os países participantes. Porém é conhecido que mediante descaso com essa organização intergovernamental e suas propostas, além do atrito ideológico entre governos, diversos países anunciaram saída da UNASUL, inclusive o Brasil.

4 | ESTABILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA HIDROcinÉTICA NOS CONTEXTOS BRASILEIROS – REESTRUTURAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO

Estamos diante de um processo inevitável de mudança do setor eletroenergético. Santos (2014) propõe que, em situações de mudança, o que está estabelecido tenta manter sua hegemonia, enquanto o novo encontra os caminhos para se tornar vigente. Um exemplo disso ocorreu na mudança do setor energético quando o petróleo assumiu o papel de principal fonte energética, ocupado anteriormente pelo carvão. Existem caminhos diversos para obtenção de uma matriz energética mais limpa e é relevante que esses caminhos sejam analisados e definidos, com o propósito de agregar desenvolvimento humano ao processo.

Temos pela frente a oportunidade de garantir o acesso à eletricidade para toda população, com segurança e a partir de fontes limpas, ao mesmo tempo que se ampliam as possibilidades de liberdade e democracia ao povo. Isso só é possível mediante interesse do Estado e dos movimentos populares em definir e efetivar esses caminhos.

Quando pensamos em geração distribuída e limpa, é preciso pensar em complementariedade de fontes. Não existe uma fonte energética ideal, todas acarretam impactos ambientais, sociais e de operação do setor. Nesse contexto, a tecnologia hidrocínética aparece como uma fonte interessante pelo baixo impacto ambiental e possivelmente social que ocasiona, além de estabilidade operacional e previsibilidade maiores do que a eólica e solar, por exemplo.

É imprescindível reconhecer que o processo de decisão das fontes energéticas pode se beneficiar de decisões democráticas. Considerar as opiniões e necessidades efetivas de quem será diretamente atingido é um passo que não deve ser ignorado. Essa medida democrática só é possível mediante difusão de informações sobre o setor elétrico e as fontes de energia e criação de instrumentos democráticos adequados, promovendo a cidadania e aumento da coesão social.

Muito tem se discutido sobre as possibilidades de ampliação da geração

distribuída e aumento do ambiente livre no setor elétrico brasileiro como possibilidade de ampliação da matriz elétrica de maneira limpa. Como um exemplo cita-se a Consulta Pública 33 do Ministério de Minas e Energia. Mas é preciso ir além e pensar em uma transição justa desse setor. Isso só é possível considerando as necessidades do povo, inclusive daqueles que vivem hoje à margem das decisões.

4.1 Sobre o papel da engenharia

Nesse contexto a engenharia aparece com papel central, visto que o setor elétrico contém aspectos técnicos irrefutáveis. Mas os aspectos sociais, econômicos e ambientais são tão irrefutáveis quanto os técnicos e devem ser encarados dessa maneira. A discussão interdisciplinar e com grupos de diferentes conhecimentos tem potencial de engrandecer o papel da engenharia e seus resultados.

A engenharia é imprescindível para encontrar soluções técnicas viáveis social, ambiental e economicamente. Para que isso ocorra, em um mundo globalizado e com cada vez mais especialização, a comunicação científica assume papel constitutivo da própria engenharia. É preciso que a ciência consiga se comunicar com os interesses das populações em diálogo e não de maneira impositiva, além de promover a interdisciplinaridade entre as ciências humanas e exatas.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou trazer informações relevantes para se pensar na inserção de diferentes visões também na produção tecnológica – não só na apropriação das tecnologias criadas num contexto pouco democrático – especificamente na geração de energia.

A engenharia deve considerar não só os limitantes físicos (técnicos) da natureza, mas também os humanos, sociais. É claro para qualquer projetista que não podemos obrigar a água a se comportar como queremos para que nossa turbina tenha maior eficiência (e sim que devemos projetar a máquina para conseguir aproveitar o máximo da energia disponibilizada no rio). Com igual clareza devemos considerar as questões humanas como imprescindíveis na execução de projetos de engenharia, visto que as máquinas devem se adequar e servir à sociedade e não o oposto.

A adequação de tecnologias aos diferentes contextos só pode ser feita mediante trabalho interdisciplinar, em grupo. A especialização das ciências (que possibilita conhecimentos específicos de grande valor) deve ser aliada a um trabalho conjunto; não se deve separar de todo as ciências, visto que devem servir a um só propósito: o ser humano.

Essas considerações são imprescindíveis ao se pensar na engenharia como

meio para promover o desenvolvimento de fato (que não é apenas econômico, mas também humano, social) no Brasil, um país caracterizado pela grande desigualdade social. Tendo a democracia e a justiça social como linhas diretoras, a promoção de novas fontes de geração de eletricidade tem potencial relevante para esse propósito.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Energias Oceânicas e Fluviais (INEOF) e ao CNPq pela concessão de bolsas de pesquisa. Agradecem ainda ao Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas (CERPCH) pelo apoio à pesquisa e divulgação de informações sobre o setor elétrico e fontes renováveis de energia.

REFERÊNCIAS

AMARAL, S. *et al.* **Evaluation of Fish Injury and Mortality Associated with Hydrokinetic Turbines.** Report by Alden Research Laboratory. pp 108. 2011. Disponível em: https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Evaluation_of_Fish_Injury_and_Mortality_Associated_with_Hydrokinetic_Turbines.pdf. Acesso em: 20 mar. 2019.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Banco de Informações de Geração:** BIG. 2019. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm> Acesso em: 15 mar. 2019.

CINTRA, Roberta H. S. **Panorama e perspectivas das políticas públicas e normativas para a transição energética no contexto da UNASUL.** Tese (doutorado) Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Panorama e perspectivas sobre integração energética regional.** 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/Integracao%20Energetica%20Regional.pdf> Acesso em: 23 mar. 2019.

FALSETTE, F. O., **O impacto do programa de eletrificação no Brasil na redução de homicídios.** Dissertação (Mestrado em Economia) – Fundação Getúlio Vargas, 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Percentagem da população com acesso à eletricidade.** 2015. Disponível em: <https://indicadoresods.ibge.gov.br/objetivo7/indicador711> Acesso em: 23 mar. 2019.

JENKINS, Kirsten; MCCAULEY, Darren; FORMAN, Alister. **Energy justice: A policy approach,** Energy Policy, Volume 105, 2017, Pages 631-634, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.052> Acesso em: 24 mar. 2019.

KUMAR, Anuj; SAINI, R.P. **Performance parameters of Savonius type hydrokinetic turbine – A Review,** Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 64, 2016, Pages 289-310, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.005> Acesso em: 20 mar. 2019.

LAWS, Nicholas D.; EPPS, Brenden P. **Hydrokinetic energy conversion: Technology, research, and outlook,** Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 57, 2016, Pages 1245-1259. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.189> Acesso em: 20 mar. 2019.

MME - Ministério de Minas e Energia. **Pesquisa Quantitativa Domiciliar de Avaliação da Satisfação e de Impacto do Programa Luz para Todos – Principais Resultados**. 2009. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3042878/Pesquisa+Quantitativa+Domiciliar+de+Avalia%C3%A7%C3%A3o+da+Satisfa%C3%A7%C3%A3o+e+de+Impacto+do+Programa+Luz+para+Todos/49b511b8-5ce3-46db-aed7-11c9abe6dd4a.jsessionid=551760B88FA2B910A25A383296C44F6F.srv155> Acesso em: 23 mar. 2019.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, “Mapas do SIN, horizonte 2017”, 2019. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas> Acesso em: 22 mar. 2019.

SANTOS, Milton. **Metamorfoses do espaço habitado**: fundamentos teóricos e metodológicos da geografia. 6ª edição, São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2014.

SOVACOOOL, Benjamin K. *et al.* **Energy decisions reframed as justice and ethical**, Nature Energy. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nenergy.2016.24> Acesso em: 24 mar. 2019.

TOLMASQUIM, Mauricio T. (coord.), **Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica**. – Rio de Janeiro: EPE, 2016. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-172/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf> Acesso em: 22 mar. 2019.

UNASUR – Unión de Naciones Suramericanas. **Decisión para la aprobación de los lineamientos de la estrategia energética suramericana, los lineamientos del plan de acción para la integración energética regional y la estructura del tratado energético suramericano**. 2010. Disponível em: http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_integracao/docs_UNASUL/DEC.2010.ESTRENERG.pdf Acesso em: 20 mar. 2019.

VEELEN, Bregje van; HORST, Dan van der. **What is energy democracy? Connecting social science energy research and political theory**, Energy Research & Social Science. Disponível em: Volume 46, 2018, Pages 19-28. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.06.010> Acesso em: 24 mar. 2019.

DE KAOS PARA SysML NA MODELAGEM DE SISTEMAS EMBARCADOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA

Data de aceite: 27/03/2020

Timóteo Gomes da Silva

Universidade Federal de Pernambuco -
Departamento de Eletrônica e Sistemas
Recife – PE- Brasil

<http://lattes.cnpq.br/7681172803641785>

Fernanda Maria Ribeiro de Alencar

Universidade Federal de Pernambuco -
Departamento de Eletrônica e Sistemas
Recife – PE- Brasil

<http://lattes.cnpq.br/1511532484752161>

Aêda Monalizza Cunha de Sousa Brito

Universidade Federal de Pernambuco -
Departamento de Eletrônica e Sistemas
Recife – PE- Brasil

<http://lattes.cnpq.br/1157311814704980>

RESUMO: Na modelagem de sistemas, de modo em geral, não se leva em consideração as razões e intenções que determinam as funcionalidades desses sistemas. A Engenharia de Requisitos Orientada a Objetivos (do inglês, Goal Oriented Requirements Engineering – GORE) visa resolver esse problema. Nesse contexto, está KAOS, que chega aos requisitos, pretendendo dar respostas às questões “Por quê?”, “Quem?” e “Quando?” sobre os objetivos/ metas previamente declarados. Por outro lado,

no desenvolvimento de sistemas complexos, nos quais os sistemas embarcados estão inseridos, utiliza-se a linguagem de modelagem SysML, mas que como UML, não dá muita atenção a dimensão das razões e intenções. Desta feita, pretende-se integrar KAOS a SysML através do mapeamento de seus quatro modelos para os diagramas da SysML. Alguns desses modelos são naturais à UML, no entanto SysML tem outras dimensões que precisam ser consideradas, sobretudo os novos diagramas: o de requisitos e o paramétrico. Como forma de verificar o grau de correção do pretendido mapeamento, pensa-se utilizar simulações através da modelagem em redes de Petri. Neste artigo são apresentados os primeiros resultados da revisão sistemática da literatura para a identificação de abordagens similares e de problemas ainda em aberto no contexto da modelagem de sistemas embarcados.

PALAVRAS-CHAVE: SysML. KAOS. Rede de Petri. Sistemas Embarcados.

FROM KAOS TO SysML IN EMBEDDED SYSTEMS MODELING: A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT: In systems modeling, in general, the reasons and intentions that determine the

functionality of these systems are not taken into account. Goal Oriented Requirements Engineering (GORE) aims to solve this problem. In this context, KAOS, which meets the requirements, intends to provide answers to the “Why?”, “Who?” And “When?” Questions about the previously stated objectives / goals. On the other hand, in the development of complex systems, in which embedded systems are embedded, the SysML modeling language is used, but that as UML does not pay much attention to the dimension of reasons and intentions. This time, we intend to integrate KAOS with SysML by mapping its four models to SysML diagrams. Some of these models are natural to UML, however SysML has other dimensions that need to be considered, especially the new diagrams: the requirements and the parametric diagrams. As a way to verify the degree of correction of the intended mapping, it is thought to use simulations through modeling in Petri nets. This paper presents the first results of the systematic literature review to identify similar approaches and problems still open in the context of embedded system modeling.

KEYWORDS: SysML. KAOS. Petri net. Embedded systems.

1 | INTRODUÇÃO

Sistemas embarcados estão remodelando a forma como as pessoas vivem, trabalham e se divertem (RIBEIRO, 2017). Esses sistemas, usados em transportes terrestres, medicina, eletrônica de consumo, ambientes aviônicos, robótica dentre outros, geralmente recebem dados de entrada a partir de sensores, processam esses dados usando microcontroladores ou microprocessadores, e enviam os resultados para atuadores e/ou interface com os usuários (BROY, 1997). A complexidade inerente aos diferentes domínios, aliada à necessidade de encontrar defeitos ou faltas de forma rápida e precisa, bem como as razões e intenções são alguns dos fatores importantes a serem considerados no desenvolvimento desses sistemas (PEREIRA et. al., 2017). Nesse contexto, às especificidades dos diversos tipos de sistemas, levam a uma complexidade na compreensão dos requisitos, que devem ser elicitados e traduzidos em funcionalidades. A fase inicial, de definição dos requisitos, em todo projeto é considerada a fase estrategicamente mais sensível. Isso por causa da sua subjetividade, com alta probabilidade de erro e/ou ausência de requisito, fazendo com que uma formalização que abrange as etapas de obtenção, especificação e análise de requisitos seja inviável nesta fase (SALMON, 2017). Neste sentido, existem pesquisas (SALMON, 2017; FRIEDENTHAL et. al., 2014) que antecipam essa formalização para as fases iniciais, através do uso de linguagens diagramáticas como UML e SysML.

Ao se tratar da engenharia de requisitos em sistemas embarcados, verificou-se que o perfil SysML foi especialmente concebido pelo Object Management Group

(OMG) para a análise e especificação de sistemas complexos. Com esse perfil, é permitida a captura de requisitos e a manutenção de links de rastreabilidade entre esses e diagramas de projeto resultantes da fase de projeto do sistema (FRIEDENTHAL et. al., 2008).

Por outro lado, além da formalidade trazida pelo uso de perfis, faz-se necessário considerar as razões e intenções capazes de determinar alternativas e configurações de funcionalidades nos sistemas pretendidos, bem como as responsabilidades. Nesse contexto, tem-se a popular abordagem de Engenharia de Requisitos Orientada a Objetivos (do inglês, *Goal Oriented Requirements Engineering* - GORE) (PARVEEN and IMAM, 2017). Em particular, o framework KAOS tem sido foco de alguns trabalhos (MARTINEZ, 2017; ENGELSMAN & WIERINGA, 2012) os últimos anos. Com KAOS pretende-se a construção de um modelo de requisitos que descreve o problema a ser resolvido e as restrições que devem ser superadas quando a solução é implementada (WATANABE, 2016). Além de fornecer uma linguagem para elicitar requisitos, KAOS pretende dar respostas a questões como “Por quê?”, “Quem?” e “Quando?” sobre os objetivos/metaspriamente declarados (LAMSWEERDE, 2003). KAOS envolve uma série de redes semânticas para a modelagem conceitual dos objetivos, hipóteses, agentes, objetos e operações do sistema (MARTINEZ, 2017). A análise se dá por meio de técnicas de refinamento de objetivos/metaspriamente, detecção de resolução de conflitos e delegação de responsabilidades a agentes (SANTOS, 2006). Para tal, o KAOS propõe quatro modelos: de objetivos; de responsabilidade; de objetos; e, de operações.

Neste trabalho, busca-se apresentar o andamento da pesquisa com relação à integração de KAOS com o perfil SysML. A partir da inserção de metas, os novos diagramas do SysML, de requisitos e de parâmetros, deverão ser verificados. Para tanto, será utilizada a abordagem de Salmon (2017), que propôs um método formal de modelagem, análise e verificação de requisitos, partindo de uma representação semi-formal, usando UML, e, posteriormente, o formalismo das redes de Petri para proceder a análise e verificação. A rede de Petri pode ser vista como um formalismo visual que pode explicar o comportamento físico de um sistema e seus componentes (FRIEDENTHAL et. al., 2014). Além do seu poder de representação, as redes de Petri também permitem a análise do sistema modelado, identificando conflitos, ciclos, comportamentos inesperados e *deadlocks* (SILVA, 2017).

O trabalho encontra-se estruturado da seguinte forma: na Seção 2 são apresentados os objetivos da pesquisa; na Seção 3, apresenta-se o andamento do trabalho e as contribuições esperadas; por fim, na Seção 4 são apresentadas as conclusões e trabalhos futuros.

2 | OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo principal desta pesquisa é realizar a integração de GORE, através de KAOS, à SysML, através da proposição de heurísticas de mapeamento automático de seus elementos. Assim, será possível uma descrição textual (SysML) que contemple razões/intenções e responsabilidades (KAOS) na modelagem de requisitos no contexto de Sistemas Embarcados. Ao mesmo tempo, o mapeamento será integrado ao ambiente de redes de Petri, como forma de verificação do mesmo. Na Figura 1 são descritas as etapas programadas para o desenvolvimento da pesquisa.

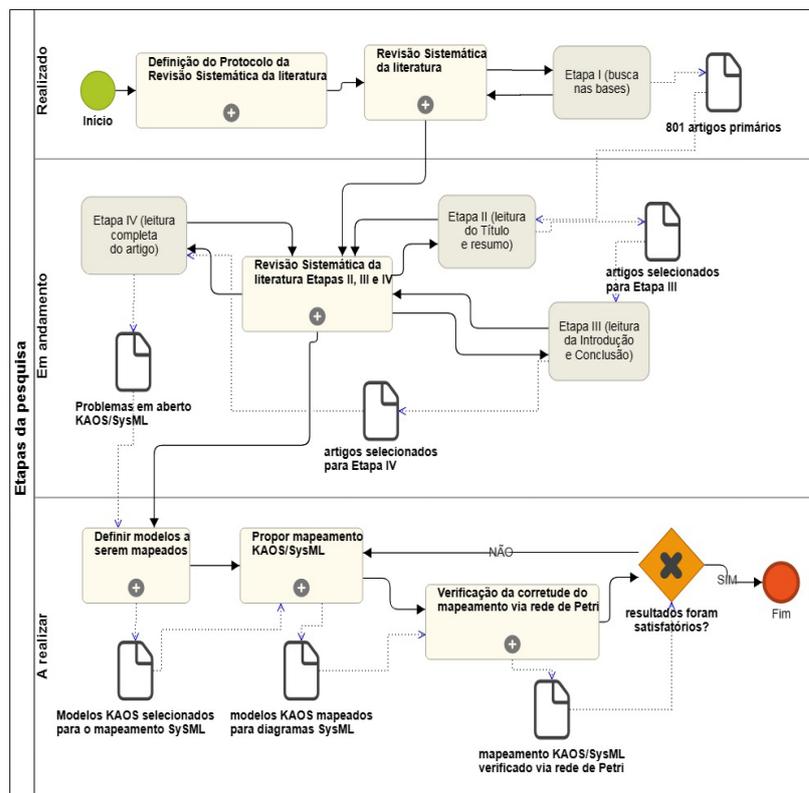


Figura 1. Etapas da pesquisa (Autor, 2018)

Conforme a Figura 1, já foram realizadas a definição do Protocolo da Revisão Sistemática da Literatura (RSL), documento norteador de toda a RSL (questões de pesquisa, bases de busca e etc), e a Etapa 1 da RSL, etapa responsável pela realização das pesquisas nas bases de acordo com as strings de busca definidas. O estágio em andamento demonstra que a Etapa II (leitura do título e resumo) da RSL está em curso, dando seguimento as Etapas III e IV, permitindo levantar os problemas em aberto no universo KAOS/SysML. Após conclusão dessa fase, serão realizados ainda os processos de definição dos modelos/elementos de KAOS que serão mapeados para SysML, isso baseado nos resultados obtidos na RSL. Em seguida será realizado mapeamento propriamente dito de KAOS/SysML (técnicas

de mapeamentos, ferramentas e etc). Uma vez concluído o mapeamento, será realizado o processo de verificação do nível de corretude do referido mapeamento, utilizando para isso redes de Petri.

3 | ANDAMENTO DO TRABALHO E AS CONTRIBUIÇÕES

Nesta seção são apresentados o andamento do trabalho e a metodologia adotada para este trabalho assim como as etapas já realizadas até o momento. Também são descritas as possíveis contribuições advindas desta pesquisa.

3.1 Revisão sistemática da literatura

Com o objetivo de identificar os problemas em aberto no que diz respeito ao uso de KAOS associado à SysML e Redes de Petri no desenvolvimento de Sistemas Embarcados, foi elaborado um protocolo de RSL, seguindo-se diretrizes consagradas na literatura (KITCHENHAM et. al., 2009). Nesse protocolo, procura-se responder a sete questões de pesquisa, sendo apresentadas três delas na Tabela 1. Foram definidas as palavras chaves (e seus sinônimos) e alinhadas em três *strings* de busca, dentre elas, a *string* 03, descrita na Tabela 2, não apresentando as demais por limitação de espaço.

#	Questão de Pesquisa
QP1	Existe algum mapeamento sintático e/ou semântico de KAOS para SysML?
QP2	Existe mapeamento dos elementos de SysML para Rede de Petri?
QP3	Quais os desafios/problemas identificados na literatura relacionadas à SysML em relação a verificação/validação em sistemas embarcados?

Tabela 1. Questões de Pesquisa

Fonte: (Autor, 2018)

String 03
(“SysML “ OR “ Systems Modeling Language “) AND (“KAOS “ OR “ Keep All Objectives Satisfied “ OR “ Knowledge Acquisition in automated specification) AND (“Petri net “ OR “ Petri Nets World” OR “Petri networks”) AND (“embedded system” OR “embedded software” OR “real time system” OR “safety critical systems” OR “embedded product”) AND (“Verification” OR “ Validation “ OR “Evaluation”)

Tabela 2. *String* de busca

Fonte: (Autor, 2018)

Realizou-se buscas em 8 bases de dados, conforme Figura 2. Na Etapa 1

foram identificados 801 artigos primários cujos resultados podem ser vistos na Figura 2. Atualmente o trabalho encontra-se na Etapa II (leitura da introdução e resumo), em andamento. Após concluir a Etapa II, será dado prosseguimento a revisão, realizando-se as Etapas III (leitura da introdução e conclusão de cada estudo selecionado na etapa II) e IV (os trabalhos oriundos da etapa III serão lidos por completo e aplicado os critérios de qualidade).

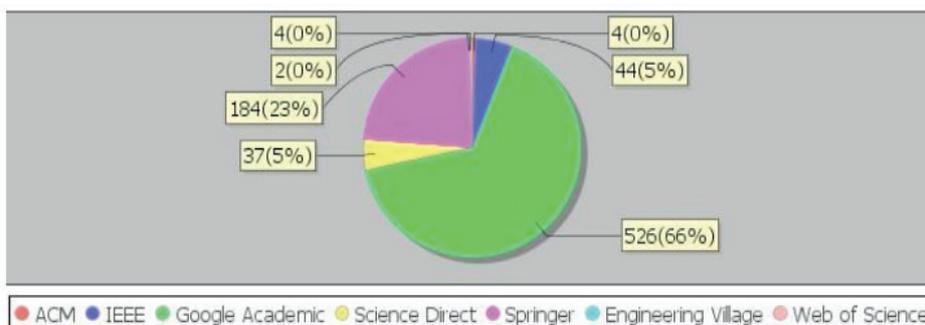


Figura 2. Artigos primários identificados na Etapa I (Autor, 2018)

3.2 Contribuições esperadas

A principal contribuição do trabalho serão as heurísticas de mapeamento automático dos elementos de KAOS para SysML, com isso enriquece-se a descrição textual (SysML) e com as razões, objetivos e responsabilidades (KAOS) dos requisitos na modelagem de Sistemas Embarcados. Pretende-se resolver a problemática da semântica entre as relações da SysML usando KAOS (AHMAD, 2015). Como em KAOS os NFRs são considerados apenas no nível arquitetural, SysML permitirá a avaliação de opções alternativas, risco e análise de conflitos com antecedência (AHMAD, 2015). Com SysML é possível verificar relações de rastreabilidade, o que não é tão explícita em KAOS (AHMAD, 2015; TUENO et. al., 2017). A verificação de corretude do mapeamento dos modelos de KAOS/SysML via rede de Petri poderá estender mapeamentos SysML/rede de Petri (TUENO et. al., 2017; CARNEIRO et. al., 2008) assim como propor novos mapeamentos SysML/rede de Petri.

4 | CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Até a fase atual da revisão sistemática, não foram encontrados trabalhos que mencionem o mapeamento de elementos de KAOS para diagramas da SysML. Foram identificados até o momento, alguns trabalhos relacionados que tratam de mapeamento de KAOS para outras linguagens, tais como método B (HASSAN et. al., 2010), BPMN (KOLIADIS and GHOSE, 2006; SOUZA and MOREIRA, 2018;

HORITA, 2014) e rede de Petri (MARTINEZ, 2017).

Como trabalhos futuros serão realizadas as etapas de: conclusão da RSL, definição dos modelos de KAOS e diagramas da SysML que serão mapeados e a verificação do mapeamento via rede de Petri. A análise via rede de Petri, será baseada em trabalhos como (SALMON, 2017; CARNEIRO et. al., 2008; ANDRADE et. al., 2009), onde serão reaplicados estes estudos de casos já validados de migração de diagramas de SysML/UML para rede de Petri , possibilitando a verificação da exatidão dos resultados advindo da modelagem com a proposta deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a UFPE e UPE pela disponibilização dos recursos necessários à elaboração do trabalho, assim como por todo apoio prestado.

REFERÊNCIAS

AHMAD, M.; BELLOIR, N.; & BRUEL, J. M. **Modeling and verification of functional and non-functional requirements of ambient self-adaptive systems.** Journal of Systems and Software, 107, 50-70, 2015.

ANDRADE, E.; MACIEL, P.; CALLOU, G.; & NOGUEIRA, B. **A methodology for mapping sysml activity diagram to time petri net for requirement validation of embedded real-time systems with energy constraints.** In Digital Society. ICDS'09. Third International Conference on (pp. 266-271). IEEE, 2009.

CARNEIRO, E.; MACIEL, P.; CALLOU, G.; TAVARES, E.; & NOGUEIRA, B. **Mapping sysml state machine diagram to time petri net for analysis and verification of embedded real-time systems with energy constraints.** In Advances in Electronics and Micro-electronics. ENICS'08. International Conference on (pp. 1-6). IEEE ,2008.

ENGELSMAN, W.; & WIERINGA, R. **Goal-oriented requirements engineering and enterprise architecture: Two case studies and some lessons learned.** In International Working Conference on Requirements Engineering: Foundation for Software Quality (pp. 306-320). Springer, Berlin, Heidelberg, 2012.

FRIEDENTHAL, S.; MOORE, A.; STEINER, R. **A practical Guide to SysML.** Morgan Kaufmann OMG Press, 2008.

FRIEDENTHAL, S.; MOORE, A.; STEINER, R. **A practical guide to SysML: the systems modeling language.** Morgan Kaufmann, 2014.

HASSAN, R. et al. **“Formal analysis and design for engineering security automated derivation of formal software security specifications from goal-oriented security requirements.”** IET software 4.: 149-160, 2010.

HORITA, H. et al. **Transformation approach from KAOS goal models to BPMN models using refinement patterns.** In: Proceedings of the 29th Annual ACM Symposium on Applied Computing. ACM, p. 1023-1024, 2014.

KITCHENHAM, B.; BRERETON, O. P.; BUDGEN, D.; TURNER, M.;

- BAILEY, J. AND LINKMAN, S. “**Systematic literature reviews in software engineering – A systematic literature review**” *Inf. Softw. Technol.*, vol. 51, no. 1, pp. 7–15, 2009.
- KOLIADIS, G. and GHOSE, A. “**Relating business process models to goal-oriented requirements models in KAOS.**” Pacific Rim Knowledge Acquisition Workshop. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006.
- LAMSWEERDE, A. V.: **Goal-oriented requirements engineering: From system objectives to uml models to precise software specifications.** Proceedings of the 25th International Conference on Software Engineering, IEEE Computer Society, p. 744–745, 2003.
- M. BROU. “**Requirements Engineering for Embedded Systems**” *Work. Form. Des. Saf. Crit. Embed. Syst. FEmSys* 1997, pp. 1–11, 1997.
- MARTINEZ SILVA, J. **Modelagem e análise de conhecimento para planejamento automático: uma abordagem baseada em GORE e redes de Petri** (Doutorado, USP), 2017.
- PARVEEN, S.; IMAM, A. **Analysis of different techniques of gore (goal oriented requirement engineering).** *Global Sci-Tech, Al-falah School of Engineering and Technology*, v. 9, n. 1, p. 22–36, 2017.
- PEREIRA, T.; ALBUQUERQUE, D.; SOUSA, A.; ALENCAR, F. and CASTRO, J. “**Retrospective and trends in requirements engineering for embedded systems: A systematic literature review**” in Proceedings of the XX Iberoamerican Conference on Software Engineering, 2017.
- RIBEIRO, Q. A. D. D. S. **Uma técnica baseada em SysML para modelar a arquitetura de sistemas embarcados de tempo real**, Dissertação - UFS, 2017.
- SALMON, A. Z. O. **Modelagem e análise de requisitos de sistemas automatizados usando UML e Redes de Petri.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2017.
- SANTOS, C. O. **Aplicação do modelo i* em um processo de análise de requisitos orientado a metas.** Faculdade de Ciências Exatas e da Natureza – UNIMEP, 2006.
- SILVA, C. E. A. D. **Desenvolvimento de Biblioteca para Aplicações de PNRD e PNRD Invertida Embarcadas em Arduino**, Monografia - Universidade Federal de Uberlândia, 2017.
- SOUZA, E.; MOREIRA, A. **Deriving services from KAOS models.** In: Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on Applied Computing. ACM, p. 1308-1315, 2018.
- TUENO, S.; LALEAU, R.; MAMMAR, A.; & FRAPPIER, M. **The SysML/KAOS Domain Modeling Approach.** arXiv preprint arXiv:1710.00903, 2017.
- WATANABE, N. **Uma Proposta de Modelagem Orientada a Personas para o Modelo de Objetivo Orientado a Contexto**, Brasília: UnB, 2016.

INTERNET OF THINGS NA ENGENHARIA BIOMÉDICA

Data de aceite: 27/03/2020

Data de submissão: 31/03/2020

Tatiana Pereira Filgueiras

Universidade do Estado de Santa Catarina
Joinville – Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/4348030324691122>

Pedro Bertemes Filho

Universidade do Estado de Santa Catarina
Joinville – Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/3574740269353806>

INTERNET OF THINGS IN BIOMEDICAL ENGINEERING

ABSTRACT: The design and implementation of biosensors systems for health monitoring has gained much attention in recent times due to the increase in the quality and duration of life. Such biosensors combined with the available information technologies open the door to a new area: the Internet of Things (IoT) in Biomedical Engineering. This article aims to provide a review of the state of the art and the main requirements when developing IoT devices for health, in order to serve as a reference for researchers and technology developers in the area.

KEYWORDS: Internet of Things; Biomedical Engineering; Health; Technology

RESUMO: O design e a implementação de sistemas biossensores para monitoramento da saúde têm ganho muita atenção nesses últimos tempos devido ao aumento da qualidade e duração da vida. Tais biossensores combinados com as tecnologias da informação disponíveis abrem as portas para uma nova área: a Internet of Things (IoT) na Engenharia Biomédica. Este artigo visa trazer uma revisão sobre o estado da arte e os principais requisitos ao desenvolver dispositivos IoT para a saúde, de forma a servir como referência para pesquisadores e desenvolvedores de tecnologia na área.

PALAVRAS-CHAVE: Internet of Things; Engenharia Biomédica; Saúde; Tecnologia.

1 | INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia nos últimos anos, dispositivos móveis e vestíveis (*wearables*) têm se tornado algo corriqueiro no dia-a-dia. É possível observar um futuro próximo onde, de modo geral, as pessoas tenham em seus corpos sensores monitorando continuamente seus sinais vitais e enviando os dados obtidos a uma base de dados

(HASSANALIERAGH et al., 2015).

Um sensor é um dispositivo que reage a partir de um estímulo externo, físico, biológico ou químico, transformando uma grandeza de entrada em outra grandeza de saída, dependendo do objetivo para o qual foi construído. Em termos de utilização, tais podem ser úteis em sistemas coletores de informação, a fim de monitorar e controlar determinados processos sem a necessidade de intervenção humana (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2011).

No contexto de tecnologia da informação (TI), avanços realizados nas áreas de Computação Móvel, Computação Ubíqua e *Cloud Computing*, trouxeram a tona uma nova realidade: a capacidade de conectar qualquer objeto comum à rede, com o objetivo de realizar tarefas e obter dados (COULOURIS et al., 2011).

A Computação Móvel trata da interconexão de dispositivos miniaturizados – notebooks, aparelhos portáteis (como smartphones, tablets etc.), aparelhos acoplados no corpo (como relógios, pulseiras etc.) e, dispositivos incorporados em aparelhos (como máquinas de lavar, carros etc.) – em rede e a integração destes a um Sistema Distribuído (SD), tornando o uso destes viável enquanto o usuário se desloca de seu ambiente usual (COULOURIS et al., 2011).

Segundo TANENBAUM (2007), um SD é um conjunto de computadores e softwares interconectados por rede que trabalham em conjunto para atingir um objetivo comum, parecendo ao usuário ser uma única máquina centralizada, o que se denomina transparência ao usuário.

Tratando-se de Computação Ubíqua (Computação Pervasiva) subentende-se que esta pode ser acessível em qualquer lugar a partir de qualquer objeto comum na vida diária – como uma caneta, por exemplo –, onde o comportamento computacional é transparente ao usuário (COULOURIS et al., 2011).

No contexto de *Cloud Computing* (Computação em Nuvem), o armazenamento de dados clínicos já é tema de diversas pesquisas (SELVI et al., 2017)(UDDIN et al., 2017). Esta define uma visão de computação distribuída como serviço público, onde serviços de aplicações, armazenamento e processamento computacional são acessíveis via Internet, com custos definidos a partir de quanto o usuário efetivamente usa, podendo este acessar tais serviços a partir de equipamentos não muito robustos, como *smartphones* (COULOURIS et al., 2011).

Baseada nas tecnologias citadas, uma nova revolução denominada *Internet of Things* (IoT) emergiu, possibilitando cientistas e pesquisadores a criar aplicações e soluções diversas interconectadas a objetos físicos (HASSANALIERAGH et al., 2015).

Por objetos físicos, entende-se que qualquer objeto real e comum pode se tornar inteligente (*smart*) por ter sido acoplado com pelo menos um sensor e com um transmissor de dados, capaz de conectar-se a uma rede de transmissão (ex.

Bluetooth, WiFi, GSM etc.) que possibilite o mesmo comunicar-se com *gateways* e/ou outros objetos também conectados a essa rede (HIREMATH et al., 2014).

A IoT, também conhecida no Brasil como Internet das Coisas, introduz o conceito de transformar objetos físicos em parte de um Sistema Distribuído, com o objetivo de colaborarem entre si e com outros dispositivos da rede em realizar tarefas de maneira mais robusta e ágil (HASSANALIERAGH et al., 2015).

No contexto medicinal, o custo elevado no cuidado com a saúde, o aumento da população idosa e das doenças crônicas no mundo demandam urgência em mudar o atual cenário centrado em hospitais para um cenário centrado no paciente (HASSANALIERAGH et al., 2015)(HIREMATH et al., 2014). Para tal fim, pesquisadores do ramo da engenharia biomédica não têm medido esforços para garantir o melhor cenário possível que atenda aos requisitos da *Home Care (Home Care Systems – HCS)* como (HASSANALIERAGH et al., 2015) (HIREMATH et al., 2014) (HE et al., 2015) (SU;SHIH, 2011) (RASHIDI; MIHAILIDIS, 2013).

Por engenharia biomédica (EB) entende-se que é a aplicação de princípios de engenharia e conceitos de design à medicina e biologia para fins de saúde (por exemplo, diagnóstico ou terapêutico), combinando habilidades de projeto e solução de problemas de engenharia com ciências biológicas médicas para avançar no tratamento de cuidados de saúde, incluindo diagnóstico, monitoramento e terapia (ENDERLE; BRONZINO, 2012).

Sobre HCS, este é o termo utilizado para o cuidado da saúde no ambiente doméstico do paciente (BOLAND et al., 2017). Os autores de (RASHIDI; MIHAILIDIS, 2013) citam que os principais objetivos desta abordagem é obter benefícios para o indivíduo – como aumento em sua segurança e em seu bem-estar –, para a economia – obtendo maior eficácia com recursos limitados – e, para a sociedade, melhorando as condições de vida.

No ambiente de *Home Care*, o monitoramento de informações fisiológicas não apenas reduzem os recursos humanos e recursos médicos de alto custo, mas sinais anormais podem ser detectados através de registros de longo prazo da saúde do paciente, além de a IoT permitir a localização do paciente em um determinado cômodo (SU;SHIH, 2011).

Inserindo a IoT ao monitoramento de sinais vitais, surge a *Wearable Internet of Things (W-IoT)* (HASSANALIERAGH et al., 2015). Esta pode ser definida como uma infraestrutura tecnológica que interconecta sensores capazes de monitorar vários aspectos do paciente, interligando-o a uma infraestrutura médica, com o paciente em sua casa. Um exemplo de uso que pode ser citado são os sensores incorporados a *smartphone* e *smartwatch* para detectar previamente sintomas -- como tremores -- do mal de Parkinson (VINOD et al., 2014).

Abordando pesquisas na área da W-IoT, algumas como (CAMARINHA, 2004)

dão suporte ao uso de Agentes Inteligentes com o objetivo de facilitar a tomada de decisão quanto a saúde do idoso e interação com o mesmo.

Do ponto de vista arquitetônico, agentes são entidades compostas por um identificador único e três componentes principais: código, dados e estado, além de possuírem um ciclo de vida associado ao seu estado de execução (FILGUEIRAS et al., 2018). Os agentes interagem entre si, formando o que se denomina de Sistema MultiAgente (MAS) e compartilham dados comuns, a fim de aumentar a velocidade da resolução do problema.

Além disso, eles cooperam entre si, dividindo a resolução de diferentes subproblemas, ou podem decidir, autonomamente, por aplicar diferentes estratégias de resolução a uma mesma tarefa. Para tanto, a missão dos agentes pode ser centralizada – na qual todos os agentes trabalham em direção a um único objetivo global – ou distribuída – na qual há vários objetivos individuais, podendo haver interação entre eles.

Com essas qualidades, torna-se atraente a utilização de MAS no contexto da saúde, uma vez que o mesmo pode auxiliar de maneira rápida e inteligente a tomada de decisões em determinado caso, agilizando o processo de cuidado e o socorro da vítima, se necessário (CAMARINHA, 2004).

Os autores de (SU;SHIH, 2011) abordam o uso de agentes inteligentes estáticos e móveis para o controle da saúde em idosos, onde os dados vitais (por exemplo, pressão arterial, oxigênio no sangue e frequência cardíaca) são medidos pelo cuidador e enviados ao agente central. Há um detector de quedas utilizando processamento de imagens capturadas por câmeras e um RFID central para controle da localização do idoso na residência. A comunicação entre o servidor local e o servidor do hospital se dá através de agentes móveis.

A proposta de (CAMARINHA, 2004) visa um modelo baseado em MAS para auxiliar idosos a interagir com a sociedade e obter um maior índice de individualidade e saúde mental e física. O projeto visa uma arquitetura baseada em agentes para que desenvolvedores possam implementar algumas funções como lembrete de agenda, banco de horas, entretenimento e status de vida, serviços de monitoramento (sensores) dentre outros.

Trabalhos como (RAJASEKARAN et al., 2009) visam a introdução de Inteligência Artificial (IA) na IoT para o controle e monitoramento de sinais vitais de pacientes em terapia, enquanto que (DARIANIAN et al., 2008) baseia-se num sistema com uso de RFID para facilitar a execução de serviços de limpeza e compras, por exemplo.

Além das propostas em pesquisa, há também dispositivos disponíveis comercialmente. Entre os exemplos a citar, está o oxímetro de dedo para a medição de taxa cardíaca e oxigenação no sangue disponível pela Philips (PHILIPS, 2016). Outro exemplo são os monitores de ritmo cardíaco da Polar (POLAR, 2019). Há

diversos modelos, como o que vai preso ao tronco do paciente por um cinto e possui monitor embutido em um relógio para monitoramento.

Baseado no levantamento bibliográfico realizado, como principal contribuição dessa pesquisa, propomos uma investigação do estado da arte do uso da Internet das Coisas na área de Engenharia Biomédica.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente se realizou uma pesquisa bibliográfica através de uma revisão de literatura aprofundada sobre sensores e transdutores, sistemas distribuídos, engenharia biomédica e IoT. Paralelamente, obteve-se conhecimento sobre o estado da arte do uso de IoT em Engenharia Biomédica através de levantamento e pesquisa de artigos e *journals* na área.

2.1 Arquitetura do sistema

Ilustrado pela Figura 1, o modelo arquitetural de W-IoT tem sido proposto na maioria dos artigos e livros seguindo um mesmo padrão. Para a aquisição de dados, múltiplos sensores são acoplados ao corpo do paciente a fim de coletar sinais vitais como oximetria, temperatura, ECG, postura, etc.; alguns destes sensores sendo relatados na Tabela I.

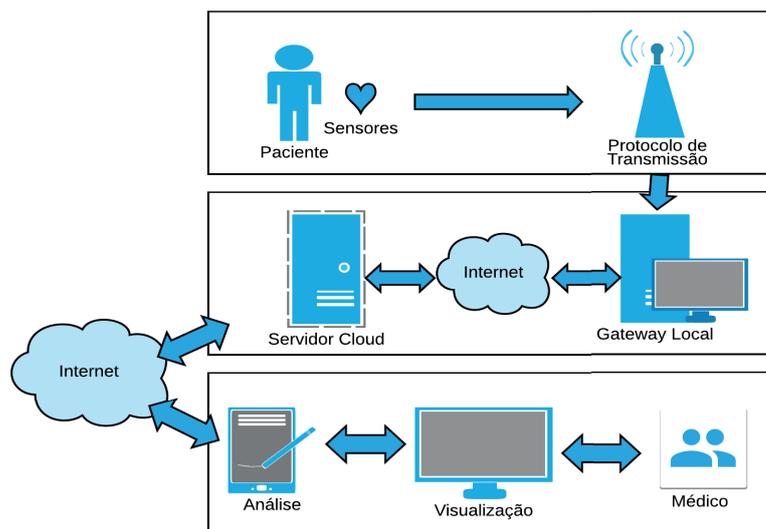


Figura 1. Componentes de Home Care baseados na arquitetura IoT-Cloud

Tipo de Biosinal	Tipo de Sensor	Dados Adquiridos
Temperatura	Temperatura	Temperatura corporal
ECG	Eletrodos	Atividade elétrica do coração (contração/relaxamento)
Pressão Arterial	Pressão	Força exercida do sangue nos vasos sanguíneos
Oxigenação Sanguínea	Oxímetro	Oxigenação do sangue
Ritmo Cardíaco	Oxímetro/Eletrodos	Frequência cardíaca
Movimento	Acelerômetro	Movimento do corpo em três eixos
Rotação	Giroscópio	Rotação do corpo em três eixos

TABELA I. BIOSENSORES E BIOSSINAIS

Os sinais obtidos são posteriormente transmitidos para um intermediador denominado *gateway* (Gateway Local). Os sensores utilizam protocolos de rede como os listados na Tabela II para transferir seus dados ao *gateway*, que fará a retransmissão dos mesmos à um servidor remoto (Servidor *Cloud*).

	Taxa de Transferência (max)	Consumo (mW)	Banda de Frequência	Alcance
Bluetooth	1 - 3Mbps	2.5 - 100	2.4 GHz	10m - 100m
GSM	10 Mbps	8 - 65	100 KHz	>1km
Zigbee	20 - 40Kbps	30	868MHz - 2.4GHz	10m - 75m
6LoWPAN	250Kbps	<10	868MHZ - 2.4GHZ	10m - 200m
Wi-Fi	>867Mbps	>100	2.4 - 5GHz	46m - 1km
NFC	106 - 424Kbps	60 - 200	13.56MHz	>10cm

TABELA II. PROTOCOLOS WIRELESS

A etapa Análise usa os dados adquiridos pelos sensores e enviados ao Servidor *Cloud*, podendo auxiliar no diagnóstico e prognóstico do paciente baseado em quantidade de condições saudáveis e não saudáveis. Já a visualização é a chave para qualquer sistema funcionar bem, pois é inviável que o médico avalie cada dado adquirido dos sensores, portanto, é realizada uma formatação destes em formato gráfico ou outro tipo facilmente legível e observável na etapa Visualização.

2.2 Coleta e análise de dados

Após a pesquisa realizada, obteve-se como uma das principais propriedades dos sensores a serem utilizados a capacidade de adquirir diversos tipos de sinais do paciente, a fim de um monitoramento completo.

Os sensores devem ser pequenos, leves e eficientes, e não devem atrapalhar os movimentos do usuário. Devem consumir pouca bateria e operar em tempos longos para evitar a necessidade de muitas recargas. É necessário também uma plataforma mínima de rede para envio dos dados ao *Gateway Local*.

O requisito de gastar pouca bateria tem sido um desafio e tema de diversas pesquisas na área de *Wireless Sensors Networks* (WSN) como (OLORODE; NOURANI, 2014) (PARK et al., 2006) (TORFS et al., 2006). Uma técnica muito utilizada é adequar os sensores à condição do paciente, por exemplo, se o

paciente demanda mais atenção em áreas abordadas por um grupo de sensores (ex. sinais cardíacos), o outro grupo (ex. eficiência pulmonar) pode ser desligado temporariamente a fim de economizar bateria.

No contexto de formatação e análise de dados, a IoT possibilita o uso de algoritmos inteligentes os quais permitem que manipulações manuais sejam mínimas. A IA pode ser utilizada a fim de reconhecer correlações entre dados do sensor e os diagnósticos clínicos, e usando esses dados com a duração (tempo) e agrupamento é possível obter diagnósticos mais exatos, tornando possível a identificação precoce de enfermidades, personalização no atendimento e redução de custos. Uma das áreas que abrangem a IA é a tecnologia de agentes inteligentes, mencionada e descrita na seção 1.

2.3 Implementação

Alguns dispositivos de IoT para saúde já estão disponíveis comercialmente. Conforme pesquisa realizada por (PANTELOPOULOS; BOURBAKIS, 2010), alguns níveis de maturidade precisam ser atendidos para satisfazer as necessidades atuais de uma população. Dentre esses níveis estão a habilidade de medir múltiplos parâmetros, a documentação da solução, o reconhecimento do trabalho na comunidade acadêmica, fazer uso de métodos atualizados e, ter algoritmos inteligentes para a extração de dados ou suporte a decisão.

3 | DISCUSSÕES

Este artigo apresentou uma breve revisão sobre o estado da arte da IoT na Engenharia Biomédica e seus requisitos.

Conforme abordado em II, os sistemas IoT para fins de saúde precisam seguir alguns pré-requisitos e atingir certo nível de maturidade desejável à comunidade acadêmica.

Apesquisa realizada em (SU;SHIH, 2011) é atrativa, porém, como desvantagem, há a necessidade em se obter acesso aos computadores centrais de uma clínica ou hospital com os dados do paciente, uma vez que a tecnologia de agentes torna necessária a instalação de frameworks. Outra desvantagem é a não integração entre sensores e agente: quem insere os dados vitais do paciente no programa é o próprio cuidador. Por último, o sistema utiliza câmeras para detectar possíveis quedas, o que o torna um projeto de alto-custo.

CAMARINHA (2004) abordou apenas tópicos nunca testados e continua sendo apenas uma proposta para a comunidade acadêmica.

Os dispositivos comerciais citados possuem preço agressivo (não menor a

R\$1000,00) e realizam a medição de apenas um ou dois parâmetros, com foco em demonstrar o gráfico dos sinais de resposta para fins de estética, porém, sem possuir quaisquer algoritmos inteligentes que auxiliem na coleta, formatação e classificação dos dados. Além disso, para fins acadêmicos, a documentação disponível não é clara no quesito da concepção dos dispositivos, limitando-se apenas em fornecer um “manual de usuário”.

4 | CONCLUSÃO

Dentre as pesquisas citadas e a classificação de nível de maturidade sugerida por (PANTELOPOULOS; BOURBAKIS, 2010), é possível concluir que nenhum trabalho atual atende plenamente todos os requisitos.

Nosso grupo de pesquisa está atualmente trabalhando em um dispositivo multi-parâmetro com utilização de MAS para controle de saúde e queda de idosos. O protótipo está em desenvolvimento e espera-se que o mesmo abranja as condições mínimas requeridas e o nível de maturidade desejável à comunidade acadêmica.

REFERÊNCIAS

A. BALBINOT; V. J. BRUSAMARELLO. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas**, 2a. ed. LTC, 2011.

A. PANTELOPOULOS; N. G. BOURBAKIS. **A Survey on Wearable Sensor-Based Systems for Health Monitoring and Prognosis**. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), pp.1 - 12, 2010.

A. S. TANENBAUM; M. VAN STEEN. **Distributed Systems: Principles and Paradigms**. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2007.

B. COAKLEY. **O impacto da IoT e Wearables na saúde**. Disponível[online]: <http://www.gessaude.com.br/blog/oimpacto-da-iot-e-wearables-na-saude/>. Acessado em 25 jun. 2019.

C. PARK et al. **An ultra-wearable, wireless, low power ecg monitoring system**. in Biomed I Circuits and Sys. Conf., BioCAS 2006. IEEE, pp. 241–244, 2006.

C. SU; S. C. SHIH. **Building Distributed E-Healthcare for Elderly Using RFID and Multi-Agent**. International Journal of Engineering Business Management, Vol. 3, No. 1, pp. 16-26. 2011.

D. HE et al. **Robust anonymous authentication protocol for health-care applications using wireless medical sensor networks**. Multimedia Systems. Volume 21, Issue 1, pp 49–60, 2015.

G. COULOURIS et al. **Distributed Systems: Concepts and Design**. Addison-Wesley Publishing Company, USA. 2011.

J. D. ENDERLE; J. D. BRONZINO. **Introduction to Biomedical Engineering**. Academic Press. pp. 16–. ISBN 978-0-12-374979-6, 2012.

L. BOLAND et al. **Impact of home care versus alternative locations of care on elder health**

outcomes: an overview of systematic reviews. BMC Geriatr 17, 20 doi:10.1186/s12877-016-0395-y, 2017.

L. M. CAMARINHA; H. AFSARMANESH. **TeleCARE: Collaborative virtual elderly support communities.** In Proceedings of the 1st Workshop on Tele-Care and Collaborative Virtual Communities in Elderly Care}, Porto, pp. 1-12, 2004.

M. C. SELVI et al. **Wireless sensor based healthcare monitoring system using cloud.** Inventive Systems and Control. (ICISC) 2017 International Conference on, pp. 1-6, 2017.

M. DARIANIAN; M. P. MICHAEL. **Smart home mobile RFID-based Internet-of-Things systems and services.** In: 2008 International conference on advanced computer theory and engineering. IEEE, p. 116-120, 2008.

M. HASSANALIERAGH et al. **Health Monitoring and Management Using IoT Sensing with Cloud-based Processing: opportunities and Challenges.** IEEE International Conference on Services Computing, p. 285. 2015.

M. P. RAJASEKARAN. **Elderly patient monitoring system using a wireless sensor network.** Telemedicine and e-Health, v. 15, n. 1, p. 73-79, 2009.

M. UDDIN et al. **SDN-based service automation for IoT.** Network Protocols (ICNP), IEEE 25th International Conference on, pp. 1-10, 2017.

O. OLORODE; M. NOURANI. **Reducing leakage power in wearable medical devices using memory nap controller.** in Circuits and Sys. Conf. (DCAS), IEEE Dallas, pp. 1–4. 2014.

PHILIPS. **PHILIPS OXIMETRY.** Disponível[online] <https://www.philips.com.br/c-dam/b2bhc/br/resource-catalog/landing/acessorios-e-consumiveis/Accessorios2.pdf>, 2016.

POLAR. **Monitores Cardíacos.** Disponível[online]: <https://www.polar.com/br/produtos>. 2019.

P. RASHIDI; A. MIHAILIDIS. **A survey on ambient-assisted living tools for older adults.** IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, vol. 17, no. 3, pp. 579–590, 2013.

S. HIREMATH et al. **Wearable Internet of Things: Concept, architectural components and promises for person-centered healthcare.** 4th International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare - Transforming Healthcare Through Innovations in Mobile and Wireless Technologies, pp.304 - 307, 2014.

S. VINOD et al. **SPARK: Personalized Parkinson Disease Interventions through Synergy between a Smartphone and a Smartwatch.** Design, User Experience, and Usability. Springer International Publishing, pp. 103-114. 2014.

T. P. FILGUEIRAS et al. **RT-JADE: A preemptive real-time scheduling middleware for mobile agents.** CONCURRENCY AND COMPUTATION-PRACTICE & EXPERIENCE, v. 1, p. e5061, 2018.

T. TORFS et al. **Body-heat powered autonomous pulse oximeter.** In 5th IEEE Conf. on Sensors, pp. 427–430, 2006.

AVALIAÇÃO DE TOPOLOGIAS DE FONTES DE CORRENTE EM BIOIMPEDÂNCIA ELÉTRICA

Data de aceite: 27/03/2020

David William Cordeiro Marcondes
Pedro Bertemes Filho

RESUMO: Fonte de corrente controlada por tensão compõe um dos blocos críticos em sistemas de espectroscopia por bioimpedância elétrica. Seu design está diretamente associado a precisão e alcance, em termos da frequência, do espectro de impedância. Este artigo apresenta uma análise comparativa e de desempenho das principais topologias de fontes de corrente encontradas na literatura voltada a espectroscopia de bioimpedância elétrica. As topologias selecionadas foram: fonte de corrente Howland modificada, *driver* de corrente em malha aberta, malha fechada com amplificador de transcondutância e malha fechada com transferência não linear. O critério de seleção adotado se baseou nas características e peculiaridades do design. Analisa-se, em cada um dos circuitos, suas principais limitações e aplicações. Para a fonte de corrente Howland, é apresentado um modelo analítico simplificado dos parâmetros que impactam a performance. Conclui-se que a fonte Howland apresenta maior flexibilidade dentre as aplicações em

espectroscopia de bioimpedância elétrica, com suas características dependentes do design

PALAVRAS-CHAVE: Fonte de corrente Howland. Fonte não linear. Espectroscopia de bioimpedância elétrica.

1 | INTRODUÇÃO

Para medir impedância, eletricamente, existem dois caminhos possíveis: fazer uma tensão conhecida circular no objeto de estudo e então obter a correspondente resposta em corrente. Ou, inversamente, injetar uma corrente conhecida para obter a queda de tensão associada. A primeira abordagem, igualmente válida, encontra problemas de ordem técnica quando se trata da impedância de tecidos biológicos. Se pouco é conhecido sobre a impedância total vista sobre os eletrodos de excitação, isto é, que aplicam uma diferença de potencial sobre o objeto em estudo, então a amplitude da corrente de resposta ao estímulo também será desconhecida. Para medir corrente elétrica, em pequenas amplitudes, é necessário um conversor de transimpedância. A saída deste conversor, em tensão elétrica, geralmente é limitada a uma janela de excursão de sinal que

depende de uma escala propriamente escolhida com base na corrente de entrada. Oras, se não se conhece esta última, como determinar a escala do conversor? Esta é uma das principais limitações de uso do circuito integrado *AD5933* para obter a impedância de tecidos biológicos.

Por outro lado, a excitação do objeto em estudo por uma fonte de tensão possui a vantagem de eliminar o efeito de capacitâncias parasitas na medida que a fonte de tensão se aproxima do comportamento ideal, isto é, impedância de saída nula. A capacitância presente nos fios que conectam os eletrodos até a saída ativa da fonte encontram um nó de baixa impedância, formando um polo de alta frequência na saída da fonte, o que estende a banda de frequência de operação do sistema de medida. O efeito capacitância parasita formada pela polarização de eletrodo, que em alguns casos pode atingir a ordem de algumas centenas de *nF* [1], é eliminado se o estágio de saída da fonte de tensão possui saída de corrente o suficiente para que o tempo de carga e descarga deste capacitor seja menor que o período da máxima frequência de interesse.

Ao utilizar uma fonte de corrente para estimular o objeto de estudo, o problema de fundo de escala do conversor de transimpedância desaparece, dando lugar a medida da queda de potencial que é resposta ao estímulo. Esta abordagem tem diversas vantagens: **1)** É possível utilizar um sistema de medida de 4 eletrodos, onde não é necessário ter um eletrodo em comum entre a corrente de retorno e a leitura de potencial. Desta forma, o eletrodo de leitura pode ser posicionado em diferentes regiões do objeto. **2)** Melhor excursão de sinal. **3)** Não possui a banda de operação limitada pelo ganho¹, o que significa manter linearidade (no caso de circuitos com malha fechada) em frequências maiores [2]. Entretanto, a principal desvantagem do uso de fontes de corrente consiste na sua alta impedância de saída que, junto com capacitâncias parasitas associadas, criam um polo de baixa frequência que limita a banda de frequência na espectroscopia de impedância elétrica. Entretanto, reduzindo a capacitância parasita de cabos e/ou utilizando um circuito compensador de impedância [3], é possível reduzir a limitação na banda de operação.

As vantagens em se utilizar uma fonte de corrente controlada por tensão para aferir impedância justificam seu uso preferencial na literatura de espectroscopia de bioimpedância elétrica [4]. Este artigo discute as principais topologias de fontes de corrente usadas atualmente, comparando as soluções selecionadas da literatura entre si.

1. Em amplificadores operacionais comuns, o produto da banda de operação em frequência e ganho é constante

2 | RESTRIÇÕES DE DESIGN

Fontes de corrente para bioimpedância devem possuir: **A)** saída de alta impedância, **B)** banda de frequência de operação mínima da ordem de alguns M Hz; **C)** baixo atraso de fase; **D)** baixo consumo de energia devido à necessidade de dispositivos portáteis alimentados por bateria. Os requisitos **B** e **C** estão diretamente relacionados. Se a fonte possui um polo dominante, então nas proximidades deste polo a diferença de fase aumenta. Se a fonte de corrente é utilizada para aferir a parte imaginária da impedância do tecido e, além disso, o polo dominante se relaciona com a capacitância parasita total vista na saída da fonte, então a diferença de fase afeta diretamente os algoritmos significativos da medida. Em um design típico, na banda de frequência requerida, este atraso de fase não deve ser maior que 5° [5], com o risco de comprometer a medida da parte imaginária da impedância.

Manter alta impedância de saída em toda a faixa de medição é fundamental para alcançar resolução adequada em sistemas de imagem por espectroscopia de impedância elétrica [6]. Se a saída contém uma carga Z_L , a impedância de saída da fonte de corrente, Z_o , cria um caminho alternativo para a corrente de saída. A corrente pressuposta a circular na carga, desta forma, contém um erro da ordem de Z_L/Z_o , o que leva a impedância aferida propagar este erro para resto do sistema. Em sistemas de imagem por impedância elétrica, este erro se associa diretamente a resolução das imagens. Tipicamente, tolera-se um erro da ordem de 0.1% nestes sistemas [6]. Para medir uma carga de $1k \Omega$, por exemplo, a impedância mínima de saída da fonte de corrente é $1M \Omega$.

Entretanto, as características **A**, **B**, **C** e **D** não são mutualmente independentes. É comum o projetista encontrar uma situação onde algum *trade off* surge para limitar o design, nos conformes da aplicação desejada. Por exemplo, a escolha do amplificador operacional utilizado numa fonte Howland se depara em diversas classes. Amplificadores com alta velocidade e grande banda de frequência de entrada geralmente consomem maior potência para manter os nós de operação quiescentes internos, além de possuir menor ganho de malha aberta. Em contra partida, amplificadores de baixa potência possuem menor banda de entrada e maior quantidade de ruído. Para aplicações onde o dispositivo de medida é alimentado por bateria ou a amplitude da corrente de saída é muito pequena, o nível de ruído é um dos principais fatores que determinam a precisão da medida de bioimpedância. A Tabela 1 apresenta uma comparação entre alguns amplificadores operacionais comerciais nestes quesitos.

Modelo	Consumo (μA)	Ruído (pV/\sqrt{Hz})
OP281	3,2	7500
OPA843	35	2000
LT1028	7400	0,8
OP27	2000	3,2

Tabela 1 – Características de alguns amplificadores operacionais comerciais.

Fonte: O Autor.

Os autores do artigo [7] buscaram uma solução para extrair a melhor performance, maximizando a transferência de potência a carga e minimizando o nível de ruído. Para tal, definem uma grandeza diretamente ligada ao desempenho de um amplificador de tensão com ganho positivo. Escrita como função de parâmetros do circuito, é possível encontrar o ponto de máximo desta função e, uma vez determinadas suas condições, a performance máxima do circuito. Utilizando o mesmo raciocínio, incluindo neste parâmetro de performance a banda de frequência, é possível mostrar que a performance da fonte de corrente Howland modificada pode ser escrita como:

$$Desempenho \propto \frac{I_o}{TR_L V_{CC}} \quad (1)$$

Em que I_o , R_L , V_{CC} é a corrente de saída, a resistência da carga e tensão de alimentação, respectivamente. A dedução desta equação está descrita no apêndice. Assumindo amplificador operacional e resistores ideais, a fonte de corrente Howland modificada pode servir de modelo para uma fonte de corrente estabilizada por malha de *feedback*. O lado esquerdo da equação 1 contém a transferência de potência à carga multiplicada pela banda de frequência, por unidade de ruído térmico. Assim definida, a performance está diretamente associada aos quesitos **A**, **B**, **C** e **D**. O lado direito da equação 1 apresenta que fatores delimitam a performance máxima da fonte de corrente Howland modificada.

A performance é inversamente proporcional a temperatura pois o ruído térmico aumenta com a temperatura, degradando a corrente de interesse na saída da fonte. Assumindo resistores ideais e impedância infinita de saída, aumentar a resistência da carga diminui a performance na medida em que a corrente de saída é degradada pela presença de ruído térmico. Fixado este último, o aumento da impedância da carga reduz, desta forma, a banda de frequência da fonte, o que também implica no decréscimo da performance. Na prática, a saída de alta impedância da fonte junto com capacitâncias parasitas criam um polo de baixa frequência que limita a banda de frequências várias ordens de grandeza abaixo do que indica a equação 1,

que assume carga puramente resistiva na saída. Portanto, ainda que seja possível eliminar por completo o efeito de capacitâncias parasitas na saída da fonte de corrente, não é possível alcançar banda de frequências tão grandes quanto se desejar.

A corrente de saída e tensão de alimentação estão diretamente associados a eficiência de transferência de potência a carga e, desta forma, a eficiência energética. Reduzir a tensão de alimentação implica na redução de queda de potencial sobre o estágio de saída do amplificador operacional, o que reduz a potência desperdiçada pelo circuito. O aumento da corrente de saída aumenta a razão sinal-ruído, melhorando a performance. Portanto, parâmetros do lado esquerdo da equação 1 restringem a performance da fonte de corrente, o que leva a um design marcado por *trade offs* entre os quesitos **A**, **B**, **C** e **D**.

3 | ANÁLISE E DISCUSSÃO

Quatro diferentes topologias de fonte de corrente são analisadas perante a sua performance em concordância a aplicações de espectroscopia de bioimpedância elétrica. Os circuitos foram selecionados, a partir da literatura especializada, com base no desempenho e princípio de funcionamento distinto: com ou sem malha de *feedback*, linear ou não linear.

3.1 Howland Modificado

A fonte de corrente Howland é capaz de fornecer correntes precisas numa faixa que se estende de alguns μA a dezenas de mA [8]. Devido a sua simplicidade, fácil implementação e desempenho, é a topologia mais comum na literatura de espectroscopia de bioimpedância elétrica. Para atingir alta impedância de saída, este tipo de fonte usa uma malha ativa em torno de um amplificador operacional que força corrente sobre a carga independente da queda de tensão sobre ela. Existem várias modificações da implementação originalmente concebida por Howland. Na literatura é possível encontrar adaptações que, em simulações, atingem até $5M \Omega$ na faixa de alguns MHz [9]. Na Figura 1, a impedância $R_2 + R_4$ da fonte V_i vista pela carga é balanceada pela malha formada pelo amplificador operacional, R_1 , R_3 e R_5 . A saída de corrente é dada por:

$$I_o = \frac{V_i}{R_i} - \frac{V_o}{R_o} \quad (2)$$

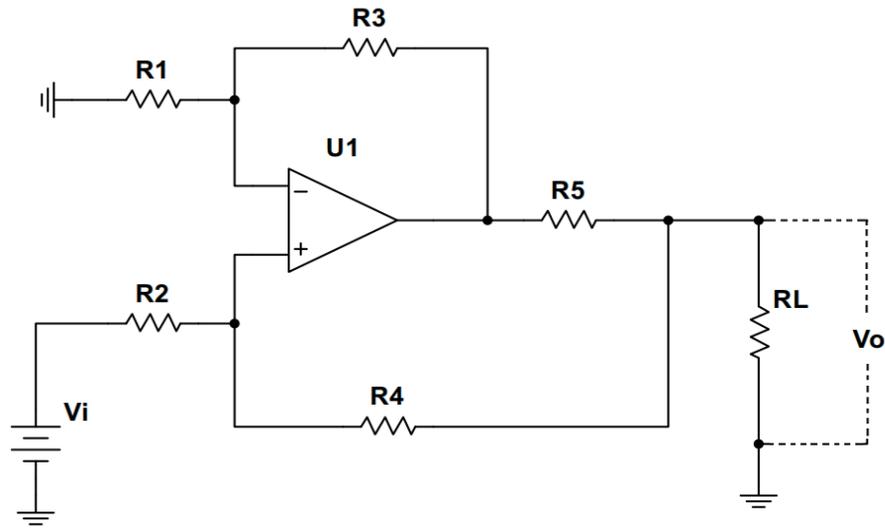


Figura 1 - Fonte Howland modificada

Fonte: Adaptação de [10]

Em que,

$$R_i = \frac{R_1 R_5 (R_2 + R_4)}{R_1 (R_4 + R_5) + R_4 R_3} \quad (3)$$

$$R_o = \frac{R_5 (1 + R_4 / R_2)}{(R_4 + R_5) / R_2 - R_3 / R_1} \quad (4)$$

As equações 2 e 4 mostram a dependência sensível da impedância de saída da fonte Howland. A literatura contém diversos estudos que mostram os efeitos de descasamento entre as resistências e o impacto na impedância de saída [11]. Utilizando a fórmula do erro propagado, é possível obter alguma interpretação acerca da variação em R_o devido a um erro, assumido pequeno, definido por:

$$\zeta = (R_4 + R_5) / R_2 - R_3 / R_1 \quad (5)$$

O desvio propagado na corrente de saída é, portanto:

$$\Delta I_o \big|_{R_i, V_i} = \frac{\partial I_o}{\partial R_o} \frac{\partial R_o}{\partial \zeta} \Delta \zeta \quad (6)$$

Aplicando as equações 2 e 4 na equação 6,

$$\Delta I_o \big|_{R_i, V_i} = \frac{|V_o|}{R_5 (1 + R_4 / R_2)} |\Delta \zeta| \quad (7)$$

A equação 7 mostra que, se $\Delta\xi$ é fixo, então para remediar o erro associado a corrente de saída deve-se diminuir a amplitude da tensão sobre o objeto de estudo e/ou aumentar o valor do resistor R_5 , ajustando o valor dos demais para satisfazer $\xi = 0$ na equação 5. Outras combinações de resistores também são possíveis. Entretanto, em espectroscopia de bioimpedância elétrica a magnitude da corrente esta associada a difusão de portadores de carga (íons) nas camadas mais profundas dos tecidos [1]. Em regiões de alta impedância, como a pele, minimizar V_o não é possível dependendo das circunstâncias da medida. Reduzir a tensão de saída sobre o objeto de estudo, fixando-se a corrente, é equivalente a diminuir o valor da carga ligada a fonte Howland.

Os resultados da equação 7 são uma aproximação para o circuito real na medida que não idealidades do amplificador operacional, capacitâncias parasitas e ruído térmico são descartados. Ao introduzir estes fatores no modelo e obter as equações, a complexidade destas últimas dificultam uma avaliação interpretativa dos resultados. Para contornar este problema, o artigo [11] realiza uma simulação de Monte Carlo sobre os desvios uniformes de amostras de resistores que compõe a fonte Howland, apresenta um modelo que inclui não idealidades do amplificador operacional (por exemplo, ganho de malha aberta finito) e seu impacto na impedância de saída. Nestas simulações, mostra-se que a fonte Howland é bastante sensível a tolerância dos resistores, o que pode ser inferido, grosseiramente, tomando o incremento diferencial parcial ($\partial/\partial\xi$) em relação aos desvios de cada resistor na equação 5.

O circuito da figura 1 é capaz de manter algumas centenas de $k\Omega$ em $1M Hz$, com a saída na ordem de alguns mA , usando resistores de precisão apropriados. Para aplicações de tomógrafos por espectroscopia de impedância elétrica, a resolução de imagem pode ser comprometida na faixa de $1M Hz$ devido a redução da impedância de saída. Em frequências mais elevadas a margem de fase e ganho podem desestabilizar o circuito, o que torna necessário compensação na malha de *feedback* negativa. Uma análise completa da estabilidade da fonte de corrente Howland pode ser encontrada em [11].

3.2 Ponte H com saída *cascode*

A fonte de corrente da figura 2 [13] é baseada numa estrutura diferencial, com saída *cascode*. Os amplificadores diferenciais A_1 e A_2 forçam o potencial nos drenos de M_{10} e M_{11} a serem iguais, o que aumenta significativamente a impedância de saída da fonte. A presença deles no circuito é fundamental para amenizar os desvios de corrente entre as saídas $I+$ e $I-$, oriundos de erros intrínsecos na fabricação dos transistores. Devido a alta impedância de saída, $10M \Omega$ em $1M Hz$, pequenos erros

no balanço de corrente entre as saídas são capazes de saturar a fonte, além do fato de que a saída *cascode* adotada no design limita a excursão de sinal. A queda de tensão mínima sobre o estágio de saída, devido a limitada excursão de sinal, também aumenta a potência dissipada pela fonte, resultando em desperdício de energia. Portanto, este sistema não é o mais adequado a dispositivos portáteis.

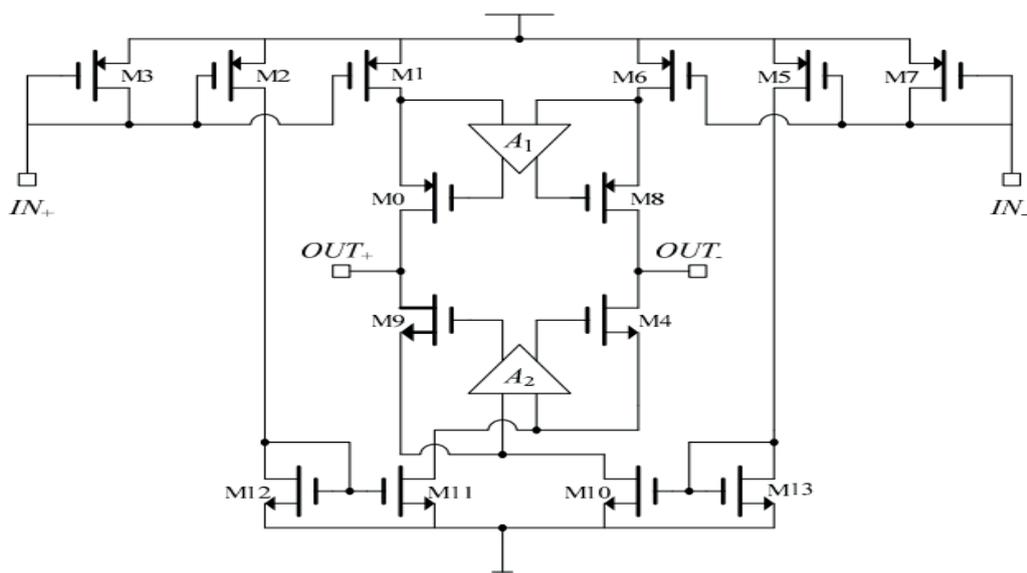


Figura 2 - Driver de corrente com saída ponte H *cascode*

Fonte: Adaptação de [13]

O circuito opera em modo de malha aberta, o que significa uma função de transferência dependente de parâmetros dos transistores, que por sua vez variam com a temperatura, ponto quiescente e precisão de fabricação. No entanto, uma estrutura de *feedback* negativo permite contornar parcialmente estes problemas. A impedância de saída deste circuito é:

$$Z_o = g_{m0}r_0r_{o1}(A_1 + 1) \parallel g_{m9}r_{o9}r_{o10}(A_2 + 1) \quad (8)$$

Em que g_{m0} , r_0 , r_{o1} , A_1 , g_{m9} , r_{o9} , r_{o10} , e A_2 é a transcondutância do estágio de saída, resistência de saída de $M1$, a transcondutância de $M9$, as resistências de saída de $M9$ e $M10$, e o ganho de malha aberta de A_2 , respectivamente. Numa estrutura de *feedback* negativo é importante garantir elevado ganho na função de transferência na medida em que se pretende estabilizar dependência da saída. Este ganho depende da razão de máscara de construção dos transistores W/L , o que reduz a eficácia da estrutura de *feedback*, visto que a razão W/L , está atrelada ao ponto quiescente de operação e não pode ser deliberadamente escolhida sem o risco de saturar ou forçar os transistores na região Ôhmica.

A estabilidade deste circuito é comprometida conforme a carga de saída varia. Os amplificadores A_1 e A_2 devem ter polos dominantes menores que o segundo polo dos espelhos de corrente para que o circuito seja estável [14]. Entretanto, se os polos dos espelhos de corrente estão associados com a impedância total vista na saída, então a estabilidade se compromete a medida que ocorre variações na carga. Diversos fenômenos associados com a geometria de eletrodo, sua constituição e características, peculiaridades do objeto de estudo, podem introduzir impedâncias de saída na fonte de corrente de forma a prejudicar a estabilidade de funcionamento. Não obstante, a presença de múltiplos polos proximamente localizados introduz erros de atraso de fase entre a entrada e saída do circuito. Nenhuma informação sobre estes erros é mencionada no artigo.

Ao comparar com a fonte Howland, a impedância de saída aumenta em duas ordens de grandeza ao custo de se eliminar por completo a estrutura de *feedback* que estabiliza a função de transferência. Por operar em malha aberta, não é possível interpretar os resultados da equação 1 para este circuito, o que particulariza avaliar a performance de operação. No entanto, se é feita alguma compensação dos possíveis erros de fase introduzidos pela rede de polos e zeros devidos a A_1 e A_2 , então este circuito é ideal para aplicações onde um sistema embarcado realiza a autocalibração da função de transferência a cada medida.

3.3 Estrutura diferencial com amplificador operacional de Transcondutância

A fonte de corrente da figura 3 [5] consiste em dois blocos: Um *current source* e um *current sink*. Ambos blocos operam de forma sincronizada por uma malha de feedback, controlados por uma central remota. O primeiro bloco (*source*) é construído por uma cascata entre um amplificador dual diferencial (DDTA) e um amplificador de transcondutância (OTA), responsável por suprir a corrente ao objeto em estudo. O DDTA compara duas tensões diferenciais de entrada, uma delas é a queda sobre um resistor que monitora a corrente de saída, a outra é a entrada que define a corrente. Projetando-se ambos os amplificadores com ganho de malha aberta suficiente, a estrutura de *feedback* estabiliza a função de transferência para:

$$I_o = \frac{\Delta V_i}{R_f} \quad (9)$$

Em que R_f é um resistor de precisão. A saída do OTA é formada por um par de espelhos de corrente tipo *common source*, o que limita a impedância de saída $\approx r_o/2$. Entretanto, a malha de *feedback* em torno da corrente força o ponto de operação da fonte, o que aumenta a impedância de saída na medida em que o ganho de malha

fechada aumenta. A impedância de saída é da ordem de $1M\ \Omega$ em $500k\ Hz$, com a saída de corrente máxima em torno de $6m\ A$. O erro de fase nesta frequência é de 4° , provavelmente devido a limitada banda de operação da fonte.

O segundo bloco (*current sink*) é formado pelo *AD8130*, um amplificador receptor diferencial. Um *buffer* é utilizado para medir a tensão da saída sobre a carga, que é então utilizada pelo *AD8130* para drenar a mesma corrente fornecida ao objeto de estudo pelo primeiro bloco. Não é mencionado algum esquema de compensação de erros por *offset* entre a sincronização dos blocos, o que pode levar a um desbalanceamento de tensão sobre o objeto de estudo. Este potencial de desbalanceamento pode, em espectroscopia de bioimpedância, retirar o objeto de estudo da região linear, o que dificulta na modelação para reconstrução de imagens [6].

Outro problema deste sistema é a tensão de modo comum gerada sobre o objeto em estudo. Os resistores R_p , a impedância de saída do *AD8130* e os resistores R_{on} geram um potencial comum sobre o objeto de estudo devido a circulação da corrente de saída. Esta tensão, que está em fase com a corrente de saída, pode introduzir erros na medida da impedância do objeto devido a fenômenos de polarização de eletrodo. Não obstante, estes mesmos fenômenos aumentam significativamente a capacitância vista pela saída da fonte de corrente, o que pode comprometer sua estabilidade. Para contornar este problema uma malha adicional de *feedback* pode ser adicionada ao circuito de forma ajustar a corrente do *AD8130*, reduzindo a tensão de modo comum.

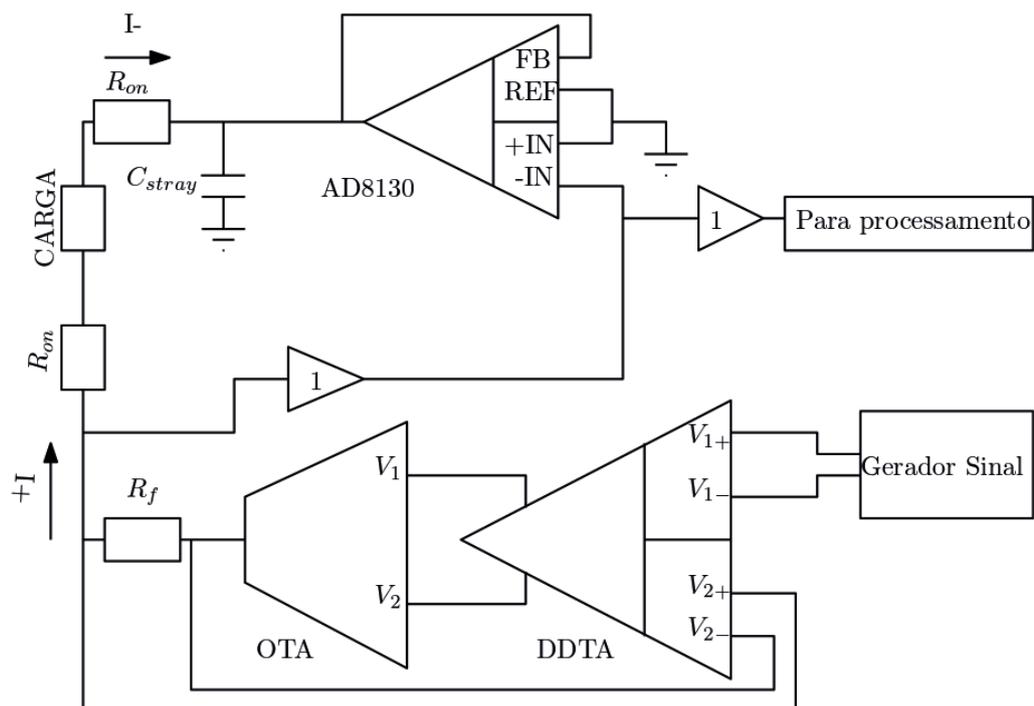


Figura 3 - Fonte de corrente de malha fechada com OTA e DDTA

Fonte: Adaptação de [5]

3.4 Estrutura diferencial com amplificador operacional de Transcondutância

O circuito da figura 4 [15] é capaz de alcançar uma impedância de saída da ordem de alguns $M\Omega$ em $3M Hz$, com erros de fase menores que 1° , erro de amplitude de corrente menor que $0,4\%$ e corrente de saída da ordem de alguns mA , superior em desempenho a todas as outras topologias utilizadas. O princípio de funcionamento se baseia numa estrutura de *feedback* não linear, o que torna inválida a análise das equações 1. Entretanto, é importante notar o aumento na complexidade deste tipo de design. Não é apresentado o consumo quiescente, porém estima-se que seja superior as outras propostas dado o número de transistores necessários para compor o circuito. Além disso, a performance é reduzida drasticamente se o sinal de entrada contém múltiplas frequências, visto que a malha de *feedback* não linear impede a aplicação do princípio de superposição de sinal.

A tensão diferencial V_{cont} e os resistores R_s definem a amplitude de saída da corrente, enquanto que as entradas senoidais em tensão definem a frequência de operação. Os multiplicadores de corrente A_1, A_2 são espelhos de corrente com saída *cascode*. A parte inferior do circuito forma uma malha de compensação dos erros de fase na corrente de saída, este erro é convertido em um nível *DC* por um filtro passa baixa R_{LP}, C_{LP} e injetado num DDTA de saída diferencial. Na presença de erros de fase, A_2 força a saída de corrente sobre os resistores R_s que alimenta o bloco superior por uma estrutura de *feedback* semelhante. O erro de fase é amplificado por A_1 e corrigido pelo multiplicador analógico MX_2 .

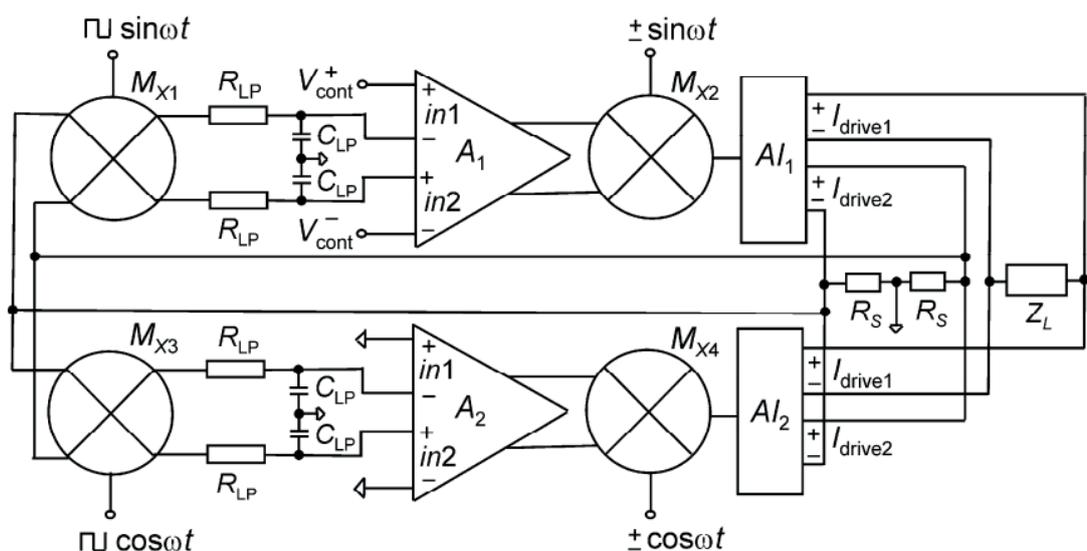


Figura 4 - Fonte de corrente de malha fechada não linear.

Fonte: Adaptação de [15]

O efeito da malha de *feedback* não linear é separar a dependência da operação

da fonte de corrente em altas frequências do seu polo dominante. Ainda que a conversão do erro de fase esteja atrelada a um filtro passa baixa de frequência inferior a saída de corrente, os erros de fase e amplitude são corrigidos pela estrutura de *feedback* ao custo de um aumento da resposta a função degrau do circuito. Uma análise detalhada do funcionamento deste tipo de compensação encontra-se na referência [16].

4 | CONCLUSÃO

A escolha do tipo de fonte de corrente em bioimpedância elétrica deve levar em conta a aplicação em específico, bem como características do objeto de estudo. Olhar apenas para a impedância de saída da fonte, por exemplo, nem sempre significa obter os melhores resultados. Fontes de corrente possuem impedância de saída que varia com a banda de frequência de tal forma que é impossível maximizar indiscriminadamente os dois parâmetros. Além disso, a performance de um circuito está atrelada a diversos fatores que, devido a razões de ordem física e tecnológica, colocam um limite superior na acurácia de todo o sistema de espectroscopia de bioimpedância elétrica. A tabela 2 resume, comparativamente, as principais características das fontes de corrente aqui analisadas e pode ser útil na escolha da topologia de acordo com a aplicação desejada.

TIPO	Imp. Saída	Erro de fase	Consumo. Pot.	Multifrequência?
Holand modificado	500K Ω – 1M Hz	Médio	Médio	Sim
Ponte H com saída cascode*	10M Ω – 1M Hz	Pequeno	Médio	Sim
Estrutura diferencial com DDTA e OTA	1M Ω – 500k Hz	Grande	Médio	Sim
Malha fechada não linear	2M Ω - 1MHz	Nulo	Elevado	Não

Tabela 2 – Comparação entre características das topologias de fontes de corrente analisadas neste artigo (*simulado).

Fonte: O Autor.

REFERÊNCIAS

[1] O. M. Sverre Grimnes, “**Bioimpedance and bioelectricity basics**” vol. 4. Amsterdam :Academic Press, 3 ed., 2014.

[2] E. Arslan, S. Minaei, and A. Morgul, “**On the realization of high performance current conveyors**

and their applications” *Journal of Circuits, Systems and Computers*, vol. 22, 03 2013.

- [3] P. Bertemes-Filho and H. Tanaka, “**An adaptive current source using a negative impedance converter (nic) for electrical impedance tomography (eit)**” 07 2003.
- [4] T. K. Bera, “**Bioelectrical impedance methods for noninvasive health monitoring: A review**” *Journal of Medical Engineering*, vol. 2014, pp.1–28, 06 2014.
- [5] Y. Wu, D. Jiang, A. Bardill, S. de Gelidi, R. Bayford, and A. Demosthenous, “**A high frame rate wearable eit system using active electrode asics for lung respiration and heart rate monitoring**” *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 65, pp. 3810–3820, Nov 2018.
- [6] J. Newell, D. Isaacson, and J. Mueller, “**Electrical impedance tomography**” *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 21, pp. 553–554, 01 2002.
- [7] A. Cuadras, O. Casas, and R. Pallas-Areny, “**Power-noise trade-off in signal amplifiers**” in *2012 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings*, pp. 2567–2571, May 2012.
- [8] P. Bertemes-Filho, B. Brown, and A. Wilson, “**A comparison of modified howland circuits as current generators with current mirror type circuits**” *Physiological measurement*, vol. 21, pp. 1–6, 03 2000.
- [9] V. Sirtoli, P. Bertemes-Filho, K. Morcelles, and V. Vincence, “**Howland current source for high impedance load applications**” *Review of Scientific Instruments*, 09 2018.
- [10] S. Santos, T. Schlebusch, and S. Leonhardt, “**Simulation of a current source with a cole-cole load for multi-frequency electrical impedance tomography**” *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, vol. 2013, pp. 6445–6448, 07 2013.
- [11] P. Bertemes-Filho, A. Felipe, and V. Vincence, “**High accurate howland current source: Output constraints analysis**” *Circuits and Systems*, vol. 4, pp. 451–458, 11 2013.
- [12] I. M. Pandiev, “**Stability analysis and design of wideband howland current pumps using monolithic current-feedback amplifiers**” *2018 41st International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)*, pp. 1–7, 2018.
- [13] J. Frounchi, F. Dehkoda, and M. H. Zarifi, “**A low-distortion wideband integrated current source for tomography applications,**” *European Journal of Scientific Research*” vol. 27, pp. 56–65, 01 2009.
- [14] K. Gulati and Hae-Seung Lee, “**A high swing cmos telescopic operational amplifier**” *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 33, pp. 2010–2019, Dec 1998.
- [15] N. Neshatvar, P. Langlois, and A. Demosthenous, “**A non-linear feedback current driver with automatic phase compensation for bioimpedance applications**” *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 65, pp. 1340–1344, Oct 2018.
- [16] Y. Bai and Z. Roth, “**Practical nonlinear control systems: Design, implementation and applications**” *Advances in Industrial Control*, pp. 323–435, 01 2019.
- [17] P. Seller, “**Noise analysis in linear electronic circuits**” *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 376, no. 2, pp. 229–241, 1996.
- [18] L. Xuyang, C. Zheng, L. Chunhua, and P. Pong, “**Experimental investigation of a johnson noise**

[19] S. Ghorpade and B. Limaye, **A course in multivariable calculus and analysis**. 01 2010.

APÊNDICE

O circuito da fonte de corrente Howland modificada, com detalhes da análise porvir, encontra-se n figura 5. Para avaliar a performance do circuito é necessário definir uma quantidade que, estabelecida sobre parâmetros de construção do design, permita comparar diferentes cenários onde os requisitos de funcionamento da fonte de corrente são satisfeitos. Para exemplificar esta ideia, tome-se o ganho (transcondutância) da fonte Howland modificada descrita pelas equações 10 e 11:

$$I_o = \frac{V_i}{R_i} \quad (10)$$

$$R_i = \frac{R_1 R_5 (R_2 + R_4)}{R_1 (R_4 + R_5) + R_4 R_3} \quad (11)$$

Nestas equações está implícito o requisito $(R_4 + R_5)/R_2 = R_3/R_1$ que torna a impedância de saída da fonte de corrente infinita. A relação entre a tensão de entrada e corrente de saída é, portanto, escrita como uma razão de resistores do circuito onde diversos valores de resistência garantem o mesmo valor de ganho (a transcondutância $1/R_i$). A escolha específica dos valores destes resistores é delegada a outras restrições como, por exemplo, a capacidade máxima de corrente de saída do amplificador operacional, consumo de energia, integridade de sinal nas malhas de *feedback*, etc.

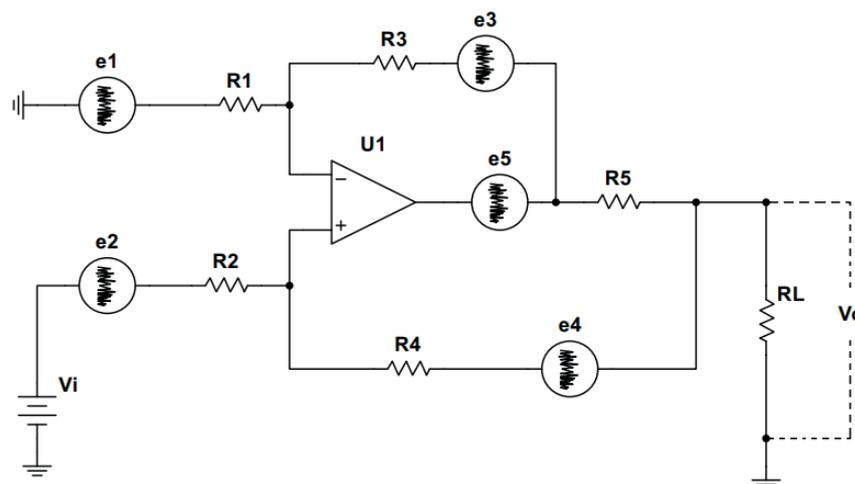


Figura 5 - Modelo de geradores de ruído térmico na fonte Howland modificada

Outra maneira de resolver o problema da escolha de componentes é adotada em [7]. Os autores definem uma nova grandeza que permite avaliar a performance de circuito, bastante semelhante a uma figura de mérito para componentes eletrônicos discretos. Esta grandeza foi chamada de SIGNAL-TO-NOISE-TO-POWER RATIO (SNPR)² e consiste em tomar o quociente da transferência de potência de sinal pela amplitude RMS de ruído no circuito:

$$SNPR = \frac{P_o}{PE_{RMS}^2} \quad (12)$$

Em que P_o é a potência entregue a carga, E_{RMS} é a amplitude total do ruído na saída e P é a potência total consumida pelo circuito. Os autores indicam que grandeza SNPR em função dos valores de resistores do circuito possui um ponto extremo (isto é, onde a performance é a melhor possível) utilizando um argumento ao comparar as características de amplificadores operacionais comerciais. No artigo é ressaltado o fato de que amplificadores operacionais de baixo ruído consumirem maior potência que os de uso geral, pois as fontes de ruído de um amplificador operacional são inversamente proporcionais a corrente que define o ponto de operação quiescente dos nós internos.

Para quantificar a performance da fonte de corrente Howland modificada, uma extensão do conceito de SNPR deve incluir a largura de banda. Em aplicações típicas de bioimpedância, fontes de corrente controladas por tensão devem garantir precisão e estabilidade dentro de uma banda desejável de alguns MHz. Entretanto, na medida em que a banda de frequência aumenta, o valor de E_{RMS} aumenta devido a a característica do ruído branco ser proporcional a banda de frequência [17]. Se é necessário manter uma mesma faixa de sinal-ruído, deve-se aumentar corrente quiescente³, o que leva a um aumento da potência consumida. Para quantificar estes problemas, seja a medida otimização Ot definida por:

$$Ot = \frac{P_o \Delta \omega}{PE_{RMS}^2} \quad (13)$$

Em que $\Delta \omega$ é a banda de frequência. Para aplicar a equação 13 ao circuito da figura 5 considera-se que o amplificador operacional é ideal, visto que o foco da

2. O nome é um tanto confuso, pois no equacionamento final do SNPR não é utilizado a razão sinal ruído mas sim o valor RMS quadrático.
3. A estratégia mais comum para se livrar do ruído térmico consiste em reduzir a magnitude das resistências no circuito, para manter a tensão nos nós quiescentes é necessário, portanto, elevar a corrente.

análise é a estrutura da fonte de corrente Howland modificada. Pelo mesmo motivo, o cálculo da potência consumida pelo circuito não inclui a fonte V_p , que é assumida como ideal.

Para determinar o valor de E_{RMS} na equação 13, a contribuição de ruído para cada resistor é determinada utilizando análise de malhas, enquanto os outros resistores são assumidos livres ruído. Esta contribuição é então somada pelo seu quadrado e, pelo princípio de superposição, a raiz dessa soma é o valor RMS do ruído total na saída (equação 16). O ruído gerado pelo resistor R_1 é dado pelas equações 14 e 15:

$$\bar{E}_1 = \frac{\bar{e}_1}{\frac{R_2}{R_2+R_4} + \frac{R_1}{R_5} + \frac{R_1}{R_L} + \frac{R_1}{R_2+R_4}} \quad (14)$$

$$\bar{e}_1^2 = \int_{\Delta\omega} \left[4kTR_1 + \frac{\omega_{nc}}{\omega} \right] d\omega \quad (15)$$

$$E_{RMS}^2 = \bar{E}_1^2 + \bar{E}_2^2 + \bar{E}_3^2 + \bar{E}_4^2 \quad (16)$$

Em que T, k são a temperatura absoluta e constante de Boltzman, respectivamente. ω_{nc} é frequência em que o espectro de ruído rosa intercepta o espectro de ruído branco (*corner frequency*) [17]. A contribuição de R_1 é:

$$\bar{E}_1^2 = \int_{\Delta\omega} \left(\frac{4kTR_1 + \frac{\omega_{nc}}{\omega}}{\left[\frac{R_2}{R_2+R_4} + \frac{R_1}{R_5} + \frac{R_1}{R_L} + \frac{R_1}{R_2+R_4} \right]^2} \right) d\omega \quad (17)$$

Em que a integral é calculada sobre todo o domínio de frequência que compõe a banda do circuito. De maneira similar, a contribuição dos outros resistores é:

$$\bar{E}_2^2 = \int_{\Delta\omega} \left(\frac{4kTR_2 + \frac{\omega_{nc}}{\omega}}{\left[\frac{\frac{1}{R_2+R_4} - \frac{R_2R_3}{R_5(R_2+R_4)} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_5} \right)}{\frac{R_2R_3}{R_5(R_2+R_4)} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_5} \right) - \frac{1}{R_5} - \frac{1}{R_2+R_4} - \frac{1}{R_L} \right]^2} \right)^2 d\omega \quad (18)$$

$$\bar{E}_3^2 = \int_{\Delta\omega} \left(\frac{4kTR_3 + \frac{\omega_{nc}}{\omega}}{\left[\frac{1}{R_3 \left(1R_1 + \frac{1}{R_3} \right) \left(\frac{R_2}{R_2+R_4} \right) + \frac{R_5}{R_L} + \frac{R_5}{R_2+R_4} + 1 \right]^2} \right)^2 d\omega \quad (19)$$

$$\bar{E}_4^2 = \int_{\Delta\omega} \left(\frac{4kTR_4 + \frac{\omega_{nc}}{\omega}}{\left[\frac{\frac{1}{R_2+R_4} - \frac{R_2R_3}{R_5(R_2+R_4)} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_5} \right)}{\frac{R_2R_3}{R_5(R_2+R_4)} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_5} \right) - \frac{1}{R_5} - \frac{1}{R_2+R_4} - \frac{1}{R_L} \right]^2} \right)^2 d\omega \quad (20)$$

Nas equações 17, 18, 19 e 20 as integrais podem ser facilmente calculadas visto que a maior parte dos integrandos não dependem da frequência, *a priori*. Além disso, mediante escolha criteriosa do tipo de resistor, pode-se assumir que o espectro de ruído rosa cai rapidamente em uma banda próxima a 0 Hz. Em valores típicos para resistores, a temperatura ambiente, $\omega_{nc} \approx 10 \text{ Hz}$ [18]. Frequências tão baixas não são interessantes do ponto de vista da espectroscopia de bioimpedância elétrica, pois fenômenos de polarização de eletrodo diminuem significativamente a acurácia da medida [1]. Portanto, em comparação com o valor típico do ruído branco, pode-se assumir $\omega_{nc} \approx 0 \text{ Hz}$.

Resta determinar a razão de potências. A potência entregue a carga é $P_o = I_o^2 R_L$. A potência total consumida é $P = P_q + P_o + P_{es} + P_{fb}$, onde P_q é a potência quiescente consumida pelo amplificador operacional, P_{es} é a potência dissipada pelo estágio de saída do amplificador operacional e P_{fb} é a potência dissipada nas malhas de *feedback*. Num amplificador operacional típico, $P_q \ll P_o$ pois a potência quiescente é usada apenas para manter o ponto de operação dos nós internos do amplificador operacional. A potência dissipada pelo estágio de saída pode ser aproximada por:

$$P_{es} \approx (V - V_s)I_s \quad (21)$$

Em que I_s é a corrente drenada na saída do amplificador operacional, V_s é a tensão de saída e V_{sup} é a tensão de alimentação do circuito. I_s pode ser escrito como:

$$I_s = R_L I_o \left[\left(\frac{R_5}{R_1} + \frac{R_5}{R_2+R_4} + 1 \right) \left(\frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_3+R_1} \right) - \frac{1}{R_5} \right] \quad (22)$$

A tensão V_s é:

$$V_s = R_L I_o \left(\frac{R_5}{R_L} + \frac{R_5}{R_2+R_4} + 1 \right) \quad (23)$$

Portanto,

$$P_{es} \approx (R_L I_o)^2 \left[\frac{V_{supp}}{R_L I_o} \left(\frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_3+R_1} \right) \left(\frac{R_5}{R_L} + \frac{R_5}{R_2+R_4} + 1 \right) - \frac{V_{supp}}{R_L I_o R_5} - \frac{1}{R_3+R_1} \right] \quad (24)$$

Além disso,

$$P_{fb} = (I_o R_L)^2 \left(\frac{B^2}{R_1+R_2} + \frac{1}{R_2+R_4} + \frac{(B-1)^2}{R_5} \right) \quad (25)$$

Onde,

$$B = \frac{R_5}{R_L} + \frac{R_5}{R_2+R_4} + 1 \quad (26)$$

Calculando as integrais que definem $\bar{E}_1^2, \bar{E}_2^2, \bar{E}_3^2$ e \bar{E}_4^2 , substituindo estes resultados na equação 16, junto com as equações 24 e 25 na definição do parâmetro de otimização Ot (equação 13), após algumas manipulações algébricas resulta em:

$$Ot = \frac{1}{4kTR_L \left[C + \frac{B^2}{R_1+R_2} + \frac{1}{R_2+R_4} + \frac{(B-1)^2}{R_5} + \frac{1}{R_L} \right] \left(\frac{R_1}{A_1} + \frac{R_2}{A_2} + \frac{R_3}{A_3} + \frac{R_4}{A_4} \right)} \quad (27)$$

Onde A_1, A_2, A_3 e A_4 são os termos em colchetes nas equações 17, 18, 19 e 20, respectivamente. C é o termo em colchetes na equação 24.

A equação 27 permite extrair informações importantes sobre o funcionamento e design da fonte de corrente Howland modificada. O lado esquerdo é a razão cujo o numerador contém o percentual de transferência de potência a carga, que está associado a eficiência energética do circuito, e a banda de frequência. O denominador contém o *trade-off* destas características, o aumento do ruído térmico. Em fontes de corrente de pequenas amplitudes ($\approx nA$), o valor de ruído térmico também determina a acurácia das medidas. Por outro lado, com a tendência de equipamentos de espectroscopia portáteis, a eficiência energética se torna peça importante para determinar a autonomia do equipamento. Deve-se, portanto, reduzir a amplitude da potência dissipada pelo ponto quiescente. Para manter a queda de tensão nos nós quiescentes, os valores dos resistores internos aumentam proporcionalmente, o que resulta no aumento do ruído térmico.

O lado direito da equação 27, em contrapartida, contém parâmetros de

design da fonte de corrente, valores dos resistores, saída de corrente, tensão de alimentação e valor da carga. Usando cálculo multivariável, é possível determinar a condição que maximiza o lado esquerdo da equação 27, o que impõe um conjunto adicional de restrições para valores dos resistores de forma a obter máxima performance do circuito. Utilizando estas ferramentas analíticas deve ser possível identificar os pontos de extremo locais, de sela e absoluto da equação 27, sendo mais interessante este último, pois garante a máxima performance possível [19].

Uma análise qualitativa da equação 27 revela a ocorrência de extremos locais sobre os parâmetros da corrente de saída, tensão de alimentação e resistência da carga. Por outro lado a performance é inversamente proporcional a temperatura, o que era esperado pois o valor quadrático médio do ruído branco é proporcional a temperatura. Mantendo fixo os outros parâmetros, pode-se concluir, grosseiramente, que a performance é impactada por:

$$Performance \propto \frac{\text{corrente de saída}}{\text{temperatura} \times \text{resistência carga} \times \text{tensão alimentação}} \quad (28)$$

É possível interpretar a queda na performance com o aumento da resistência da carga lembrando que, fixados os outros parâmetros da equação heurística 28, o aumento da impedância no nó de saída reduz a banda de frequência de operação do circuito. Durante a análise não foi assumido capacitâncias parasitas no nó de saída, portanto a redução da banda de frequência (logo, sua performance) se deve puramente ao aumento de ruído térmico no circuito, devido ao aumento da resistência da carga. Em um contexto prático, esta redução coloca-se como um limite absoluto para a banda de frequência do circuito, com uma carga puramente resistiva, o que difere da criação de polos por capacitâncias parasitas em um nó de alta impedância. Fisicamente, sendo o espectro de potência do ruído térmico proporcional a banda de frequência, a saída de corrente é degradada pela amplitude de ruído na medida que a banda de frequência aumenta, o que justifica a queda no valor da performance.

A degradação da performance com o aumento da tensão de alimentação, fixados outros parâmetros, ocorre na proporção que a dissipação do estágio de saída do amplificador operacional aumenta (equação 21). A excursão de sinal do amplificador operacional é, portanto, fundamental para diminuir o consumo de energia do circuito. Reduzindo a queda de tensão sobre o estágio de saída, para uma corrente fixa, reduz-se a dissipação de potência desperdiçada sobre o amplificador operacional. A equação 23 pode ser usada para obter a ordem de grandeza ideal para V_{sup} . Para reduzir a potência dissipada, deve-se ter $V_{sup} \approx V_s + V_{op}$ em que V_{op}

representa a queda de potencial mínima sobre o estágio de saída do amplificador operacional.

OBTENÇÃO DE BIODIESEL POR MEIO DA TRANSESTERIFICAÇÃO DO ÓLEO DE SOJA UTILIZANDO CATALISADOR DE KOH/AL₂O₃ EM DIFERENTES COMPOSIÇÕES

Data de aceite: 27/03/2020

Data de Submissão: 03/01/2020

Laís Wanderley Simões

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP),
Faculdade de Engenharia Química, Campinas –
SP

<http://lattes.cnpq.br/5153878976525041>

Normanda Lino de Freitas

Universidade Federal de Campina Grande
(UFCG), Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEMAT),
Campina Grande – PB

<http://lattes.cnpq.br/0644427640208395>

Joelda Dantas

Universidade Federal da Paraíba (UFPB),
Programa de Pós-Graduação em Energias
Renováveis (PPGER), Campina Grande – PB

<http://lattes.cnpq.br/0835933416564294>

Elvia Leal

Universidade Federal de Campina Grande
(UFCG), Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEMAT),
Campina Grande – PB

<http://lattes.cnpq.br/3139929105219822>

Julyanne Rodrigues de Medeiros Pontes

Universidade Federal de Campina Grande
(UFCG), Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEMAT),
Campina Grande – PB

<http://lattes.cnpq.br/9130580952795399>

Pollyana Caetano Ribeiro Fernandes

Universidade Federal da Paraíba (UFPB),
Programa de Pós-Graduação em Energias
Renováveis (PPGER), Campina Grande – PB

<http://lattes.cnpq.br/8579267075943767>

RESUMO: Nos últimos anos, o interesse por combustíveis provenientes de fontes renováveis vem crescendo devido às crises energéticas mundiais e o superaquecimento global da Terra. Um destes é o biodiesel, o qual possui propriedades semelhantes ao diesel derivado do petróleo, além de ser menos agressivo ao meio ambiente, e por isso tem apresentado potencial promissor no mundo inteiro. Este combustível pode ser obtido a partir do óleo de soja através da reação de transesterificação, na qual o óleo reage com o etanol para produzir éster, via rota catalítica homogênea ou heterogênea. A rota comumente utilizada na indústria é a homogênea, mas ela dificulta a purificação do biodiesel. Com o objetivo de diminuir esse problema, esse estudo utiliza a rota catalítica heterogênea, a qual possui vantagens técnicas e ambientais. Nesse estudo, o catalisador trata-se de um metal, sob a forma de hidróxido, suportado em alumina. Como fase ativa, utilizou-se o hidróxido precursor do

ion de potássio (KOH), o qual foi adicionado em três diferentes concentrações (10%, 20% e 30%) através do método de impregnação via dispersão úmida. A cromatografia mostrou que a reação de transesterificação para todas as amostras impregnadas com KOH, ocorreu eficientemente, apresentando valores acima de 92%.

PALAVRAS-CHAVE: Alumina, Catalisadores Impregnados, Biodiesel.

OBTAINING BIODIESEL THROUGH THE TRANSESTERIFICATION OF SOYBEAN OIL USING CATALYST KOH/AL₂O₃ IN DIFFERENT COMPOSITIONS

ABSTRACT: In recent years, interest in fuels from renewable sources is growing due to the global energy crisis and global overheating. One of these is the biodiesel, which has properties similar to diesel fuel derived from petroleum, but it is less aggressive to the environment, therefore showing a promising potential worldwide. This fuel can be obtained from soybean oil through transesterification reaction, in which the oil is reacted with ethanol to produce ester via homogeneous or heterogeneous catalytic route. The route commonly used in the industry is the homogeneous, but it complicates the purification of biodiesel. In order to mitigate this problem, we use the heterogeneous catalytic route, which has technical and environmental advantages. In this study, the catalyst is a metal, in the form of hydroxide, supported on alumina. Alumina stands out due to its excellent properties, such as activity, selectivity, stability, mechanical strength and thermal conductivity. As the active phase, it was used the precursor hydroxide of the potassium ion (KOH), which was added in three different concentrations (10%, 20% and 30%) by the impregnation method via wet dispersion. Chromatography showed that the transesterification reaction for all samples impregnated with KOH occurred efficiently, presenting values above 92%.

KEYWORDS: Alumina, Impregnated catalysts, Biodiesel.

1 | INTRODUÇÃO

A produção do biodiesel adquiriu papel crescente no Brasil principalmente a partir do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), já que este, desde 2005, vem ganhando a atenção de vários segmentos sociais, públicos e privados envolvidos com a busca de alternativas à matriz energética nacional, ou seja, o objetivo central desta é o desenvolvimento da indústria do biodiesel (Silva e Polli, 2019). Conforme analisa o (PNPB) o Brasil tem mostrado grande potencial na produção deste biocombustível, tanto pela sua área disponível, como também por seu clima tropical que favorece a para plantação de oleaginosas (Souza, 2019).

Aliteratura relata que o interesse por combustíveis oriundos de fontes renováveis tem crescido nos últimos anos, sobretudo em virtude da instabilidade político-econômica do mercado internacional de petróleo e devido às causas ambientais,

destacando-se a necessidade da diminuição dos níveis de emissões de gases poluentes provenientes da queima de combustíveis fósseis. Diante de tal situação, houve o incremento de novas tecnologias para produção de biocombustíveis que preenchessem as expectativas do mercado (Benatti *et al.*, 2019).

O biodiesel oriundo de óleos vegetais possui características que o assemelha ao diesel proveniente do petróleo, sendo assim, ele possui potencialidade para substituí-lo de forma parcial ou integral (Guldhe *et al.*, 2017). Devido a sua alta viscosidade, caráter poliinsaturado e sua baixa volatilidade, o óleo vegetal prejudicaria os motores de combustão interna caso fosse aplicado diretamente. Com o objetivo de evitar este problema, faz-se necessário a reação de transesterificação, na qual ocorre a transformação de triacilglicerídeos em moléculas menores de ésteres de ácidos graxos (biodiesel), na presença de um catalisador adequado (Ahmad *et al.*, 2012; Ambat *et al.*, 2018).

Para obtenção do biodiesel existem duas rotas catalíticas: a homogênea e a heterogênea. A rota homogênea tem uso mais comum em indústria e oferece uma ótima taxa de conversão. Porém, ela também apresenta dificuldades quanto às etapas de separação e purificação do biodiesel. A fim de evitar esse problema, esse estudo utiliza o sistema heterogêneo, que além de oferecer vantagens técnicas e ambientais, pode ser recuperado e reutilizado várias vezes, o que o torna economicamente viável (Varghese *et al.*, 2018; Mendonça *et al.*, 2019).

Tem-se a opção de utilizar, como catalisador heterogêneo, um metal como fase ativa suportado em alumina. Dentre os sistemas cerâmicos utilizados como suporte na indústria, a alumina tem um destaque especial em função das suas excelentes propriedades térmicas, químicas e físicas, tais como: atividade, seletividade, estabilidade, resistência mecânica e condutividade térmica (Taufiq-Yap *et al.*, 2011; Yusuff e Popoola, 2019). Além disso, seu método de síntese (método de reação por combustão) apresenta um baixo custo. Neste suporte, é inserida a fase ativa através do método de impregnação via dispersão úmida e trata-se do íon de potássio na forma de hidróxido.

Com isso, o objetivo do presente trabalho é realizar uma sucinta revisão da literatura a respeito da produção do biodiesel e do uso de catalisadores a base alumina; reproduzir uma metodologia de impregnação via dispersão úmida; caracterizar o suporte e os catalisadores produzidos; sintetizar o biodiesel e analisar sua taxa de conversão a fim de comprovar a eficiência do catalisador empregado.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Biodiesel: uma energia alternativa

O biodiesel é apontado como uma das soluções para o esgotamento de combustíveis fósseis e o superaquecimento global. Sabe-se que a matriz energética mundial está fundamentada nos combustíveis oriundos de fontes fósseis (do petróleo e seus derivados, do carvão mineral e do gás natural), o que vem a causar um choque da atual condição energética com os ambientalistas (Costa-Felix *et al.*, 2018). Isto torna imprescindível a busca por combustíveis oriundos de fontes renováveis. Dentre tais fontes temos o biodiesel derivado de óleos vegetais, o qual é menos agressivo ao meio ambiente, já que reduz qualitativa e quantitativamente os níveis de poluição ambiental; além de ter um baixo custo de produção (Hernández-Montelongo *et al.*, 2018).

As principais fontes para a produção de biodiesel são óleos vegetais, gorduras animais e óleos usados. O Brasil é um grande produtor de biocombustíveis, visto que apresenta uma diversidade de espécies agrícolas e grande extensão territorial destinada a plantações e criação de animais (Ramos *et al.*, 2017). As principais matérias-primas utilizadas no Brasil para produção de biodiesel são, o óleo de soja, algodão, canola, milho, dendê, gordura animal, algas e óleos residuais, por exemplo óleos residuais de fritura. Sendo o óleo de soja a matéria prima predominante pelo fato do Brasil ser o segundo maior produtor de soja do mundo (Zortea *et al.*, 2018).

O óleo de soja surgiu como um subproduto do processamento do farelo de soja, e tornou-se um dos líderes mundiais no mercado de óleos, possuindo excelentes propriedades. No entanto, foi constatado que a aplicação direta de óleos vegetais em motores de combustão interna é limitada por algumas propriedades físicas do mesmo, principalmente sua alta viscosidade, sua baixa volatilidade e seu caráter poli-insaturado, que ocasionam em alguns problemas nestes motores, bem como em uma combustão incompleta (Guldhe *et al.*, 2017). Por isso, com o objetivo de reduzir a viscosidade dos óleos vegetais, diferentes alternativas têm sido consideradas, tais como diluição, microemulsão com metanol ou etanol, craqueamento catalítico e reação de transesterificação com etanol ou metanol (Ahmad *et al.*, 2012). Entre essas alternativas, a transesterificação tem se apresentado como a melhor opção (Dantas *et al.*, 2018). Isso se deve ao fato de que a utilização de biodiesel, produto da transesterificação, como combustível alternativo ao diesel para motores de ignição por compressão tem apresentado potencial promissor no mundo inteiro (Benatti *et al.*, 2019)

A Medida Provisória nº 214, de 13 de setembro de 2004, define:

Sob o aspecto químico, o biodiesel como um produto composto de ácidos graxos de cadeias longas as quais encontram-se ligadas a um álcool, sendo definido como éster monoalquílico de ácidos graxos derivados de lipídeos de ocorrência natural.

Especialmente na reação de transesterificação, os óleos reagem com um álcool de cadeia curta como o metanol ou etanol, na presença de um catalisador que pode ser homogêneo (ácido ou básico), heterogêneo ou enzimático, para produzir os ésteres de alquila (ésteres de ácidos graxos) correspondentes (no caso do metanol, os ésteres metílicos) (Mendonça *et al.*, 2019).

A ação do catalisador consiste em diminuir a energia de ativação, possibilitando um novo caminho para a reação; o que determina o aumento da velocidade. Ao término do processo, o catalisador não passa por nenhuma modificação e não influencia na composição do produto final (Alcañiz-Monge *et al.*, 2018).

A reação empregada industrialmente utiliza comumente hidróxido de sódio ou potássio como catalisador. Estes catalisadores possuem custo relativamente baixo e fornecem alto nível de conversão em pouco tempo. Entretanto, a recuperação do catalisador é bastante difícil em virtude de sua solubilização no álcool, o que resulta na formação de emulsão, que consome parte do catalisador, diminui o rendimento em biodiesel, o que dificulta etapas de separação e purificação do biocombustível. Adicionalmente, a inabilidade para reciclagem e geração de grande quantidade de resíduo torna o uso de catalisadores tradicionais cada vez menos favoráveis (Adedoyin *et al.*, 2019).

Com o objetivo de minimizar, ou até mesmo eliminar, os problemas relacionados ao processo homogêneo convencional, têm sido realizados estudos utilizando o processo catalítico heterogêneo, o qual oferece vantagens técnicas e ambientais. Os sistemas heterogêneos não levam à corrosão e nem à formação de emulsões (sabões), tornando o processo de separação mais fácil, o que permite a reciclagem do catalisador sólido ao longo de sua vida útil e minimiza a geração de efluentes (Dantas *et al.*, 2018).

Recentemente, muitos trabalhos tem focado o uso de metais alcalinos e alcalinos terrosos, sob a forma de sais ou hidróxidos, suportados em diversos materiais, tais como Al_2O_3 (Sulaiman *et al.*, 2019), ZnO (Casiello *et al.*, 2019), zeólita (Prinsen *et al.*, 2018), NaY (Li *et al.*, 2019), etc., na obtenção de biodiesel pela reação de transesterificação. Dentre eles a alumina tem chamado bastante atenção devido as suas propriedades excelentes propriedades térmicas, químicas e físicas, tais como: atividade, seletividade, estabilidade, resistência mecânica e condutividade térmica (Taufiq-Yap *et al.*, 2011; Yusuff e Popoola, 2019).

2.2 Alumina como Suporte Catalítico

A alumina consiste em óxido de alumínio e ocorre na natureza como um mineral se cristaliza em estrutura hexagonal (corídon). É formado pela decomposição térmica dos precursores naturais ou sintéticos, geralmente acima de 1000°C. As aplicações mais comuns da alumina são como catalisadores, adsorventes e suportes de catalisador, devido à sua alta área específica (Da Costa Evangelista *et al.*, 2016).

Nas últimas décadas o interesse no desenvolvimento de nanopós ou materiais nanoestruturados tem despertado atenção de vários pesquisadores no estudo da preparação de vários sistemas cerâmicos por diferentes métodos de síntese química para uso em catálise (Bhanja e Bhaumik, 2019). A catálise é um processo que acontece na superfície e as altas áreas superficiais, produzidas por um conjunto de partículas nanométricas em relação ao seu volume, vêm a ser de crucial importância (Dantas *et al.*, 2018). Muitos métodos de síntese têm sido desenvolvidos no intuito de se produzir partículas nanométricas, com baixo grau de aglomeração e estreita faixa de distribuição de tamanho. Em processos catalíticos, a forma de obtenção deve ser capaz, também, de gerar uma porosidade nas matrizes hospedeiras que permita o acesso dos reagentes aos centros hospedeiros (Mapossa *et al.*, 2017).

Entre esses sistemas cerâmicos utilizados como catalisadores e suportes catalíticos em vários processos da indústria petroquímica, a alumina tem um destaque especial em função das suas excelentes propriedades térmicas, químicas e físicas, tais como: atividade, seletividade, estabilidade, resistência mecânica e condutividade térmica (Yusuff e Popoola, 2019). Devido a isto a atenção no estudo de nanopartículas de alumina cresceu nos últimos anos, pois esse material tem mostrado grande potencial para o uso de revestimento (Fernandez e Jodoin, 2019), abrasivos (Martinez *et al.*, 2019), suportes catalíticos (Kim *et al.*, 2019), entre outros. De fato, estas nanopartículas oferecem características inovadoras em comparação com a cerâmica de alumina convencional (não em escala nanométrica), devido suas propriedades especiais como: alta dureza, alta força mecânica, boa resistência a choques térmicos, transparência (Mahmoudian *et al.*, 2019).

Além disso, a alumina se apresenta como um suporte cerâmico catalítico economicamente viável, já que método de síntese (método de reação por combustão) oferece um baixo custo (Dantas *et al.*, 2018). Neste trabalho, a Al_2O_3 atua como suporte da fase ativa: o metal alcalino K (potássio) sob a forma de hidróxido (KOH).

2.3 Catalisadores: Impregnação com KOH

O hidróxido de potássio e o de sódio são os mais ativos na transesterificação homogênea de óleo vegetal (Bani *et al.*, 2018). Portanto, é natural o uso de sais ou hidróxidos precursores de íons de potássio como fase ativa em catalisadores

heterogêneos, já que estes oferecem vantagens em relação aos homogêneos.

Os catalisadores sólidos consistem em uma fase ativa, que é responsável pela atividade catalítica, e uma fase inerte ao processo catalítico denominada de suporte, que é um material termicamente e quimicamente estável. A adição de íons ou óxidos de metais, aminas e complexos orgânicos no suporte pode ser dada por troca-iônica, co-precipitação, deposição-precipitação, impregnação úmida ou impregnação física (Almeida *et al.*, 2017). Neste trabalho, o catalisador é preparado a partir do método de impregnação via dispersão úmida, onde é estudada a concentração de KOH impregnado na Al_2O_3 .

3 | METODOLOGIA

A metodologia empregada nesse trabalho foi dividida em dois tópicos principais: um deles descreve a síntese e caracterização dos catalisadores, enquanto o outro está relacionado à produção e à caracterização dos biodiesel.

3.1 Síntese e caracterização dos catalisadores

A alumina (Al_2O_3) utilizada como suporte foi obtida por meio da reação de combustão, tendo como reagentes o nitrato de alumínio nonohidratado ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) e ureia ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$), seguindo metodologia utilizada no projeto PIVIC 2010-2011 (Silva *et al.*, 2012).

Para a síntese dos catalisadores, foi empregado o processo de impregnação, o qual confere um maior poder catalítico aos catalisadores heterogêneos. Este fato é evidenciado quando se observa os elevados resultados de conversão obtidos nos sistemas catalíticos impregnados e utilizados no processo de transesterificação (Boz *et al.*, 2009).

O processo de impregnação utilizado foi por dispersão física via úmida (Xie *et al.*, 2006) no preparo do catalisador $\text{KOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$. Para tanto a fonte precursora do potássio, foi o hidróxido de potássio (KOH). O potássio foi introduzido na alumina (Al_2O_3) na concentração de 10, 20 e 30%, por dispersão a úmido, durante o tempo necessário ao preparo dos catalisadores.

A impregnação por via úmida consistiu no preparo de uma solução de hidróxido de potássio (KOH) de forma a gerar o catalisador. Para o cálculo da massa de potássio e, posteriormente, da massa do sal foram utilizadas as Equações 1 e 2, respectivamente. Uma vez determinada a massa de KOH esta foi dissolvida em água para a obtenção de uma solução, a qual foi misturada a alumina na proporção de 1:30. A mistura então foi agitada por 1 hora em temperatura ambiente, sendo, em seguida, a fase líquida evaporada em estufa com circulação de ar a 70°C . Evaporada a fase líquida, o material foi mantido por 3 horas a 110°C .

$$P = \frac{m_K}{m_K + m_{Al_2O_3}} \quad (1)$$

$$m_{sal} = \frac{m_K}{P_K} \quad (2)$$

Onde: m_K (g) é a massa do íon potássio, $m_{Al_2O_3}$ (g) é a massa do suporte, P_K é o percentual do íon potássio no sal (decimal), P é o percentual do íon a ser impregnada (decimal) e m_{sal} é a massa do sal (g) precursor do potássio a ser pesada.

Preparado os catalisadores, estes foram calcinados a 500°C por 5 horas sob ar atmosférico, seguindo a sequência de aquecimento de 100°C/0,5h; 200°C/1h; 350°C/3h e 500°C/5h.

A Tabela 1 resume as técnicas de caracterização utilizadas para o suporte e os catalisadores e seus respectivos equipamentos.

Técnica	Equipamento
Difração de raios X (DRX)	XRD-6000, com fonte de radiação CuK α , Shimadzu
Espectroscopia por energia dispersiva de raios X (EDX)	EDX-720, Shimadzu.
Análise textural – Adsorção de nitrogênio	NOVA 3200e, Quantachrome.
Distribuição granulométrica	Mastersize 2000, Malvern.

Tabela 1 – Técnicas de caracterização e seus respectivos equipamentos.

3.2 Produção e caracterização dos biodieseis

Para avaliação da atividade catalítica, os catalisadores foram testados nas reações de transesterificação do óleo de soja vegetal refinado comercial (Marca ABC®) em presença de metanol como agentes de alcóolise. Inicialmente foram realizados testes catalíticos exploratórios em condições padronizadas (teste em branco), com a finalidade de verificar a transformação do óleo vegetal em biodiesel (ésteres metílicos).

A reação de transesterificação metílica do óleo de soja refinado em presença dos catalisadores em estudo, foi conduzida em reator de aço inox acoplado a uma chapa aquecedora, temperatura de 160°C, sob agitação constante de 1000 rpm, durante os tempos reacionais de 1h de 2h. Nestas reações típicas foram utilizadas as razões molares de óleo de soja/metanol 1:20, respectivamente, correspondendo a 10 g de óleo de soja, 7,41 g de metanol e 0,4 g de catalisador (4% em massa). O produto obtido na reação de transesterificação foi lavado com água destilada e centrifugado por 30 minutos numa rotação de 2500 rpm.

A caracterização das amostras foi feita por meio da técnica de cromatografia gasosa, para a determinação quantitativa da conversão do óleo em biodiesel. O

equipamento utilizado foi o VARIAN CP–GC equipado com um sistema de injeção capilar, volume de amostra de 1 μL , utilizando uma coluna apolar VF-1ms (Factor Four) para determinação de teores de éster, monoacilglicerídeos, diacilglicerídeos e triacilglicerídeos.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 estão ilustrados os difratogramas de raios X do suporte Al_2O_3 resultante da reação de combustão e dos catalisadores produzidos. Pode-se observar a presença da fase cristalina estável Al_2O_3 (ficha padrão JCPDS 89 – 7717). Observa-se também para os processos de impregnação utilizados, o aparecimento de uma nova fase interpretada como sendo K_2O (óxido de potássio) (ficha padrão JCPDS 26-1327). Comparados os difratogramas dos catalisadores impregnados $\text{KOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$ com o suporte Al_2O_3 , observa-se uma gradual diminuição da intensidade dos picos correspondentes à alumina.

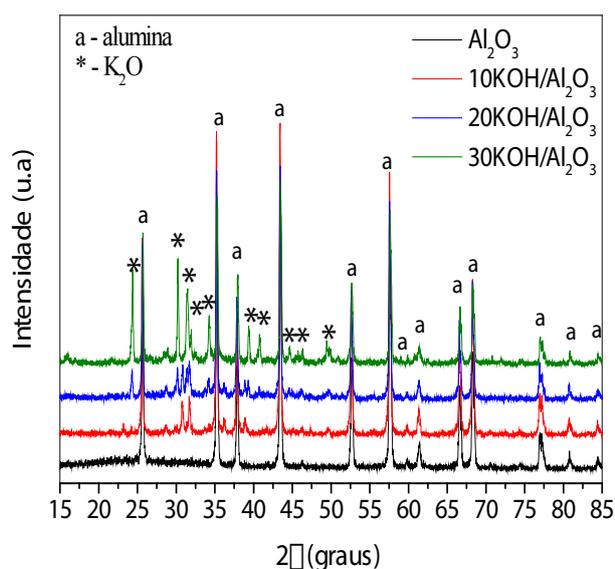


Figura 1 – Difratogramas de raios X do suporte catalítico e dos catalisadores.

De acordo com o aumento da concentração de hidróxido de potássio (KOH) de cada catalisador, também foi verificado um aumento proporcional da intensidade dos picos do óxido de potássio (K_2O) dos mesmos.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da composição química para a alumina e os catalisadores impregnados.

Amostra	Al ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	*Impurezas (%)
Teórico	71,3	28,7	-
Al ₂ O ₃	99,6	-	0,4
10KOH/Al ₂ O ₃	92,1	7,7	0,2
20KOH/Al ₂ O ₃	80,6	19,2	0,2
30KOH/Al ₂ O ₃	71,2	28,1	0,7

Tabela 2 – Composição química do suporte e dos catalisadores.

*Impurezas: Fe₂O₃, SiO₂, Sm₂O₃, NiO, ZnO, SO₃, Co₂O₃.

Por meio da comparação dos dados da Tabela 2, observaram-se quedas nas porcentagens de Al₂O₃ à medida que se aumentaram as concentrações de KOH, eventualmente provocadas pelo tratamento químico (impregnação) realizado na estrutura da amostra com o hidróxido de potássio.

Observou-se ainda que, as impregnações via dispersão úmida, adotadas neste trabalho, foram executadas com êxito, pois quando aumenta a porcentagem de KOH nas amostras, aumenta a porcentagem dos óxidos de potássio (K₂O) e diminui a porcentagem do óxido de alumínio (Al₂O₃) contido nas amostras experimentais, chegando próximas as porcentagens teóricas do óxido de metal (K₂O) e do óxido de alumínio (Al₂O₃), indicando que a reação manteve-se próxima a estequiometria prevista teoricamente para os óxidos.

Na Figura 2 encontram-se apresentadas as isotermas de adsorção/dessorção de N₂ como resultado da caracterização textural das seguintes amostras: o suporte (Al₂O₃) e os catalisadores impregnados via dispersão úmida (10KOH/Al₂O₃, 20KOH/Al₂O₃ e 30KOH/Al₂O₃).

Todas as amostras apresentaram em seu perfil de adsorção/dessorção de N₂ o fenômeno de histerese. A histerese é um fenômeno que resulta da diferença entre o mecanismo de condensação e evaporação do gás adsorvido. Este processo ocorre em diferentes valores de pressão relativa e sua forma é determinada principalmente pela geometria dos poros (GREGG e SING, 1982). Segundo IUPAC (IUPAC, 1976), as amostras apresentam histerese do tipo H3, que é caracterizada pelos poros apresentarem formato de cunhas, cones e/ou placas paralelas.

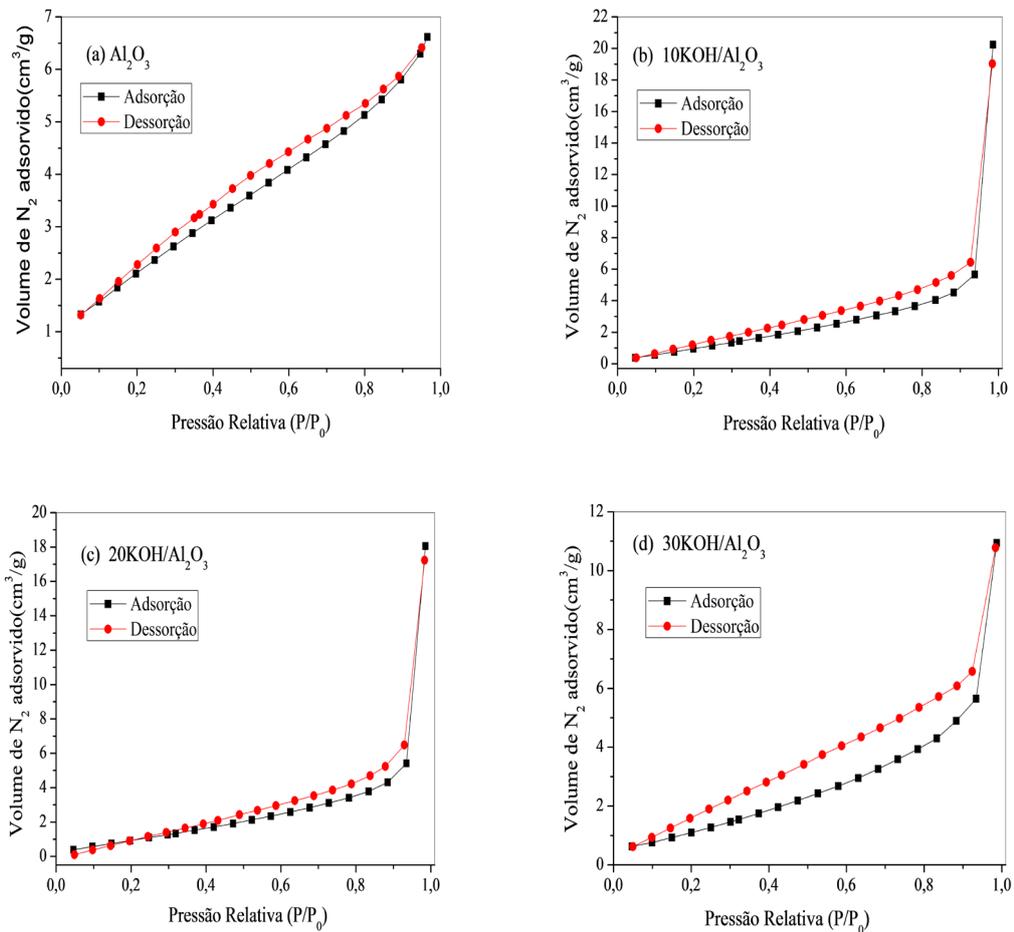


Figura 2 – Isotermas de adsorção/dessorção de nitrogênio do suporte e dos catalisadores.

A Tabela 3 apresenta os resultados de área superficial específica (S_{BET}), diâmetro da partícula (D_{BET}), volume de poro (V_p) e diâmetro de poro (D_p) para os catalisadores estudados.

Amostras	S_{BET} (m^2/g)	D_{BET} (nm)	V_p (cm^3/g)	D_p (nm)
Al_2O_3	5,07	297	0,009	3,41
10KOH/ Al_2O_3	5,27	286	0,029	3,70
20KOH/ Al_2O_3	4,77	316	0,027	3,70
30KOH/ Al_2O_3	4,91	307	0,015	3,32

Tabela 3 – Valores de área superficial específica (S_{BET}), tamanho de partícula (D_{BET}), volume de poro (V_p) e diâmetro de poro (D_p) das amostras de Al_2O_3 pura e impregnadas com o KOH.

* D_{BET} calculados a partir dos dados da área superficial. Densidade teórica = $3,98 \text{ g}/\text{cm}^3$ (Lide, 1995).

Os dados apresentados na Tabela 3 mostram que a maior área superficial específica foi obtida pela amostra impregnada com 10% de hidróxido de potássio (10KOH/ Al_2O_3), apresentando um aumento de 2,30% quando comparada à alumina pura (Al_2O_3). Porém, observa-se que as amostras 20KOH/ Al_2O_3 e 30KOH/ Al_2O_3

apresentaram redução na sua área superficial de 3,45% e 1,84%, respectivamente, quando comparadas com o valor da área superficial da alumina pura.

Os resultados obtidos com a análise textural das amostras impregnadas indicam que a adição de um agente promotor ao suporte catalítico, através do processo de impregnação, pode causar diminuição ou aumento da área superficial, do tamanho de partícula, do volume de poro dependendo da concentração do hidróxido precursor do íon de potássio que foi utilizado na impregnação, como se pode observar na Tabela 3. Já quanto ao diâmetro de poro observou-se aumentos de 8,50% nas amostras impregnadas com 10% e 20% de KOH e diminuição de 2,64% na amostra impregnada com 30% de KOH em relação ao diâmetro da amostra pura (Al_2O_3).

A partir do gráfico da Figura 2, observa-se que a histerese é do tipo H3, de acordo com a classificação da IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) (GREGG e SING, 1982). Nesse tipo de histerese, os poros apresentam formato de cunhas, cones e/ou placas paralelas. A histerese do tipo H3 é típica de materiais contendo poros entre 2 e 50 nm, denominados mesoporos.

Na Figura 3 estão apresentados os resultados dos diâmetros esféricos equivalentes em função do volume para o suporte (Al_2O_3) e os catalisadores impregnados via dispersão úmida (10KOH/ Al_2O_3 , 20KOH/ Al_2O_3 e 30KOH/ Al_2O_3).

Por meio da Figura 3, observa-se que os catalisadores obtidos apresentam uma distribuição de tamanho de aglomerados estreita. Os catalisadores Al_2O_3 , 10KOH/ Al_2O_3 , 20KOH/ Al_2O_3 e 30KOH/ Al_2O_3 resultam em aglomerados com diâmetro medianos de 18,5, 16,0, 14,5 e 11,3 respectivamente.

Quando comparamos o tamanho mediano dos aglomerados dos catalisadores impregnados 10KOH/ Al_2O_3 , 20KOH/ Al_2O_3 e 30KOH/ Al_2O_3 com o suporte Al_2O_3 , observa-se uma diminuição de 15,34%, 23,28% e 40,21%, respectivamente. Essa diminuição ocorreu devido à mistura feita na preparação dos mesmos e observa-se que o hidróxido de potássio (KOH) também funcionou como um agente que contribuiu para tal, pois verifica-se que o aumento da concentração de KOH torna essa diminuição mais acentuada.

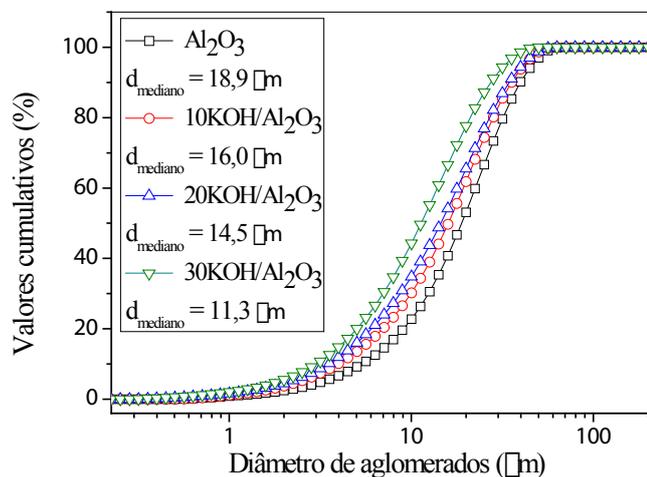


Figura 3 – Distribuição granulométrica dos catalisadores (a) Al_2O_3 , (b) $\text{KOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$ -30.

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados obtidos para a análise cromatográfica das amostras de biodieseis produzidos, ou seja, a porcentagem de éster de cada amostra, com tempo de reação de 1 hora; enquanto na Tabela 5 estão os resultados para o tempo reacional de 2 horas.

Catalisador	Teor de éster (%)
Al_2O_3	19,40
10KOH/ Al_2O_3	98,07
20KOH/ Al_2O_3	95,70
30KOH/ Al_2O_3	97,49

Tabela 4 - Dados do teor de éster dos biodieseis obtidos com 1 hora de reação.

Catalisador	Teor de éster (%)
Al_2O_3	75,68
10KOH/ Al_2O_3	92,48
20KOH/ Al_2O_3	94,86
30KOH/ Al_2O_3	97,66

Tabela 5 - Dados do teor de éster dos biodieseis obtidos com 2 horas de reação.

A partir da Tabela 4 e 5 observa-se que a alumina não impregnada apresentou baixa atividade catalítica. No entanto, quando o composto de potássio foi impregnado sobre alumina e ativado a altas temperaturas, os catalisadores suportados mostraram excelentes atividades catalíticas, resultando em elevada conversão e produzindo biodieseis com teores de éster maiores que o limite mínimo de 96,5% estabelecido pela ANP (resolução nº 45/2014).

Sendo assim, pode-se observar que suportar o composto de potássio na alumina é uma alternativa promissora para melhorar a atividade catalítica da alumina e aumentar o rendimento em éster das reações de transesterificação. O mesmo foi

observado por Evangelista *et al.* (2016), Agarwal *et al.* (2012), Noiroj *et al.* (2009) e Xie *et al.* (2006).

O melhor resultado foi obtido pelo catalisador com menor quantidade de hidróxido de potássio e menor tempo de reação: 10KOH/Al₂O₃ em 1 hora. Assim, não foi possível comprovar qualquer relação entre o teor de éster final do biodiesel e a proporção de KOH do catalisador ou o tempo de reação empregado.

5 | CONCLUSÃO

- Diante do exposto, pode-se concluir que as impregnações foram feitas com sucesso, pois não alteraram significativamente a estrutura característica da alumina, porém houve uma diminuição dos aglomerados com a incorporação do potássio.

- Os catalisadores obtidos para todas as composições estudadas são constituídos de poros com diâmetro entre 2,5 e 100 nm, por isso, denominados mesoporos.

- As caracterizações do produto reacional atestaram a formação do biodiesel estando com o mínimo em ésteres exigidos para a qualidade estabelecida pela ANP, podendo classificar o biodiesel obtido com o catalisador impregnado por via úmida como o mais qualificado comparado ao obtido com o catalisador puro (Al₂O₃).

REFERÊNCIAS

ADEDOYIN, A. J.; ABIODUN, O. E.; FRANK, O. I. **Biodiesel Production from Palm Oil using Heterogeneous Base Catalyst.** IJSRSET, v. 6, n. 6, p. 80-90, 2019.

AGARWAL, M.; CHAUHANS, G.; CHAURASIA, S. P.; SINGH, K. **Study of catalytic behavior of KOH as homogeneous and heterogeneous catalyst for biodiesel production.** Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, v. 43, p. 89-94, 2012.

AHMAD, M.; KHAN, M. A.; ZAFAR, M.; SULTANA, S. **Practical handbook on biodiesel production and properties.** CRC Press, 2012. ISBN 0429086792.

ALCAÑIZ-MONGE, J.; EL BAKKALI, B.; TRAUTWEIN, G.; REINOSO, S. **Zirconia-supported tungstophosphoric heteropolyacid as heterogeneous acid catalyst for biodiesel production.** Applied Catalysis B: Environmental, v. 224, p. 194-203, 2018.

ALMEIDA, E.; ERHARDT, M.; ANDRADE, C. **Preliminary Analysis of Heterogeneous Superacid Catalysts in Biodiesel Production.** DEStech Transactions on Engineering and Technology Research, n. ecame, 2017.

AMBAT, I.; SRIVASTAVA, V.; SILLANPÄÄ, M. **Recent advancement in biodiesel production methodologies using various feedstock: A review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 90, p. 356-369, 2018.

BANI, O.; ARYANI, N.; KABAN, G. S. **Preparation of activated carbon-based catalyst from candlenut shell impregnated with KOH for biodiesel production.** In: Key Engineering Materials, Trans Tech Publ, p.262-267, 2018.

- BENATTI, G. S. D. S.; BUAINAIN, A. M.; CAVALCANTE FILHO, P. G. **A cadeia produtiva agroindustrial do biodiesel no Brasil**. DRd - Desenvolvimento Regional em debate, v. 9, p. 772-799, 2019.
- BHANJA, P.; BHAUMIK, A. **Materials with Nanoscale Porosity: Energy and Environmental Applications**. The Chemical Record, v. 19, n. 2-3, p. 333-346, 2019.
- BOZ, N.; DEGIRMENBASI, N.; KALYON, D. M. **Conversion of biomass to fuel: Transesterification of vegetable oil to biodiesel using KF loaded nano- α - Al_2O_3 as catalyst**. Applied Catalysis B: Environmental, v. 89, p. 590-560, 2009.
- CASIELLO, M.; CATUCCI, L.; FRACASSI, F.; FUSCO, C.; LAURENZA, A. G.; DI BITONTO, L.; PASTORE, C.; D'ACCOLTI, L.; NACCI, A. **ZnO/Ionic Liquid Catalyzed Biodiesel Production from Renewable and Waste Lipids as Feedstocks**. Catalysts, v. 9, n. 1, p. 71, 2019.
- COSTA-FELIX, R. P.; FIGUEIREDO, M. K.; ALVARENGA, A. V. **An ultrasonic method to appraise diesel and biodiesel blends**. Fuel, v. 227, p. 150-153, 2018.
- EVANGELISTA, J. P. da C.; GONDIM, A. D.; DI SOUZA, L.; ARAUJO, A. S. **Alumina-supported potassium compounds as heterogeneous catalysts for biodiesel production: a review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 59, p. 887-894, 2016.
- DA SILVA, C. C.; POLLI, S. A. **O programa nacional de produção e uso do biodiesel-pnpb e a atuação da agricultura familiar**. Anais do Encontro Mãos de Vida, v. 5, n. 1, 2019.
- DANTAS, J.; LEAL, E.; CORNEJO, D.; KIMINAMI, R.; COSTA, A. **Biodiesel production evaluating the use and reuse of magnetic nanocatalysts NiO. 5ZnO. 5Fe2O4 synthesized in pilot-scale**. Arabian Journal of Chemistry, 2018.
- FERNANDEZ, R.; JODOIN, B. **Cold Spray Aluminum–Alumina Cermet Coatings: Effect of Alumina Morphology**. Journal of Thermal Spray Technology, v. 28, n. 4, p. 737-755, 2019.
- GULDHE, A.; SINGH, P.; ANSARI, F. A.; SINGH, B.; BUX, F. **Biodiesel synthesis from microalgal lipids using tungstated zirconia as a heterogeneous acid catalyst and its comparison with homogeneous acid and enzyme catalysts**. Fuel, v. 187, p. 180-188, 2017.
- HERNÁNDEZ-MONTELONGO, R.; GARCÍA-SANDOVAL, J. P.; GONZÁLEZ-ÁLVAREZ, A.; DOCHAIN, D.; AGUILAR-GARNICA, E. **Biodiesel production in a continuous packed bed reactor with recycle: A modeling approach for an esterification system**. Renewable energy, v. 116, p. 857-865, 2018.
- KIM, C.; KIM, S. H.; SUBRAMANIAN, G. O.; JANG, C.; PARK, K. M. **Integrity of Alumina Catalytic Support Prepared by Anodization in a High Temperature Steam Environment**. Metals and Materials International, v. 25, n. 2, p. 324-332, 2019.
- LI, Z.; DING, S.; CHEN, C.; QU, S.; DU, L.; LU, J.; DING, J. **Recyclable Li/NaY zeolite as a heterogeneous alkaline catalyst for biodiesel production: Process optimization and kinetics study**. Energy Conversion and Management, v. 192, p. 335-345, 2019.
- LIDE, D. R. C. **Handbook of Chemistry and Physics**. Edition 75 th, 1995.
- MAHMOUDIAN, M.; MARJANI, A. P.; HASANZADEH, R.; MORADIAN, M.; SHISHAVAN, S. M. **Optimization of mechanical properties of in situ polymerized poly (methyl methacrylate)/alumina nanoparticles nanocomposites using Taguchi approach**. Polymer Bulletin, p. 1-18, 2019.

- MARTINEZ, K. A.; STEWART, M. R.; DEAN, J.; REMSEN, E. E. **Small Molecule Adsorption on Colloidal Alumina and Zirconia Abrasives Used in Chemical-Mechanical Planarization (CMP) Slurries**. In: Meeting Abstracts, The Electrochemical Society, p.1033-1033, 2019.
- MENDONÇA, I. M.; PAES, O. A.; MAIA, P. J.; SOUZA, M. P.; ALMEIDA, R. A.; SILVA, C. C.; DUVOISIN JR, S.; DE FREITAS, F. A. **New heterogeneous catalyst for biodiesel production from waste tucumã peels (*Astrocaryum aculeatum* Meyer): Parameters optimization study**. Renewable energy, v. 130, p. 103-110, 2019.
- NOIROJ, K.; INTARAPONG, P.; LUENGNARUEMITCHAI, A.; JAI-IN, S. **A comparative study of KOH/Al₂O₃ and KOH/NaY catalysts for biodiesel production via transesterification from palm oil**. Renewable Energy, v. 34, p. 1145-1150, 2009
- PRINSEN, P.; LUQUE, R.; GONZÁLEZ-ARELLANO, C. **Zeolite catalyzed palmitic acid esterification**. Microporous and Mesoporous Materials, v. 262, p. 133-139, 2018.
- RAMOS, L. P.; KOTHE, V.; CÉSAR-OLIVEIRA, M.; MUNIZ-WYPYCH, A.; NAKAGAKI, S.; KRIEGER, N.; WYPYCH, F.; CORDEIRO, C. **Biodiesel: Matérias-primas, tecnologias de produção e propriedades combustíveis**. Rev. Virtual Quim, v. 9, n. 1, p. 317-369, 2017.
- SOUZA, D. S. M. **Análise dos efeitos econômicos do biodiesel no desenvolvimento do nordeste brasileiro**. 2019. 29. (Doutorado). Professor do Programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal do Pará (PPGE/UFPa), Faculdades Metropolitanas Unidas (FMU), Pará.
- SULAIMAN, N. F.; BAKAR, W. A. W. A.; TOEMEN, S.; KAMAL, N. M.; NADARAJAN, R. **In depth investigation of bi-functional, Cu/Zn/γ-Al₂O₃ catalyst in biodiesel production from low-grade cooking oil: Optimization using response surface methodology**. Renewable energy, v. 135, p. 408-416, 2019.
- TAUFIQ-YAP, Y. H.; ABDULLAH, N. F.; BASRI, M. **Biodiesel production via transesterification of palm oil using NaOH/Al₂O₃ catalysts**. Sains Malaysiana, v. 40, n. 6, p. 587-594, 2011.
- VARGHESE, R.; HENRY, J. P.; IRUDAYARAJ, J. **Ultrasonication-assisted transesterification for biodiesel production by using heterogeneous ZnO nanocatalyst**. Environmental Progress & Sustainable Energy, v. 37, n. 3, p. 1176-1182, 2018.
- XIE, W.; PENG, H.; CHEN, L. **Transesterification of soybean oil catalyzed potassium loaded on alumina as a solid-base catalyst**. Applied Catalysis, v. 300, p. 67-74, 2006.
- YUSUFF, A. S.; POPOOLA, L. T. **Optimization of biodiesel production from waste frying oil over alumina supported chicken eggshell catalyst using experimental design tool**. Acta Polytechnica, v. 59, n. 1, p. 88-97, 2019.
- ZORTEA, R. B.; MACIEL, V. G.; PASSUELLO, A. **Sustainability assessment of soybean production in Southern Brazil: A life cycle approach**. Sustainable Production and Consumption, v. 13, p. 102-112, 2018.

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE FILMES HÍBRIDOS PRODUZIDOS POR AMIDO DE MILHO E QUITOSANA

Data de aceite: 27/03/2020

Francielle Cristine Pereira Gonçalves

Universidade Federal Rural do Semi Árido –
UFERSA

Mossoró, Rio Grande do Norte

<http://lattes.cnpq.br/5554547181776481>

Kilton Renan Alves Pereira

Universidade Potiguar- UNP

Mossoró, Rio Grande do Norte

<http://lattes.cnpq.br/4652377904548613>

Rodrigo Dias Assis Saldanha

Universidade Federal Rural do Semi Árido –
UFERSA

Mossoró, Rio Grande do Norte

Simone Cristina Freitas de Carvalho

Universidade Federal Rural do Semi Árido –
UFERSA

Mossoró, Rio Grande do Norte

<http://lattes.cnpq.br/4353144232987436>

Vítor Rodrigo de Melo e Melo

Universidade Federal Rural do Semi Árido –
UFERSA

Mossoró, Rio Grande do Norte

<http://lattes.cnpq.br/0892282595815754>

Kristy Emanuel Silva Fontes

Universidade Federal Rural do Semi Árido –
UFERSA

Mossoró, Rio Grande do Norte

<http://lattes.cnpq.br/3191482294056161>

Richelly Nayhene de Lima

Universidade Federal Rural do Semi Árido –
UFERSA

Mossoró, Rio Grande do Norte

<http://lattes.cnpq.br/5885181406142070>

Magda Jordana Fernandes

Universidade Federal Rural do Semi Árido –
UFERSA

Mossoró, Rio Grande do Norte

<http://lattes.cnpq.br/7287321742260771>

Elano Costa Silva

Universidade Federal Rural do Semi Árido –
UFERSA

Mossoró, Rio Grande do Norte

<http://lattes.cnpq.br/8216220087299776>

Thaynon Brendon Pinto Noronha

Universidade Federal Rural do Semi Árido –
UFERSA

Mossoró, Rio Grande do Norte

<http://lattes.cnpq.br/0326255573872508>

Liliane Ferreira Araújo de Almada

Universidade Federal Rural do Semi Árido –
UFERSA

Mossoró, Rio Grande do Norte

<http://lattes.cnpq.br/9699485586577114>

Paulo Henrique Araújo Peixôto

Universidade Federal Rural do Semi Árido –
UFERSA

Mossoró, Rio Grande do Norte

<http://lattes.cnpq.br/0240365101647773>

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi obter e caracterizar mecanicamente os filmes produzidos a partir do amido de milho e da quitosana como alternativa para a substituição dos filmes produzidos a partir de polímeros sintéticos. Os filmes foram produzidos por amido de milho e quitosana a partir de um planejamento experimental com variações de matéria seca utilizando a técnica casting. As misturas foram preparadas através da combinação do amido de milho com a água destilada e a solução de quitosana foi produzida a partir da diluição do ácido acético, à 1%. Em ambas as soluções ocorreu a incorporação do plastificante glicerol à 20%. Os resultados apontaram que a incorporação de quitosana resultou em um aumento na resistência à tração e alongamento na ruptura e uma diminuição no módulo de Young. Os resultados indicam que estes filmes biodegradáveis poderiam ser utilizados como filmes de embalagens para diversas aplicações.

PALAVRAS – CHAVE: Filmes, Biodegradáveis, Embalagens.

MECHANICAL CHARACTERIZATION OF HYBRID FILMS PRODUCED BY CORN STARCH AND CHITOSAN

ABSTRACT: The focus of this study was to obtain and characterize mechanically the films reproduced from corn and chitosan as an alternative for the replacement of films recorded from synthetic polymers. The films were used by means of corn and chitosan from an experimental design with changes in dry matter, using a technical casting. As the mixtures were prepared by combining corn starch with distilled water and a chitosan solution, they were burned from the 1% dilution of acetic acid. In both solutions, a 20% incorporation of plasticizer glycerol occurred. The results showed that the incorporation of chitosan resulted in an increase in resistance to changes and an increase in rupture and a decrease in Young's modulus. The results that these biodegradable films can use as packaging films for various applications.

KEYWORDS: Films, Biodegradable, Packaging.

1 | INTRODUÇÃO

Diversas questões ambientais atentam os comandos mundiais, em meio a elas o aumento populacional, o colapso dos recursos e a crescente na produção de resíduos são as basais. Dentre as indústrias que contribuem ativamente para a produção de resíduos não biodegradáveis estão as indústrias de embalagens plásticas, cujos plásticos derivados de petróleo refletem cerca de um quinto do volume dos resíduos urbanos (RAMÍREZ *et al.*, 2011; PRACHAYAWARAKORN *et al.*, 2013; FADEYIBI *et al.*, 2014).

Com isso, para que esses problemas fossem sanados, ocorreu um aumento quanto a procura por materiais que beneficiem o desenvolvimento sustentável

limitando os impactos ambientais (KOROL; BURCHART-KOROL; PICHLAK, 2015). É possível obter tais materiais com base em muitos resíduos, além de diversos deles possuírem o caráter renovável, diminuindo a formação de resíduos, poluição e gases de efeito estufa (GURUNATHAN; MOHANTY; NAYAK, 2015; DAS; BHATTACHARYYA; SARMAH, 2016).

Diversos materiais poliméricos são fabricados com a base de combustíveis fósseis e estes são empregados amplamente na produção de materiais em várias indústrias, com ênfase na de embalagem. Tais produtos são não-renováveis e biorecalcitrantes, retratando um severo problema ambiental (KOROL; BURCHART-KOROL; PICHLAK, 2015; AZEREDO; ROSA; MATTOSO, 2017).

A fim de sanar essa questão, ocorreu um acréscimo na produção mundial dos materiais biopoliméricos, estes são biodegradáveis e provenientes de uma imensa variedade de recursos renováveis (DICKER *et al.*, 2014).

Um das alternativas promissoras é a produção de filmes biodegradáveis. Estes podem ser empregados em embalagens ou incorporados em soluções que contenham polímeros sintéticos para diminuir custos e elevar a disponibilidade dos materiais biodegradáveis com fins comerciais (GANIARI; CHOULITOU DI; OREOPOULOU, 2017). O emprego de filmes e revestimentos biodegradáveis proporciona vários benefícios, tais como: origem não poluente, adequadas propriedades mecânicas, alta capacidade de barreira, apropriados atributos sensoriais, simples aplicação, estabilidade microbiana e utilização de matérias-primas de baixo custo de obtenção e processamento (BALDWIN *et al.*, 2011; SPITIA *et al.*, 2014). As propriedades dos filmes biodegradáveis podem variar com base na composição, obtenção, aplicação, espessura e o acondicionamento (ROBERTSON, 2012).

Inúmeros trabalhos analisaram a fabricação de biopolímeros com base em proteínas (do trigo, do leite, gelatina e colágeno) e polissacarídeos (quitosana, amido e goma xantana) (FERNANDES *et al.*, 2015). A gelatina é um polímero natural que se apresenta como um pó quebradiço, translúcido, incolor e quase sem sabor. A gelatina é obtida principalmente da pele e ossos de suínos e bovinos (SHAKILA, *et al.*, 2012). Por possuir fácil aplicação e alta disponibilidade, é amplamente utilizada na indústria farmacêutica, de alimentos e cosméticos (EBNESAJJAD, 2012). Quando a gelatina é misturada com um plastificante, como glicerina ou sorbitol, forma filmes fortes, flexíveis, transparentes e impermeáveis ao oxigênio (ZHAO *et al.*, 2008). Os polissacarídeos é uma classe de materiais que se destaca dentre esses materiais ambientalmente sustentáveis.

Os biopolímeros, como o amido ou fécula, possuem alta biodegradabilidade, baixo custo, além do fato deste ser um recurso renovável. Todavia, essa classe possui baixa flexibilidade, alta fragilidade, bem como alta absorção de umidade (NARKCHAMNAN; SAKDARONNARONG, 2013). Apesar dos filmes e revestimentos

de polissacarídeos apresentarem adequadas propriedades de barreira contra gases e lipídeos, estes formam uma barreira pobre ao vapor da água (ELSABEE; ABDU, 2013; LECETA et al., 2015). Considerando estes aspectos, diversas linhas de pesquisas buscam melhorias nessas características e plastificantes como glicerol e outros polióis estão sendo incorporados à estas composições de biopolímeros visando um avanço na estrutura e propriedades destes, dentre os quais a fécula de mandioca (RAMÍREZ *et al.*, 2011, 2014; LARA; SALCEDO, 2016), amido de milho (MUSCAT *et al.*, 2014; SALEH *et al.*, 2017) e fécula de batata (LIANG; LUDESCHER, 2015; BALAKRISHNAN *et al.*, 2017).

Outro polissacarídeo promissor é a quitosana. Esse polissacarídeo catiônico possui natureza atóxica e biodegradável. É derivada principalmente da reação termoquímica alcalina de desacetilação parcial da quitina, que é farta na natureza e localizada em exoesqueletos de crustáceos como caranguejo, camarão e lagosta, além de outras fontes como insetos, moluscos, fungos e algas (ZARGAR et al., 2015). Um excelente filme pode ser aperfeiçoado com as características da quitosana produzindo um polímero adequado para um vasto conjunto de aplicações. Cada aplicação requer um filme de quitosana com propriedades físico-químicas e biológicas específicas, incluindo as propriedades térmicas, de barreira, antimicrobiana, mecânica e etc. (MUJTABA et al., 2019).

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo de obter filmes compostos por quitosana, gelatina bovina e fécula de batata (*Solanum tuberosum*) por meio da técnica *casting* e caracterizá-lo quanto às suas propriedades físicas, mecânicas e óticas. A escolha desses constituintes se deu a partir de sua abundância na região do semi-árido e da probabilidade de serem fabricados com as tecnologias adaptadas à realidade da região.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O amido de milho foi adquirido da empresa 3 Corações Alimentos S.A. (Brasil). A quitosana foi adquirida da empresa Polymar (Brasil) e os plastificantes, água destilada e glicerol (Dinâmica Química Contemporânea, São Paulo, Brasil), foram utilizados na produção dos biofilmes.

2.2 Planejamento experimental

Foi utilizado um planejamento experimental com variação da quantidade de matéria seca, possuindo 3 repetições do ponto central, resultando em 11 experimentos, a fim de obter um modelo de segunda ordem. As variáveis independentes utilizadas

foram, as composições de quitosana (QT) e amido de milho (AM). Enquanto as variáveis dependentes avaliadas foram limite de resistência a tração (LRT), módulo de elasticidade (ME) e alongamento na ruptura (AL). O planejamento experimental com valores reais e codificados podem ser observados na Tabela 1.

ENSAIO	AM. (%)	QT. (%)	LRT (MPa)	ME (MPa)	AL (%)
I	0 (-1)	3 (+1)	32,5866	20,4841	142,6221
II	3 (+1)	0 (-1)	1,8025	27,5839	16,0771
III	1,5 (0)	0 (-1)	3,3553	50,8708	16,3738
IV	0 (-1)	1,5 (0)	5,1976	33,9239	24,8014
V	1,5 (0)	1,5 (0)	8,0848	39,3062	25,1050
VI	1,5 (0)	1,5 (0)	8,4230	66,4855	31,8339
VII	1,5 (0)	1,5 (0)	9,1211	62,1234	24,3051
VIII	1,5 (0)	1,5 (0)	8,4451	40,5970	30,4060
IX	3 (+1)	1,5 (0)	6,2424	67,6807	13,8437
X	1,5 (0)	3 (+1)	7,0074	123,0259	10,6170
XI	3 (+1)	3 (+1)	6,4299	162,9732	3,5459

Tabela 1 – Matriz do planejamento experimental com valores reais e codificados (em parênteses), com AM. = amido de milho e QT. = quitosana, juntamente com as médias do Limite de Resistência à Tração (LRT), Módulo de Elasticidade (ME) e Alongamento na ruptura (AL).

Fonte: Autoria própria, 2019.

2.3 Procedimento de preparação de filme

Os filmes foram produzidos a partir do método *casting* com variação de 0 à 3% de massa seca. Os materiais foram pesados em uma balança analítica de precisão digital (AY220 da Marte) com resolução de 0,0001g do Laboratório de Processos Químicos da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA). As composições dos filmes foram pré-determinadas a fim de que os filmes obtivessem uma estrutura concisa e que possibilitasse a realização do ensaio. A solução de quitosana foi preparada pela dissolução do pó de quitosana (1,5 e 3g) em 100 ml de solução aquosa de ácido acético (CH_3COOH) à 0,1% a 90°C com agitação de 600 rpm (Ref. 752A da Fisatom) por aproximadamente 40 minutos. A solução de amido (1,5 e 3g / 100 ml) foi preparado pela dispersão do amido de milho em água destilada à 95°C com agitação de 600 rpm (Ref. 752A da Fisatom) por 50 minutos até obter a completa gelatinização do amido. O glicerol, como plastificante, foi adicionado à solução de quitosana e solução de amido na concentração de 20% em peso de quitosana e amido, respectivamente. Após a preparação das misturas puras de amido de milho e quitosana foram medidas as composições de cada mistura e com o auxílio de uma proveta graduada e, em seguida, foram compostos os pontos apresentados anteriormente na Tabela 1. É válido ressaltar que para cada ponto da Tabela 1 se foi produzida uma mistura pura. Em seguida, as misturas foram postas

em bandejas (15 mm x 15 mm) e encaminhadas para secagem em uma estufa com renovação de ar (TE-394/1 da TECNAL) do Laboratório de Análise Química da UFERSA a uma temperatura de 50°C durante 05 horas.

2.4 Medição da espessura dos filmes

As espessuras dos corpos de prova foram obtidas em cinco pontos aleatórios com um micrômetro analógico da EDA com resolução de 0,01 mm. As médias desses valores foram utilizadas para determinação das propriedades mecânicas de cada corpo de prova.

2.5 Ensaio Mecânico

Os corpos de prova com dimensões de 20 mm x 100 mm, foram ensaiados para aquisição das propriedades mecânicas (limite de resistência a tração, módulo de elasticidade e alongamento na ruptura) de acordo com a norma ASTM D3039M em uma máquina universal de ensaios (DL 10000 da EMIC) do Laboratório de Ensaios Mecânicos da UFERSA, com uma célula de carga de 5kN a uma temperatura de 23°C, com uma velocidade de ensaio de 5 mm/min. Cinco corpos de prova foram ensaiados para cada composição do plano central de mistura.

2.6 Análise Estatística

Os dados obtidos através do planejamento foram avaliados com base no software Statistica® 12.5 (StatSoft, Inc., USA). Foi utilizada uma análise dos valores preditos em função dos valores observados para o modelo ajustado de cada resposta. Ao decorrer da realização dos ajustes nos modelos alguns efeitos foram ignorados.

3 | RESULTADOS

3.1 Propriedades Mecânicas

3.1.1 Superfícies de Respostas

Em um filme biodegradável deve existir determinada resistência mecânica e alongamento apropriado que possibilite a coesão e integridade durante a emissão ou acessão de esforços. Os modelos codificados propostos para descrever o Limite de Resistência à Tração (LRT), o Módulo de Elasticidade (ME) e o Alongamento na Ruptura (AI) são descritos pelas Eqs. (1), (2) e (3).

$$LRT = -4,871051 + 2,751537 \times QT + 0,22381 \times QT^2 + 10,60038 \times AM - 0,1558681 \times AM^2 - 3,647805 \times QT \times AM. \quad \text{Eq. (1)}$$

$$ME = 71,93899 - 4,800171 \times QT - 3,895335 \times QT^2 - 50,30616 \times AM + 12,1695 \times AM^2 + 20,7604 \times QT \times AM. \quad \text{Eq. (2)}$$

$$AL = -12,3163 + 4,1314 \times QT + 3,4215290551776 \times QT^2 + 40,59996 \times AM - 0,8316 \times AM^2 - 18,60774 \times QT \times AM. \quad \text{Eq. (3)}$$

As superfícies de resposta exibidas na Figura 1 foram elaboradas para verificar a interação entre dois componentes dos filmes, amido de milho e quitosana, sobre (a) Limite de Resistência à Tração (LRT), (b) Módulo de Elasticidade (ME) e (c) Alongamento na Ruptura (AI). Os valores de R² de cada propriedade mecânica podem ser observados na Tabela 2.

Valores de R ²	
LRT (MPa)	0,74794
ME (MPa)	0,93958
AL (%)	0,76669

Tabela 2 – Valores de R² das propriedades mecânicas dos filmes de amido de milho e quitosana.

Fonte: Autoria própria, 2019.

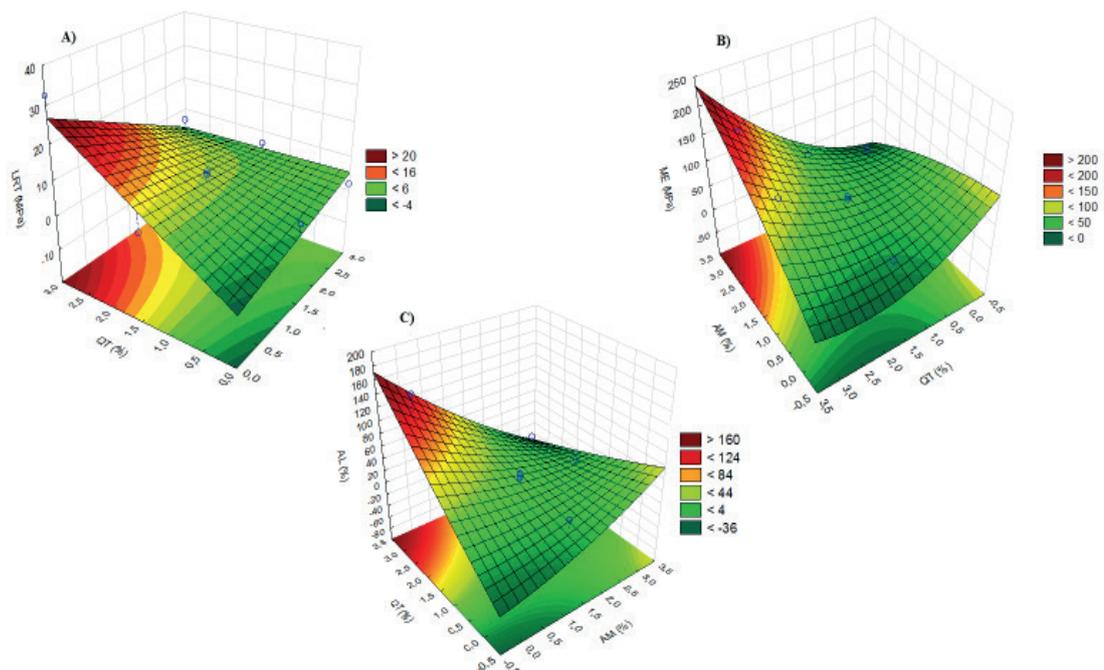


Figura 1 - Superfícies de resposta para (a) Limite de Resistência à Tração (LRT), (b) Módulo de Elasticidade (ME) e (c) Alongamento na Ruptura (AI) dos filmes como função da concentração do amido de milho e quitosana.

Analisando a Figura 1 (a) Limite de Resistência à Tração (LRT), é possível verificar que tanto o teor de amido de milho como o teor de quitosana influenciam na resistência das amostras, com base no modelo (Eq. 1.). O amido de milho desempenha um parâmetro quadrático decrescente. Isso ocorre em virtude de que o amido possui um caráter de natureza hidrofílica, juntamente ao glicerol, resultando em um filme de característica frágil, como visto anteriormente na Tabela 1. O amido de milho concede a matriz do filme elevada fragilidade em decorrência dos processos de absorção de água que podem acarretar o desenvolvimento de concentradores de tensão, originando os defeitos, derivados do processo em questão, alterando as propriedades mecânicas do filme e reduzindo a resistência mecânica como visto por Ren et al (2017). Por outro lado, a quitosana desempenha um parâmetro quadrático crescente. Isso implica que a adição de quitosana proporciona um aumento expressivo no LRT dos filmes. A melhora do LRT é alcançada devido a uma elevada formação de ligação de hidrogênio intermolecular entre NH_3^+ da espinha dorsal da quitosana e OH^- do amido de milho. Os grupos amina (NH_2) da quitosana foram prolongadas para NH_3^+ na solução de ácido acético, e por outro lado, as estruturas cristalinas ordenadas das moléculas de amido foram desfeitas devido o processo de gelatinização, derivando nos grupos OH^- sendo submetido a formar imediatamente ligações de hidrogênio com NH_3^+ da quitosana, elevando assim o LRT dos filmes, como visto por Bourtoom e Chinnan (2008).

De acordo com a Equação 2 e a Figura 1 (b) Módulo de Elasticidade (ME) é possível observar que tanto a quitosana como o amido de milho possuem influência sobre o ME. A quitosana desempenha o parâmetro quadrático decrescente. Isso devido a influência da flexibilidade conferida pela quitosana aumentando a plasticidade do material. Esta, por sua vez, é uma propriedade diretamente proporcional ao módulo de elasticidade. Por outro lado, o amido de milho desempenha o parâmetro quadrático crescente. Isso é observado, possivelmente, devido à presença da fragilidade aferida pelo amido reduzindo a plasticidade do material como analisado por Ren et al (2017).

Com base na Equação 3 e analisando a Figura 1 (c) Alongamento na Ruptura (AI) tanto a quitosana como o amido de milho influenciam no alongamento dos filmes. A quitosana exerce o parâmetro linear e quadrático crescente. Isso ocorre por influência da sua elevada flexibilidade, como citado anteriormente. Alongamento na ruptura dos filmes de quitosana e amido de milho elevou-se de acordo com o aumento da concentração de quitosana, porém diminuiu com a mais alta concentração de quitosana analisada. A taxa de flexibilidade dos filmes é decorrente

da concentração de quitosana e devido à interação das cadeias plastificantes e poliméricas que facilitam o deslizamento da corrente e contribuem assim para aperfeiçoar a flexibilidade geral e a mobilidade da cadeia. Já o com presença do amido se verifica que estas satisfazem o parâmetro quadrático decrescente. Isso se deve, possivelmente, em função da sua hidrofiliicidade que fragiliza a amostra e compromete a plasticidade dos filmes, como visto por Liu et al (2013).

3.2 Valores preditos e valores observados

Inicialmente, é possível observar que os valores de R^2 das propriedades mecânicas dos filmes de amido de milho e quitosana, contidos na Tabela 2, foram elevados resultando em uma baixa diferença entre os valores preditos e observados. Na Figura 2, é possível observar a dispersão dos valores observados em relação aos valores preditos.

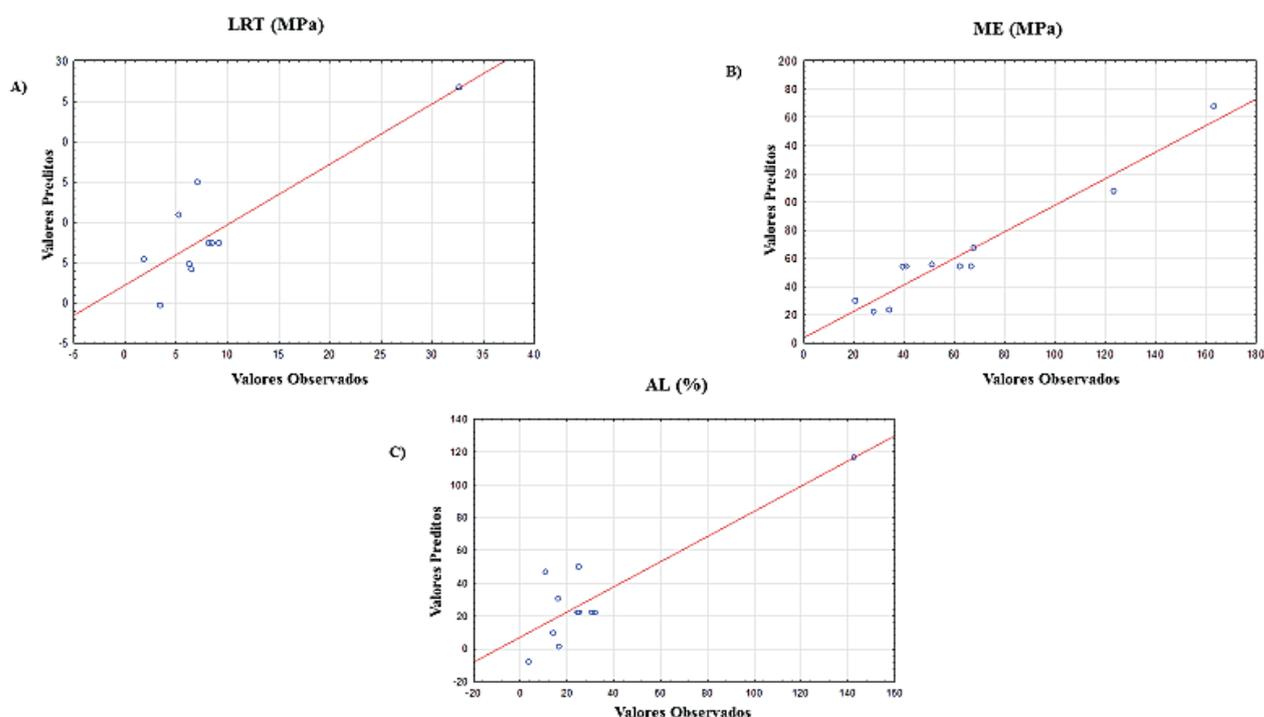


Figura 2 – Gráficos de valores preditos e valores observados para (a) Limite de Resistência à Tração (LRT), (b) Módulo de Elasticidade (ME) e (c) Alongamento na Ruptura (AL) dos filmes como função da concentração do amido de milho e quitosana.

Fonte: Autoria própria, 2019.

A diferença entre os valores preditos e observados evidencia que o modelo quadrático escolhido foi o mais ajustável a essa análise, além de sua capacidade em predição das propriedades mecânicas dos filmes para as composições de amido de milho e quitosana empregadas no estudo realizado. Tanto na Figura 2 a) LRT (MPa) como na Figura 2 c) AL (%) é possível observar uma maior concentração dos valores observados próximos ao início da reta de valores preditos. Isso é caracterizado

devido ao valor do R^2 ser, respectivamente, 0,74794 e 0,76669, sendo dessa forma considerados, os valores observados, como mediais quando comparados aos valores de predição. Já na Figura 2 b) ME (MPa) é possível observar uma maior dispersão dos valores observados ao longo da reta de valores preditos e isso é caracterizado pelo elevado valor de R^2 , 0,93958, corroborando que o modelo obtido é adequado para predição.

4 | CONCLUSÕES

Nesta análise foram avaliados os diferentes parâmetros de concentração de quitosana e amido de milho utilizados para obter os filmes homogêneos e compactos com o teor de glicerol fixado em 20% em relação à massa seca.

Os filmes foram caracterizados mecanicamente a partir do ensaio de tração, o qual se pôde obter valores de Limite de Resistência a Tração (LRT), Módulo de Elasticidade (ME) e Alongamento na Ruptura (AI).

Com a caracterização foi possível observar que o LRT aumenta de acordo com o aumento da concentração de quitosana e que o mesmo ocorre um decréscimo de acordo com o aumento do teor de amido de milho. Já o ME decresce de acordo com a elevação da concentração de quitosana e seu crescimento ocorre e prol do aumento do teor de amido de milho. Por fim, o AI foi influenciado positivamente a partir da elevação teor de quitosana e influenciado negativamente pelo aumento da concentração de amido de milho.

Os modelos utilizados para análise foram significativos e confirmaram que os teores de quitosana e o amido de milho interferem em todas as propriedades mecânicas analisadas como visto nos gráficos de modelos preditos em relação aos observados.

A partir desse estudo é possível observar que os filmes de amido de milho podem melhorar o seu desempenho com a adição de determinadas concentrações de quitosana permitindo o desenvolvimento de filmes para uso como filmes de embalagem de diversas aplicações.

REFERÊNCIAS

AZEREDO, H. M. C.; ROSA, M. F.; MATTOSO, L. H. C. **Nanocellulose in bio-based food packaging applications**. *Industrial Crops and Products*, [s. l.], v. 97, p. 664-671, 2017.

BALAKRISHNAN, P.; SREEKALA, M. S.; KUNAVAR, M.; HUSKIĆ, M.; THOMAS, S. **Morphology, transport characteristics and viscoelastic polymer chain confinement in nanocomposites based on thermoplastic potato starch and cellulose nanofibers from pineapple leaf**. *Carbohydrate Polymers*, [s. l.], v. 169, p. 176–188, 2017.

BALDWIN, E.A.; HAGENMAIER, R; BAI, J (Ed.). **Edible coatings and films to improve food quality**.

2nd Edition. Boca Raton: CRC Press, 415p, 2011.

BOURTOOM, T.; CHINNA, M.S.; **Preparation and properties of rice starch-chitosan blend biodegradable film.** LWT-Food Sci. Technol. 41 (2008) 1633–1641.

DAS, O.; BHATTACHARYYA, D.; SARMAH, A. K. **Sustainable eco-composites obtained from waste derived biochar: a consideration in performance properties, production costs, and environmental impact.** Journal of Cleaner Production, [s. l.], v. 129, p. 159-168, 2016.

DICKER, M. P. M.; DUCKWORTH, P. F.; BAKER, A. B.; FRANCOIS, G.; HAZZARD, M. K.; WEAVER, P. M. **Green composites: A review of material attributes and complementary applications.** Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, [s. l.], v. 56, p. 280–289, 2014.

ELSABEE, M. Z.; ABDU, E. S. **Chitosan based edible films and coatings: A review.** Materials Science and Engineering C, v. 33, n. 4, p. 1819–1841, 2013.

FADEYIBI, A.; OSUNDE, Z. D.; AGIDI, G.; EVANS, E. C. **Flow and strength properties of cassava and yam starch-glycerol composites essential in the design of handling equipment for granular solids.** Journal of Food Engineering, [s. l.], v. 129, p. 38-46, 2014.

FERNANDES, A. P. S.; COSTA, J. B.; SOARES, D. S. B.; MOURA, C. J. DE; SOUZA, A. R. M. DE. **Application of biodegradable films produced from irradiated whey protein concentrate.** Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia-GO, v. 45, n. 2, p. 192-199, 2015.

GANIARI, S.; CHOULITOU, E.; OREOPOULOU, V. **Edible and active films and coatings as carriers of natural antioxidants for lipid food.** Trends in Food Science and Technology, v. 68, p. 70-82, 2017.

GURUNATHAN, T.; MOHANTY, S.; NAYAK, S. K. **A Review of the Recent Developments in Biocomposites Based on Natural Fibres and Their Application Perspectives.** Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, [s. l.], v. 77, p. 1–25, 2015.

KOROL, J.; BURCHART-KOROL, D.; PICHLAK, M. **Expansion of environmental impact assessment for eco-efficiency evaluation of biocomposites for industrial application.** Journal of Cleaner Production, [s. l.], v. 113, p. 144-152, 2016.

LARA, S. C.; SALCEDO, F. **Gelatinization and retrogradation phenomena in starch/montmorillonite nanocomposites plasticized with different glycerol/water ratios.** Carbohydrate Polymers, [s. l.], v. 151, p. 206–212, 2016.

LECETA, I.; PEÑALBA, M.; ARANA, P.; GUERRERO, P.; DE LA CABA, K. **Ageing of chitosan films: Effect of storage time on structure and optical, barrier and mechanical properties.** European Polymer Journal, v. 66, p. 170-179, 2015.

LIANG, J.; LUDESCHER, R. D. **Effects of glycerol on the molecular mobility and hydrogen bond network in starch matrix.** Carbohydrate Polymers, [s. l.], v. 115, p. 401–407, 2015.

LIU, H. H.; ADHIKARI, R.; GOU, Q. P.; ADHIKARI, B. **Preparation and characterization of glycerol plasticized (high-amylose) starch-chitosan films.** J. Food Eng. 116(2013) 588–597.

MUJTABA, M., MORSI, R. E., KERCH, G., ELSABEE, M. Z., KAYA, M., LABIDI, J., & KHAWAR, K. M. **Current advancements in chitosan-based film production for food technology; A review.** International Journal of Biological Macromolecules. V.121, 889-904, 2019.

MUSCAT, D.; TOBIN, M. J.; GUO, Q.; ADHIKARI, B. **Understanding the distribution of natural wax in starch-wax films using synchrotron-based FTIR (S-FTIR).** Carbohydrate Polymers, [s. l.], v. 102, p. 125–135, 2014.

NARKCHAMNAN, S.; SAKDARONNARONG, C. **Thermo-molded biocomposite from cassava starch, natural fibers and lignin associated by laccase-mediator system.** Carbohydrate Polymers, [s. l.], v. 96, p. 109–117, 2013.

PRACHAYAWARAKORN, J.; CHAIWATYOTHIN, S.; MUEANGTA, S.; HANCHANA, A. **Effect of jute and kapok fibers on properties of thermoplastic cassava starch composites.** Materials & Design, [s. l.], v. 47, p. 309-315, 2013.

RAMÍREZ, M. G. L.; KESTUR, S. G.; GONZÁLEZ, R. M.; IWAKIRI, S.; MUNIZ, G. B.; SAHAGUN, T. S. F. **Bio-composites of cassava starch-green coconut fiber: Part II - Structure and properties.** Carbohydrate Polymers, [s. l.], v. 102, p. 576–583, 2014.

REN, L.; YAN, X.; ZHOU, J. **Influence of chitosan concentration on mechanical and barrier properties of corn starch/chitosan.** Journal of Biological Macromolecules. 105 (2017) 1636–1643.

ROBERTSON, G. L. **Food Packaging: Principles and Practice**, Third Edition. Taylor & Francis. CRC Press, 3ª edição, 2012.

SALEH, M. A.; HARON, M. H. A.; SALEH, A. A.; FARAG, M. **Fatigue behavior and life prediction of biodegradable composites of starch reinforced with date palm fibers.** International Journal of Fatigue, [s. l.], v. 103, p. 216–222, 2017.

SPITIA, P. J. P. et al. **Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review.** Food Hydrocolloids, 35(2014): 287-296, 2014.

ZARGAR, V.; ASGHARI, M.; DASHTI, A. **A Review on Chitin and Chitosan Polymers: Structure, Chemistry, Solubility, Derivatives, and Applications.** ChemBioEng Reviews, v. 2, p. 204-226, 2015.

SYNTHESIS AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF SODIUM DODECYL SULFATE (DDS) MODIFIED LAYERED DOUBLE HYDROXIDE (HDL) AS MATRIX FOR DRUG RELEASE

Data de aceite: 27/03/2020

Amanda Damasceno Leão

Universidade Federal de Pernambuco,
Departamento de Farmácia,
Recife-Pernambuco

Mônica Felts de La Rocca

Universidade Federal de Pernambuco,
Departamento de Farmácia,
Recife-Pernambuco

José Lamartine Soares Sobrinho

Universidade Federal de Pernambuco,
Departamento de Farmácia,
Recife-Pernambuco

RESUMO: Hidróxidos duplos lamelares (HDL) são materiais inorgânicos com organização 2D, obtidos por síntese ou encontrados na natureza e que apresentam capacidade de interagir e carrear íons orgânicos. Além disso, proporcionam aumento da solubilidade, estabilidade e alteração na liberação do íon intercalado ou adsorvido. Sua natureza hidrofílica possibilita a interação com moléculas carregadas, no entanto, moléculas com baixa densidade de carga ou não carregadas podem apresentar fracas interações com o HDL impossibilitando o seu transporte entre as lamelas. A modificação na superfície dos HDL pode ser utilizada como

estratégia para possibilitar sua interação com moléculas hidrofóbicas e desta forma ampliar sua aplicação como matriz. Desta forma, o presente trabalho realizou a modificação do HDL Zn_2Al-Cl com dodecil sulfato de sódio (DDS) e sua caracterização objetivando a obtenção de uma matriz para liberação de fármacos que apresentem baixa solubilidade aquosa. Os HDL foram obtidos pelo método de coprecipitação, sob atmosfera de nitrogênio e controle de pH ($7,5 \pm 0,5$). Através dos dados espectroscópicos observou-se a interação entre o DDS e o HDL indicando a modificação do HDL, os dados de difratometria demonstraram a alteração do espaçamento interlamelar do HDL sugerindo a intercalação do DDS, assim como os dados de superfície também corroboraram para a modificação do HDL com DDS através da redução da área superficial.

PALAVRAS-CHAVE: argilominerais, intercalação, dodecil sulfato de sódio, coprecipitação, liberação de fármacos.

ABSTRACT: Layered double hydroxides (HDL) are inorganic materials with 2D organization, obtained by synthesis or found in nature and that have the ability to interact and carry organic ions. In addition, they provide increased solubility, stability and alteration in intercalated

or adsorbed ion release. Its hydrophilic nature makes it possible to interact with charged molecules, however, molecules with low charge density or uncharged may have poor interactions with HDL making it impossible to carry between the coverslips. Surface modification of HDL can be used as a strategy to enable their interaction with hydrophobic molecules and thus expand their application as a matrix. Thus, the present work performed the modification of HDL Zn₂Al-Cl with sodium dodecyl sulfate (DDS) and its characterization aiming to obtain a matrix for the release of drugs with low aqueous solubility. The HDL were obtained by the co-precipitation method under nitrogen atmosphere and pH control (7.5 ± 0.5). Through the spectroscopic data, the interaction between DDS and HDL was observed, indicating the modification of HDL, the diffraction data showed the alteration of the interlamellar spacing of the HDL suggesting the interspersation of the DDS, as well as the surface data also corroborated for the modification. HDL with DDS by reducing the surface area.

KEYWORDS: clay minerals, intercalation, sodium dodecyl sulfate, coprecipitation, drug release

1 | INTRODUÇÃO

Hidróxidos duplos lamelares (HDL) são materiais inorgânicos, também denominados de hidrotalcitas, constituídos por camadas de hidróxido de metal carregadas positivamente e organizadas em estruturas lamelares, as quais são formadas por unidades octaédricas. Na figura 1 encontra-se a representação esquemática de um HDL. (LEÃO et al., 2019a,b)(FRONDEL et al., 1970),(PAIKARAY et al., 2014)

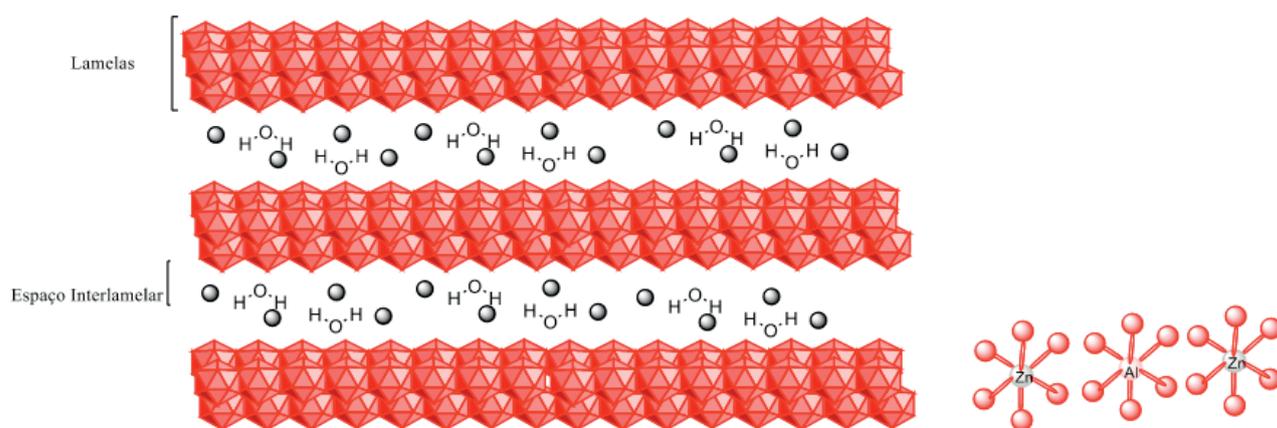


Figura 1: Representação genérica de um HDL.

Fonte: autoria própria baseado em BARAHUIE et al.(2014) utilizando o programa livre ChemBioDraw.

Os HDL apresentam pequeno espaçamento entre suas camadas, pois a alta densidade de carga das lamelas e o alto teor de espécies aniônicas e de água,

no espaço interlamelar, resultam em significativas interações eletrostáticas e propriedades hidrofílicas.(ROJAS et al., 2015) Embora exista a capacidade de ampliação do espaço interlamelar (MEI et al., 2017) estas interações podem funcionar como barreira para a intercalação de moléculas volumosas ou de baixa solubilidade com fármacos. Desta forma, modificações na superfície dos HDL podem ser realizadas para facilitar a interação com estes tipos de moléculas.

As modificações envolvem, frequentemente, a inserção de espécies aniônicas com cauda hidrofóbica na superfície da matriz para promover maior espaçamento entre as lamelas (CURSINO et al., 2013),(WANG et al., 2005),(CURSINO et al., 2015).O aumento do espaço interlamelar facilita a entrada de moléculas volumosas e/ou promove a esfoliação do HDL.(ZHAO et al., 2011)

Surfactantes sulfonados, como dodecilsulfonato e dodecilbenzenosulfonato podem ser utilizados para organofilizar os HDL e promover a solubilização de compostos orgânicos hidrofóbicos. (DÉKÂNY et al., 1997) ,(WANG et al., 2005), (KUTLU et al., 2014)

A modificação dos HDL altera a polaridade da superfície, os HDL deixam de ser hidrofílicos e passam a ser hidrofóbicos. Desta forma, os compostos hidrofóbicos podem interagir com a cauda dos surfactantes melhorando a solubilidade de moléculas pouco solúveis em um fenômeno chamado adsolubilização ou co-adsorção, que é análogo a solubilização micelar em solução aquosa.(FARÍAS et al., 2010) (FARÍAS et al., 2010),(ZHAO et al., 2011),(DÉKÂNY et al., 1997)

Desta forma, o presente trabalho realizou a modificação do HDL Zn_2Al-Cl com dodecil sulfato de sódio (DDS) objetivando obter uma matriz para carregamento de fármacos com baixa solubilidade tendo em vista que um dos maiores desafios da indústria farmacêutica, atualmente, consiste em desenvolver estratégias para melhorar a solubilidade aquosa de fármacos (os fluidos corporais são prioritariamente aquosos). (LAITINEN et al., 2013)

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Reagentes

Os reagentes KOH, $AlCl_3 \cdot 6H_2O$, Zn_2Al-Cl anidro e dodecil sulfato de sódio foram obtidos da Sigma Aldrich®. O solvente metanol foi obtido da empresa Merck®.

2.2 Caracterizações

Os difratogramas foram obtidos no difratômetro rigaku, modelo miniflex, através de raios x gerados por um ânodo de $cu(\alpha)$, operado a 30 kv de tensão, corrente de 15mA e filtro de ni, foi utilizada uma faixa de varredura (2θ) de 1,5 a 70° a um passo

de $0,03^\circ$ por segundo. os espectros FT-IR foram obtidos na faixa de 4000 a 650 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} em equipamento perkin elmer da série spectrum 400.

A área superficial (s_{bet}) e as isotermas dos sistemas foram determinadas a partir dos dados de adsorção-dessorção de n_2 a 77 K e calculadas usando o método bet (brunauer-emmett-teller) na faixa de pressão relativa (p/p_0) 0 - 1. o volume, diâmetro médio dos poros e sua distribuição foram estimados utilizando o método BJH (Barret-Joyner-Halenda), obtidos em analisador de área superficial e tamanho de poros da micrometrics modelo ASAP 2420 (accelerated surface area and porosimetry system) do CETENE (centro de tecnologia do nordeste).

2.3 Síntese dos HDL

A síntese por coprecipitação foi realizada em pH constante (MIYATA; OKADA, 1977) em solução metanólica. O sistema utilizado constituiu-se de um balão de três bocas acoplado a funis de adição e eletrodo. Para obtenção do HDL $\text{Zn}_2\text{Al-Cl}$, em um dos funis foi adicionado KOH ($0,2\text{ mol L}^{-1}$) e ZnCl_2 anidro ($6,036 \times 10^{-3}\text{ mol}$) e $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ($3,018 \times 10^{-3}\text{ mol}$) até ser atingido o pH $7,5 \pm 0,5$. Para a obtenção do HDL modificado $\text{Zn}_2\text{Al-Cl-DDS}$ foram utilizadas as mesmas proporções do HDL não modificado e a proporção de 1:1 (DDS: Al).

O sistema foi mantido sob atmosfera de nitrogênio e agitação magnética. Após a síntese os HDLs permaneceram em maturação durante 24h, em seguida foram centrifugados e lavados com 3x em água e 3x em metanol e secos em estufa a 50°C .

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise dos difratogramas, foi possível observar que $\text{Zn}_2\text{Al-Cl}$ apresenta em 2θ abaixo de 30° os picos característicos de HDL. As distâncias (d_{hkl}) para o plano (003) foram obtidas através da equação de Bragg e apresentaram d_{003} de aproximadamente $7,0\text{ \AA}$ mostrando-se concordantes com o relatado por Miyata (1975) para estes tipos de HDL. Na figura 2 é possível observar os difratogramas.

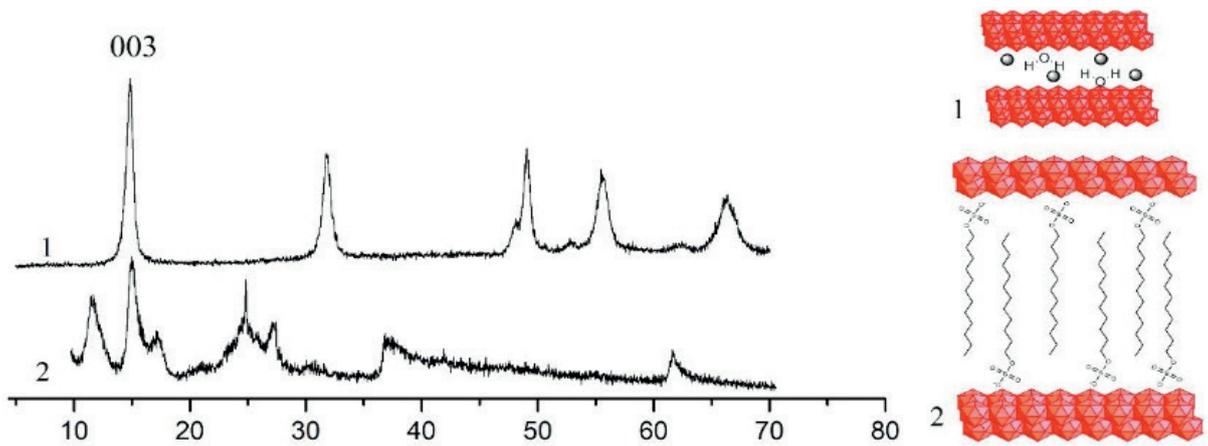


Figura 2: Difractogramas de Zn₂Al-Cl(1), Zn₂Al-Cl-DDS(2) e suas respectivas representações.

Observou-se a alteração do espaçamento interlamelar de Zn₂Al-Cl-DDS 6,95°(12,7Å) em comparação a Zn₂Al-Cl não modificado 12,4° (7,13 Å), sugerindo a intercalação do DDS. A presença de DDS no espaço interlamelar aumenta a distância entre as lamelas e gera um ambiente hidrofóbico facilitando a intercalação de fármacos pouco solúveis por adsolubilização. Os valores das distâncias estão representados na tabela 1 e esquematizados na figura 2.

A caracterização da superfície apresentados na tabela 1 demonstram a redução da área superficial do HDL modificado em comparação a Zn₂Al-Cl, esta redução corrobora com a presença do DDS nas lamelas sugerido pelo DRX.

HKL (003)	2θ	D(Å)	S _{BET} (m ² /g)	VP (cm ³ /g)	TAMANHO DO PORO (Å)
Zn ₂ Al-Cl	12,4 °	7,13	41,34	0,18	149,77
Zn ₂ Al-Cl-DDS	6,95 °	12,7	27,84	0,15	233,83

Tabela 1: Atribuição das distâncias interplanares, valores de área superficial, volume e tamanho de poro pelo método B.J.H para os HDLs.

As isotermas obtidas pelo método B.E.T. (*BRUNAUER*, EMMETT e TELLER) estão representadas na figura 3 e a análise da distribuição da área dos poros é representada na figura 4.

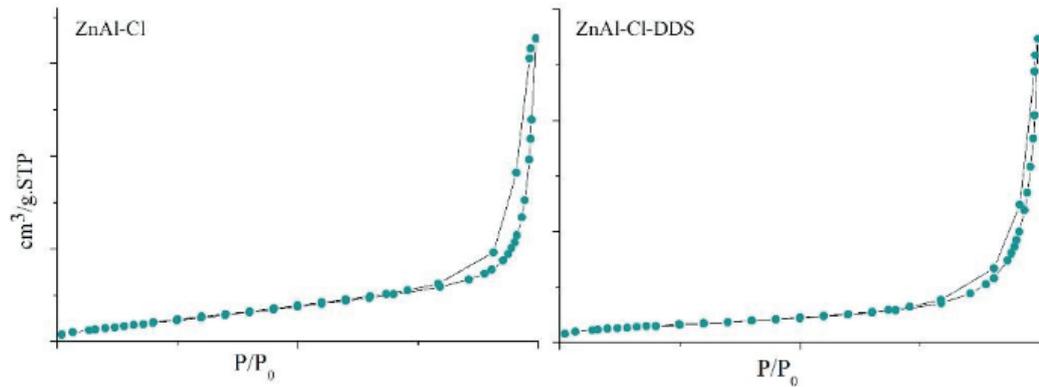


Figura 3: Isotermas de adsorção-dessorção de N_2 para os sistemas com e sem GLIB pelo método B.E.T.

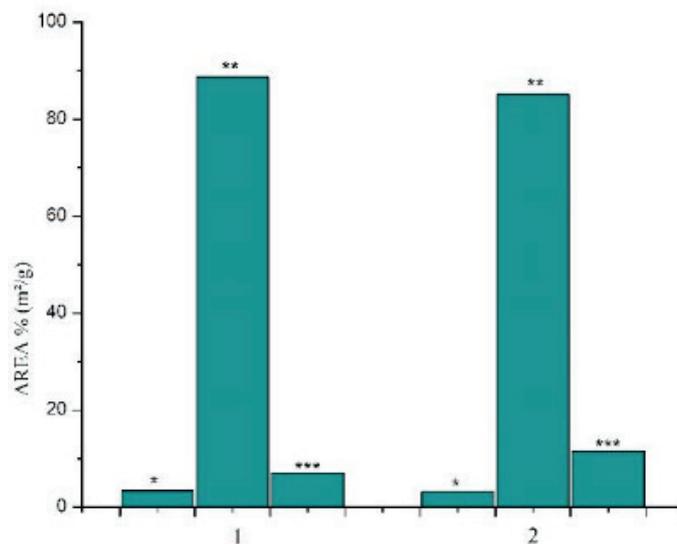


Figura 4: Distribuição do volume e o diâmetro médio dos poros para os sistemas pelo método B.J.H. 1-Zn₂Al-Cl-DDS,2-Zn₂Al-Cl. (*macroporos, **mesoporos,***microporos)

Observam-se isotermas do tipo IV, que de acordo com a classificação da IUPAC são característica para estruturas mesoporosas. A isoterma do tipo IV é obtida quando ocorre condensação capilar, há a formação de monocamada seguida de adsorção de multicamadas. Observa-se também a presença de histerese do tipo H3, que segundo a IUPAC é característica para mesoporos em formato de cunha. A análise da distribuição da área dos poros comprova os resultados obtidos pelas isotermas para materiais mesoporosos.

Os espectros de infravermelho de Zn₂Al-Cl demonstram a presença da banda entre 3000 a 3600cm⁻¹ correspondente a hidroxila das lamelas e da água de hidratação. Em 700-800 cm⁻¹ surgem bandas típicas de HDL-Cl, referentes a ligações com o cloreto, como relatado por Kloprogge (2005). A banda de absorção próxima a região de 1630 cm⁻¹ pode ser atribuída à deformação angular das moléculas de água. Na figura 5 observa-se os espectros de infravermelho para o HDL não modificado, modificado e para o DDS.

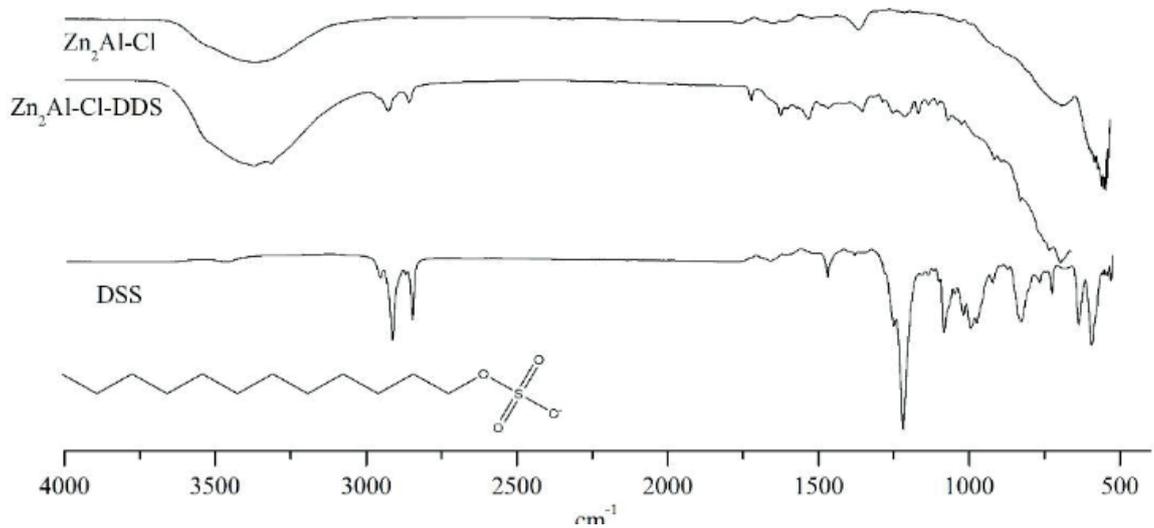


Figura 5: Espectros de Infravermelho de Zn_2Al-Cl , $Zn_2Al-Cl-DDS$ e DDS com sua estrutura química.

Em $Zn_2Al-Cl-DDS$ observa-se o aparecimento de uma banda entre 3000 cm^{-1} e 3600 cm^{-1} correspondente as hidroxilas das lamelas do HDL e da água de hidratação, observa-se notável redução de intensidade dos estiramentos simétricos e antissimétricos de $-CH_2-$ e $-CH_3$.

São observadas bandas que fazem referência ao perfil do ânion DDS no HDL. Em 2924 e 2852 cm^{-1} são observadas os estiramentos antissimétrico e simétrico $-CH_2-$, estiramento antissimétrico de $-CH_3$ em 2955 cm^{-1} e simétrico 2849 cm^{-1} . (SPERLINE; SONG; FREISER, 1997) As bandas em 1218 cm^{-1} e 1243 cm^{-1} são correspondentes ao estiramento antissimétrico de SO_2 . Em 1077 cm^{-1} estiramento simétrico do SO_2 . (VIANA; DA SILVA; PIMENTEL, 2012) Estas bandas relativas ao DDS comprovam que o HDL sintetizado realmente foi modificado.

Trabalhos encontrados na literatura demonstram a capacidade de os HDLs modificados conseguirem carrear moléculas hidrofóbicas, Zang et al.(2017) modificaram o HDL do tipo Mg_2Al com Hexanossulfonato de sódio e dodecanossulfonato de sódio para a recuperação dos corantes industriais e observaram que a presença dos surfactantes foi muito importante para a excelente afinidade entre organo-HDLs e os poluentes orgânicos.

Podem ser citados ainda trabalhos envolvendo a adsorubilização do pesticida clorpirifos em HDL do tipo Mg_2Al modificado com DDS e DBS. (WANG et al., 2005) Além da adsorubilização de tiofeno em HDL Zn_2Al (ZHAO et al., 2011) e nitrofenol por HDL modificado com DDS, podendo estes dois últimos serem aplicados a estações de tratamento de águas residuais para a eliminação de contaminantes orgânicos.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir, através dos resultados obtidos, que o HDL do tipo Zn_2Al -Cl pode ser modificado por DDS através do método de coprecipitação. Foi possível comprovar a intercalação do DDS no HDL gerando aumento do espaço interlamelar criando um ambiente hidrofóbico propício a intercalação de fármacos com baixa solubilidade para o desenvolvimento de sistemas de liberação.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas da Universidade Federal de Pernambuco (PPGCF-UFPE).

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento.

Ao laboratório de Controle de Qualidade de Medicamentos e Correlatos (NCQMC-UFPE).

AUTORIZAÇÕES/RECONHECIMENTO

Ao submeter o trabalho, os autores tornam-se responsáveis por todo o conteúdo da obra.

REFERÊNCIAS

BARAHUIE, F. et al. Development of drug delivery systems based on layered hydroxides for nanomedicine. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 15, n. 5, p. 7750–7786, 2014.

CURSINO, A. C. T. et al. Layered double hydroxides intercalated with anionic surfactants/benzophenone as potential materials for sunscreens. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 397, p. 88–95, 2013.

CURSINO, A. C. T. et al. Layered zinc hydroxide salts intercalated with anionic surfactants and adsolubilized with UV absorbing organic molecules. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 26, n. 9, p. 1769–1780, 2015.

DÉKÂNY, I. et al. Hydrophobic layered double hydroxides (LDHs): Selective adsorbents for liquid mixtures. **Colloid and Polymer Science**, v. 275, n. 7, p. 681–688, 1997.

FARÍAS, T. et al. Adsolubilization of drugs onto natural clinoptilolite modified by adsorption of cationic surfactants. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 76, n. 2, p. 421–426, 2010.

FRONDEL, C. et al. 4) K. Tanabe, “Solid Acids and Bases”, Kodansha, Tokyo and Academic Press, New York, London(1970) Chap. 4 and 5. v. 295, n. 1941, 1970.

KUTLU, B. et al. Effects of LDH synthesis and modification on the exfoliation and introduction of a robust anion-exchange procedure. **Chemical Engineering Journal**, v. 243, p. 394–404, 2014.

LAITINEN, R. et al. Emerging trends in the stabilization of amorphous drugs. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 453, n. 1, p. 65–79, 2013.

Leão, A.D., de França, L.M., Cunha, C.N.L.C., Marinho F.A., Soares M.F.L., Soares-Sobrinho J.L. **In-line monitoring of layered double hydroxide synthesis and insights on formation mechanism and kinetics**. *Applied Clay Science*, 179, 105130, 2019a. DOI: 10.1016/j.clay.2019.105130

Leão, A. D., Oliveira, V.V., Marinho, F. A., Wanderley, A. L., Aguiar, J. S., Gonçalves, T. T., Soares, M. F. L. R., Soares-Sobrinho, J. L. **Hybrid systems of glibenclamide and layered double hydroxides for solubility enhancement for the treatment of diabetes mellitus II**. *Appl. clay science*, 105218, 2019b. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105218>

MEI, X. et al. Layered double hydroxide monolayers for controlled loading and targeted delivery of anticancer drugs. 2017.

MIYATA, S.; OKADA, A. SYNTHESIS OF HYDROTALCITE-LIKE COMPOUNDS AND THEIR PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES-- THE SYSTEMS $Mg^{2+}-Al^{3+}-SO_2$ AND $Mg^{2+}-Al^{3+}-CrO_2$. v. 25, p. 14–18, 1977.

PAIKARAY, S. et al. Formation mechanism of layered double hydroxides in Mg^{2+} , Al^{3+} , and Fe^{3+} -rich aqueous media: Implications for neutralization in acid leach ore milling. **Applied Clay Science**, v. 101, p. 579–590, 2014.

ROJAS, R. et al. Structural and physicochemical aspects of drug release from layered double hydroxides and layered hydroxide salts. **Applied Clay Science**, v. 109–110, p. 119–126, 2015.

SPERLINE, R. P.; SONG, Y.; FREISER, H. Temperature Dependent Structure of Adsorbed Sodium Dodecyl Sulfate at the Al_2O_3 /Water Interface. **Langmuir**, v. 13, n. 14, p. 3727–3732, 1997.

VIANA, R. B.; DA SILVA, A. B. F.; PIMENTEL, A. S. Infrared spectroscopy of anionic, cationic, and zwitterionic surfactants. **Advances in Physical Chemistry**, v. 2012, 2012.

WANG, B. et al. Surface modification of layered double hydroxides and incorporation of hydrophobic organic compounds. v. 92, p. 190–196, 2005.

ZHAO, Q. et al. Adsorption behavior of thiophene from aqueous solution on carbonate- and dodecylsulfate-intercalated ZnAl layered double hydroxides. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 50, n. 17, p. 10253–10258, 2011.

THIN PLATE SPLINE INTERPOLATION METHOD APPLICATION TO PREDICT THE SUNFLOWER OIL INCORPORATION IN POLY (ACRYLIC ACID)-STARCH FILMS

Data de aceite: 27/03/2020

Talita Goulart da Silva

Departamento de Engenharia Química/Instituto de Tecnologia - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Brazil
tgoulart11@gmail.com

Débora Baptista Pereira

Departamento de Engenharia Química/Instituto de Tecnologia - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Brazil

Vinícius Guedes Gobbi

Departamento de Engenharia Química/Instituto de Tecnologia - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Brazil

Layla Ferraz Aquino

Departamento de Engenharia Química/Instituto de Tecnologia - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Brazil

Thassio Brandão Cubiça

Departamento de Engenharia Química/Instituto de Tecnologia - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Brazil

Matheus Santos Cunha

Departamento de Engenharia Química/Instituto de Tecnologia - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Brazil

Tiago dos Santos Mendonça

Departamento de Física Teórica/Instituto de Física A. D. Tavares - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brazil

Sandra Cristina Dantas

Departamento de Engenharia Química/Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas - Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, Brazil

Roberta Helena Mendonça

Departamento de Engenharia Química/Instituto de Tecnologia - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Brazil

ABSTRACT: Studies concerning the development of biomaterials have been performed in the last years. However, it is necessary to attempt to the transport phenomena, specifically absorption of fluids with healing properties, such as sunflower oil (SO), in the production of polymeric films applied to tissue regeneration. In this work, poly (acrylic acid)-starch films (PAA-S) were produced in different compositions (weight percent of starch ranging from 0 to 100 % wt) and characterized by scanning electron microscopy (SEM), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and atomic force microscopy (AFM). The PAA-S films were loaded with SO and the effect of the films composition on the SO absorption was evaluated. Thin plate spline interpolation method (TPSIM) was used to create a predictive data set, which were fitted by a polynomial to correlate swelling degree (S_w),

sample composition and time. The sine function was used to fit the mass variation data as a function of time, for the experimental and predicted compositions. PAA-S composition affects the morphology, as observed in the SEM and AFM analyses, and the SO absorption behavior. Oscillations in the S_w values were observed, probably, due to the heterogeneity of the films. The TPSIM was able to predict the films absorption capability and the sine function fitted properly the mass variation data ($R^2 > 0.99$).

KEYWORDS: modeling, transport phenomena, tissue engineering, biocompatible polymers, polymeric films.

INTRODUCTION

Wound healing is an important and complex process that involves a series of events, consisting of continuous and overlapping phases, such as hemostasis/inflammation phase, proliferation phase and remodeling phase for tissue reconstitution [1, 2]. In the tissue engineering interdisciplinary field, some technologies have been developed for deep wound healing and reconstruction of injured tissues, in which the use of biomaterials has been considered [3–5].

Poly (acrylic acid) (PAA), obtained from acrylic acid, is a synthetic and hydrophilic polymer [6]. In the medical field, it has been used as a gelling agent in medicines and in the synthesis of hydrogels for the development of drug delivery systems [7, 8]. Moreover, PAA based polymers are mostly used as controlled release tablets, oral suspensions and bioadhesives for oral and mucosal contact applications [8]. According to their biocompatibilities and functionalities, bioadhesives can be further divided into two categories, namely external bioadhesives and internal bioadhesives [9].

Starch is a natural polymer composed of anhydroglucose units, capable of forming two homopolymers, namely amylose and amylopectin. This material occurs in granule form in stems, tubers and seeds of different plants, such as rice, corn, potato and others [8, 10]. It has numerous applications, such as its use in the production of bags, mulch films, wrapping films, paper laminations, nets, cutlery, flower pots and boxes. This polymer also has potential for biomedical applications, including substrates for cell seeding, scaffolds for tissue engineering, bone replacement implants and drug delivery systems [10–15].

The bioadhesive polymeric films may be used as topical drug delivery systems, being capable of improving the pharmacotherapy and patient compliances [16]. The use of plant-derived products has increased over the years, especially for the treatment of wounds [17, 18]. The Dersani® oil, derived from the sunflower seeds, is composed of triglycerides of capric and caprylic acids, clarified sunflower oil (SO), lecithin, retinol palmitate, tocopherol acetate and alpha-tocopherol. The linoleic acid,

a fatty acid, present in the composition of SO, may alter the inflammatory response and improve the process of tissue restoration, and, due to this fact, it has been used in the treatment of wounds [19].

Attention has been done to the mathematical modeling of polymer behavior as, for example, polymer swelling, since this property is very important in drug delivery systems and in the incorporation of fluids into polymeric matrices. According to literature, sorption processes for polymer-solvent systems frequently do not conform to the behavior expected from the classical theory of diffusion [20].

Thin plate interpolation method (TPSIM) provides interpolated values of a real function and it is highly useful in many applications, such as thermal studies, medical researches, polymer characterizations and others [21–25]. This method, as a Generalized Additive Model (GAM), has some advantages, for example, there is no need of previous knowledge of the functional form of the data [24].

Interpolation may be used for making prediction [26] and may be a good alternative to predict the effect of materials composition and time in the fluid incorporation studies and the use of TPSIM in polymer swelling behavior has been studied by our research group [27] for polymeric systems as, for example, matrices of polyhydroxybutyrate and chitosan. In this work, it was produced poly (acrylic acid)-starch (PAA-S) films which were loaded with SO. In this context, swelling is an alternative for incorporating drugs into the biomaterials and, thus, the specific aims of this work were:

- I. To evaluate the absorption of SO by PAA-S films (by the study of mass variation as a function of time – experimental data);
- II. To apply TPSIM to predict the absorption data increasing the data set (by the generation of interpolated data based on the experimental values);
- III. To apply a local model in the obtained data (experimental and interpolated data), in this work, it was opted for the selection of an equation that allows periodicity, thus, the sine function was adopted;
- IV. To apply a polynomial fit (p55) to the interpolated data set, to create a surface that correlates SO absorption, time and composition.

EXPERIMENTAL

Materials

Corn starch (Unilever, Brazil) and PAA (Sigma-Aldrich) ($M_v \sim 4,000,000$) were used as raw materials in the production of films.

Methodology

To prepare the PAA-S films, corn starch and PAA powders were added to water and heated at 70 °C for 15 min. The resulting mixtures were placed into silicon molds and were taken to a microwave (Electrolux, Power 1620 W) for 7 minutes. The films were named according to the compositions: PAA (100 wt % PAA); PAA-S10 (90 wt % and 10 wt % starch); PAA-S20 (80 wt % and 20 wt % starch); PAA-S40 (60 wt % and 40 wt % starch); PAA-S70 (30 wt % and 70 wt % starch); PAA-S90 (10 wt % and 90 wt % starch); starch (100 wt % starch).

Scanning Electron Microscopy (SEM)

To analyze the effect of composition in the PAA-S films morphology, the films (PAA, PAA-S10, PAA-S20, PAA-S40, PAA-S70, PAA-S90 and Starch) were evaluated using a scanning electron microscope HITACHI, model TM3000 (Japan) at an acceleration voltage of 15 kV.

Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR)

A chemical analysis of the produced films was carried out using an Infrared Spectrometer Bruker, model Vertex 7 (EUA) under attenuated total reflectance (ATR) by recording measurements from 4500 to 500 cm⁻¹.

Swelling Degree Analysis

To determine the PAA-S films swelling degree (SW), the samples were immersed in SO for 1 hour. The films mass variations were verified at intervals of five minutes. The swelling degree was calculated using Equation (1).

$$S_w = \left(\frac{W_t - W_0}{W_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

Where W_t is the weight of the films at time t and W_0 is the initial weight.

Atomic force microscopy

AFM analysis was conducted on the atomic force microscope JPK Instruments, model Nanowizard (EUA). The films topography was analyzed in intermittent contact mode using silicon nitride needles (MikroMasch™ NSC16) mounted on a rod with a spring constant of 40 N/m and a resonance frequency of 170 kHz. The films were fixed on double-sided tape and the AFM images were obtained in the air.

Thin plate spline interpolation method (TPSIM) and polynomial fitting

Thin plate spline interpolation method was used to predict the S_w behavior of PAA-S films and the relation M_i/M_∞ (Equation (2)).

$$\frac{M_i}{M_\infty} = \frac{\text{weight at } t = i}{\text{weight at } t = \infty} \quad (2)$$

Where i ranges from 0 to ∞ , with ∞ equal to 60 min.

That is, to estimate/predict values of oil incorporation that lies between known data points. The 3D data used were: S_w (obtained by Equation (1)), sample composition and time to predict the S_w values and, to predict the M_i/M_∞ , the data used were: M_i/M_∞ (obtained by Equation 2), sample composition and time. TPSIM was applied: (i) using real mass variation data (obtained experimentally) and (ii) using predicted data while omitting the real mass variation data. The data obtained in (i) were compared with the data obtained in (ii). For this purpose, data from the samples PAA-S10, PAA-S20, PAA-S40, PAA-S70, and PAA-S90 were selected. The experimental values obtained for the 100% starch and 100% PAA films were maintained as boundary conditions, being part of the data set used in both (i) and (ii). The data generated in (i) and (ii) were compared and ANOVA was used to evaluate if there was a significant difference ($p < 0.05$). Although TPSIM provides 3D data, it was decided to plot the relation M_i/M_∞ versus time for several concentrations (ranging from 1 to 100%, with intervals of approximately 2%), to compare the experimental data and the predicted data obtained by TPSIM. TPSIM was applied using the function thin plate spline on computational software Octave.

Polynomial fit p55 applied to the swelling degree data obtained by TPSIM

A polynomial fit p55, showed in Equation (3), was applied, simultaneously, to the experimental and the interpolated data, to obtain a 3D surface that correlates S_w , composition and time [27].

$$f(x, y) = \sum_{m=0}^5 \sum_{n=0}^5 p_{mn} x^m y^n \quad (3)$$

In this work, $f(x, y)$ is the S_w , x is the matrices composition (represented by the starch amount in the sample) and y is the time. According to Equation (3) it is important to observe the following statements:

1. If $n = 0$ zero and $m > 0$, the term of the polynomial (p_{mn}) only depends on the variable x (composition);
2. If $m = 0$ zero and $n > 0$, the term of the polynomial (p_{mn}) only depends on the variable y (time);
3. If $n > 0$ and $m > 0$, the term of the polynomial (p_{mn}) shows the interaction between the variables x and y .

Modeling based on the M_i/M^∞ relation

There are number of kinetic models, which describe the overall mechanism of diffusion in polymeric matrices. Some empirical models may satisfactorily describe the experimental data based on theoretical considerations, such as the Power Law model [20]. In this work, due to the characteristics of the samples and to the curve behavior of M_i/M^∞ versus time, it was opted for the selection of an equation that admits periodicity to fit the data. In this case, the sine function was applied (Equation (4)). It is worth mentioning that the interval, that includes the values of M_i/M^∞ , varies from 0 to 1, which facilitates the application of this function. Although TPSIM provides 3D data (M_i/M^∞ relation, composition and time), it was decided to utilize a 2D fit for several concentrations (ranging from 1 to 100%, with intervals of approximately 2%), to establish a function capable of looking at all the selected curves, that is, the mass variation as a function of time. This 2D fit correlates for each composition, M_i/M^∞ relation versus time. The Power law model was also applied; however, the function did not adjust properly to all curves (interpolated and experimental data), thus, the data obtained will not be presented in this paper.

$$y = \sum_{i=1}^n a_i \sin(b_i x + c_i) \quad (4)$$

Where a_i is the amplitude, b_i is the frequency, c_i is the phase constant for each sine wave term and n is the number of terms in the series, generally with $1 \leq n \leq 8$ and, in this work, it was used $n = 4$, because the obtained coefficients for $n > 4$ were not significative. This equation is closely related to the Fourier series. The main difference is that the sum of sines equation includes the phase constant, and does not include a constant (intercept) term.

RESULTS AND DISCUSSION

PAA-Starch (PAA-S) films were produced in different compositions utilizing a microwave. The resulting films were characterized chemically and morphologically.

To evaluate possible chemical interactions between PAA and starch, the starting materials and the films were analyzed by FTIR (Fig. 1 and Fig. 2) and the respective bands and assignments may be observed in Table 1.

The large band (Fig. 1) observed between 3000 and 3628 cm^{-1} is linked to the O-H stretching of the glycosidic group present in the molecules of starch. These characteristics peaks are in accordance with literature [28, 29]. The spectrum of pure PAA (Fig. 1) presented a wide band between 2900 and 3600 cm^{-1} and a band between 3100 and 2800 cm^{-1} . These bands are related, respectively, to O-H stretching vibration of carbonyl groups and to CH₂ and CH stretching vibration. The presence of remained water from the films production process, in the PAA films, may have affected the bands shape on the wavenumber ranging from 3500 to 2800 cm^{-1} [29]. The FTIR spectrum of PAA is also in accordance with literature [28–30].

Fig. 2 shows FTIR spectra of PAA-S films. The spectra show characteristics of both polymers, PAA and starch. However, it is important to note that in the spectra where the PAA concentration was higher (PAA-S10, PAA-S20, PAA-S40), PAA characteristic bands probably overlapped those attributed to starch. Similarly, it was observed, for PAA-S60, PAA-S70 and PAA-S90 samples, which contain more starch than PAA, that starch bands overlapped PAA bands.

The band at 2925 cm^{-1} , characteristic of starch CH groups is present in the blends where the starch concentration is higher. In the case of the samples with higher PAA concentration, this band was overlapped. There was an increase in the characteristic peak of C = O bonds in the samples with the highest concentration of PAA. In the sample containing the highest starch concentration, it was possible to identify the profiles corresponding to C = O (1690 cm^{-1}) interaction of PAA and OH (1640 cm^{-1}) of starch, which was not possible in the other concentrations (PAA-S90, PAA-S70, PAA-S60), since these bands merged. Similar behavior was observed by Bin-Dahman et al. [29], that prepared PAA and corn starch blends by using solution mixing and casting method. They attributed this to the nature of interaction between PAA and starch via hydrogen bonding.

Fig. 3 shows SEM images of the following films: 100% PAA, PAA-S10, PAA-S20, PAA-S40, PAA-S70, PAA-S90 and 100% starch. It is possible to see that the films morphology was affected by composition (see the arrows in Fig. 3) and a heterogeneous surface was formed for the PAA-S10, PAA-S20, PAA-S40, PAA-S60, PAA-S70 and PAA-S90 samples, due, probably, to the partial miscibility of PAA and starch, as also observed by Bin-dahman et al. [29]. Similar result was observed by Bardajee et al. [28], where the morphology and composition of the optimized hydrogel were altered according to the different amounts of PAA and starch. This behavior was also observed in the synthesis of thin films of PAA hybrid nanocomposites with starch nanocomposites as packaging materials reported by Sethy et al. [31], where

starch flaxes were accommodated in the PAA network and micropores were noticed on the surface of the copolymer matrix.

The SEM images (Fig. 3) suggest that a heterogeneous surface was formed. This result is more clearly observed for the PAA-S20 and PAA-S60 samples. Therefore, AFM analysis of PAA-S20 was performed and the result is shown in Fig. 4. The AFM images corroborate the SEM results, since it is possible to see in the same sample (PAA-S20) regions with different morphologies. Rounded and elongated structures inserted in a smoothed surface can be observed, probably due to the interactions between PAA and starch.

Literature fails to provide papers where AFM analysis is used to evaluate films made of PAA and starch. However, it was found papers that used AFM to analyze starch-based films and PAA-based films separately, as in the work of Fazeli et al. [32], which starch-based composite films reinforced by cellulose nanofibers were prepared and characterized. It was observed that the surface roughness of the reinforced film was lower when compared to the pure film, showing that the addition of the cellulose nanofibers altered the morphology of the starch-based film. A similar result was observed by Vebber et al. [33] in the production of PAA, poly (allylamine hydrochloride) and titanium dioxide self-thinning films for the photo oxidation of ibuprofen, where changes in morphology were observed in the topography obtained by AFM.

The 100% PAA, PAA-S10, PAA-S20, PAA-S40, PAA-S60, PAA-S70, PAA-S90 and 100% starch samples were immersed in SO and the S_w values were obtained by Equation (1). Thus, in order to increase the data set, TPSIM was applied. Fig. 5 shows a data set composed of S_w values (obtained experimentally) and predicted S_w values (obtained by interpolation). It was observed that the S_w values (Fig. 5) fluctuate according to the composition of the films. In addition, it was also observed, for all studied compositions, that S_w oscillations occurred as a function of time.

The morphology analysis of PAA-S films as well as the FTIR study showed that the films present characteristics of pure materials and these are strongly influenced by the concentration. According to the FTIR analyses, there is remained water in the films with greater amount of PAA. Nevertheless, PAA is more polar than starch, which may explain the fact that samples containing more starch absorbed more oil. In Fig. 5, it is possible to understand that there is a more pronounced inflection in the central region of the image (the absorption tends to be at a minimum) and this region is further from the borders, which correspond to the pure materials. This inflection may be correlated to the fact that PAA and starch swelling differ from each other, which may promote the compression of the starch phase and the PAA-S phase, characterized by the negative mass variation, in comparison with the studied interval, although swelling occurs at time zero. The highest absorption

results for SO were obtained by the samples with the highest amount of starch in its composition, however, the data obtained also show that there was an oscillation in the S_w values when comparing samples with different compositions, probably due to the heterogeneities present in the samples, as observed in the SEM and AFM analyses (Fig. 3 and Fig. 4).

The polynomial fit (p55) (Equation (3)) was used to investigate the contribution of time (y) and composition (referred as the mass percentage of starch in the sample, x) in S_w values. In this polynomial, there is the contribution of concentration, time and also the interaction between these two variables. The coefficients obtained for this polynomial may be observed in Table 2 and they represent the fitted surface obtained for the swelling in SO (Fig. 6). It is possible to note in Fig. 6 and in Table 2 (based on the polynomial coefficients) that S_w is strongly related to composition and to the exposure time of samples to SO. It is important to clarify that not all of the polynomial terms were presented in Table 2, due to the fact that the omitted terms are practically null and do not significantly contribute to the final y value.

Bin-Dahman et al. [29] evaluated the S_w of PAA-S blends in water and found out that the higher the amount of PAA in the sample, the greater the S_w . A similar result was observed by Badajee et al. [28], since the S_w of PAA-S based films, developed in their work, increased with the increasing amount of acrylic acid present in the film. If the swelling in water is favored by increasing the proportion of PAA it is common to expect a different behavior in oil, as observed in the present work. This result is due to the polarity difference between the two fluids (oil and water) and the high hydrophilicity of PAA, suggesting that starch probably has greater affinity for the SO when compared to PAA.

TPSIM was also applied to evaluate the variation of M_i/M^∞ and the result is presented in Fig. 7. It was possible to observe that M_i/M^∞ was also affected by samples composition. In order to reinforce the applicability of TPSIM to predict the behavior of PAA-S films, in the present work, this method was applied to different data sets. That is, the data set provided by the interpolation was reduced and the comparison between the predicted and experimental points may be observed in Fig. 8. Even with the reduction of the experimental data set, the surfaces generated by TPSIM presented similar behaviors, which corroborates the application of this method for data prediction.

The statistical analysis, ANOVA, was performed to evaluate the data presented in Fig. 8. Thus, the obtained values for the following samples were compared: PAA-S90, PAA-S70, PAA-S60, PAA-S40, PAA-S20 and PAA-S10. Statistical analysis showed that for these samples there was not a significant difference when comparing real and predicted data, which reinforce the TPSIM application in the analysis of PAA and starch films behavior ($p < 0.05$).

The analysis of the curves obtained by TPSIM shows that S_w (Fig. 5) and the M_i/M^∞ relation (Fig. 7) vary with time. Also, evaluating the effect of time it is possible to observe an oscillation when t tends to 55. This result was already expected when considering the characteristics of the samples, such as anisotropy, morphological differences and inter and intramolecular interactions. All these characteristics are heavily influenced by composition. In fact, the observed oscillations in the behavior of the curves reflect the effect of the variable time in the fluid absorption by the sample, as observed in the TPSIM.

The sine function was applied to fit the M_i/M^∞ curves. This function was able to fit the experimental and predicted data, with $R^2 > 0.99$. The obtained coefficients (a_i , b_i and c_i) for some compositions of the films are shown in Fig. 9, Fig. 10 and Fig. 11, respectively. Regarding the terms of the sine series: a_i is related to composition and it is associated with the swelling capability of the samples (Fig. 9). The b_i coefficient is a direct multiplier of composition and its values varied from 0 to 0.45, increasing proportionally to the increase of i , while the terms in the series tend to decrease.

The c_i terms, which also contribute to the sum, were negative for some compositions and positive for others, contributing to the oscillatory behavior of the fluid incorporation. The function behavior, as well as the experimental and predicted data, showed the absorption capacity and suggested that fluid loss occurred due to compression of the chains. Thus, this function may be applied as a local model to describe the behavior of SO absorption by PAA-S films. In this context, anisotropic media have different diffusion properties in different directions, as in the case of polymer films. As observed in the morphological analysis presented in this work, the morphology of the samples is strongly affected by composition. This behavior is reflected in the coefficient values of the sine function, which confirms the non-linear behavior of the SO absorption by PAA-S films.

CONCLUSION

PAA-S films were successfully obtained by a microwave. FTIR analyses showed that the functional groups of the polymers were preserved. The morphology of the films was affected by the films composition as evidenced by SEM and AFM analyses. The TPSIM was able to predict the swelling behavior of the films and it was possible to see that the oil absorption capacity of the films was also affected by composition, since the greater swelling degree values were obtained for the films with the highest amounts of starch. This fact suggests that starch has better affinity with SO when compared to PAA, although there was a variation in the data, as seen in the fitted surface, probably, due to the heterogeneities present in the samples.

The sine function was able to fit the data for all compositions ($R^2 > 0,99$), because it was able to fit the oscillations that occurred as a function of time.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brazil (CAPES) – Finance Code 001. The authors would also like to acknowledge CNPQ for their financial support as well as the Program PICV and PROIC of UFRRJ and UFRRJ/IF for the development of the present work.

REFERENCES

1. Wang P-H, Huang B-S, Horng H-C, Yeh C-C, Chen Y-J (2018) Wound healing. *J Chinese Med Assoc* 81:94–101.
2. Guo S, DiPietro LA (2010) Factors Affecting Wound Healing. *J Dent Res* 89:219–229.
3. Lee EJ, Kasper FK, Mikos AG (2013) Biomaterials for tissue engineering. *Ann Biomed Eng* 42:323–337.
4. Sammartino G, Ehrenfest DMD, Shibli JA, Galindo-Moreno P (2016) Tissue Engineering and Dental Implantology: Biomaterials, New Technologies, and Stem Cells. *Biomed Res Int* 2016.
5. Henkel J, Woodruff MA, Epari DR, Steck R, Glatt V, Dickinson IC, Choong PFM, Schuetz MA, Hutmacher DW (2013) Bone Regeneration Based on Tissue Engineering Conceptions-A 21st Century Perspective. *Bone Res* 1:216–248.
6. Y. Abdelaal M, S.I. Makki M, R.A. Sobahi T (2012) Modification and Characterization of Polyacrylic Acid for Metal Ion Recovery. *Am J Polym Sci* 2:73–78.
7. Villanova JCO, Oréface RL, Cunha AS (2010) Aplicações farmacêuticas de polímeros. *Polimeros* 20:51–64.
8. Kadajji VG, Betageri G V. (2011) Water soluble polymers for pharmaceutical applications. *Polymers (Basel)* 3:1972–2009.
9. Zhu W, Chuah YJ, Wang DA (2018) Bioadhesives for internal medical applications: A review. *Acta Biomater* 74:1–16.
10. Torres FG, Commeaux S, Troncoso OP (2013) Starch-based biomaterials for wound-dressing applications. *Starch/Staerke* 65:543–551.
11. Ali Akbari Ghavimi S, Ebrahimzadeh MH, Solati-Hashjin M, Abu Osman NA (2014) Polycaprolactone/starch composite: Fabrication, structure, properties, and applications. *J Biomed Mater Res - Part A* 103:2482–2498.
12. Xu J, Tan X, Chen L, Li X, Xie F (2019) Starch/microcrystalline cellulose hybrid gels as gastric-floating drug delivery systems. *Carbohydr Polym* 215:151–159.
13. Qi X, Tester RF (2019) Starch granules as active guest molecules or microorganism delivery

systems. *Food Chem* 271:182–186.

14. Ghavimi SAA, Ebrahimzadeh MH, Shokrgozar MA, Solati-Hashin M, Osman NAA (2015) Effect of starch content on the biodegradation of polycaprolactone/starch composite for fabricating in situ pore-forming scaffolds. *Polym Test* 43:94–102.
15. Waghmare VS, Wadke PR, Dyawanapelly S, Deshpande A, Jain R, Dandekar P (2018) Starch based nanofibrous scaffolds for wound healing applications. *Bioact Mater* 3:255–266.
16. García MC, Aldana AA, Tártara LI, Alovero F, Strumia MC, Manzoa RH, Martinelli M, Jimenez-Kairuz AF (2017) Bioadhesive and biocompatible films as wound dressing materials based on a novel dendronized chitosan loaded with ciprofloxacin. *Carbohydr Polym* 175:75–86.
17. Majewska I, Gendaszewska-Darmach E (2011) Proangiogenic activity of plant extracts in accelerating wound healing - A new face of old phytomedicines.
18. Venugopal JR, Sridhar S, Ramakrishna S (2014) Electrospun plant-derived natural biomaterials for Tissue engineering. *Plant Sci Today* 1:151–154.
19. Cardoso CRB, Souza MA, Ferro EAV, Favoreto Jr S, Pena JD (2004) Influence of topical administration of n-3 and n-6 essential and n-9 nonessential fatty acids on the healing of cutaneous wounds. *Wound Repair Regen* 12:235–243.
20. Ganji F, Vasheghani-Farahani S, Vasheghani-Farahani E (2010) Theoretical description of hydrogel swelling: A review. *Iran Polym J* 19:375–398.
21. Faul A, Powell MJD (1999) Krylov subspace methods for radial basis function interpolation.
22. Chen X, Li W, Chen J, Rao Y, Yamaguchi Y (2014) A combination of TsHARP and thin plate spline interpolation for spatial sharpening of thermal imagery. *Remote Sens* 6:2845–2863.
23. Löhndorf M, Melenk JM (2017) On Thin Plate Spline Interpolation. In: International conference on spectral and high order methods ICOSAHOM 2016. Rio de Janeiro, pp 451–466.
24. Marra G, Radice R (2010) Penalised regression splines: Theory and application to medical research. *Stat Methods Med Res* 19:107–125.
25. Khayyam H, Fakhrhoseini SM, Church JS, Milaini AS, Bab-Hadjashar A, Jazar RN, Naebe M (2017) Predictive modelling and optimization of carbon fiber mechanical properties through high temperature furnace. *Appl Therm Eng* 125:1539–1554.
26. Guo SN, Yang X, Sun HY (2008) Optimal regularization parameter in approximate TPS interpolation. *Proc 7th Int Conf Mach Learn Cybern ICMLC* 3:1347–1352.
27. Silva GF, da Silva TG, Gobbi VG, Portela TL, Teixeira BN, Mendonça TS, Thiré RMSM, Oliveira RN, Yaunner RS, Rodrigues Jr JA, Mendonça RH (2019) Swelling degree prediction of polyhydroxybutyrate/chitosan matrices loaded with “Arnica-do-Brasil.” *J Appl Polym Sci* 136:1–10.
28. Bardajee GR, Hooshyar Z (2013) A novel biocompatible magnetic iron oxide nanoparticles/hydrogel based on poly (acrylic acid) grafted onto starch for controlled drug release. *J Polym Res* 20.
29. Bin-Dahman OA, Jose J, Al-Harathi MA (2015) Compatibility of poly(acrylic acid)/starch blends. *Starch/Staerke* 67:1061–1069.
30. Zhang M, Cheng Z, Zhao T, Liu M, Hu M, Li J (2014) Synthesis, characterization, and swelling behaviors of salt-sensitive maize bran-poly(acrylic acid) superabsorbent hydrogel. *J Agric Food Chem*

31. Sethy PK, Prusty K, Mohapatra P, Swain SK (2019) Nanoclay decorated polyacrylic acid/starch hybrid nanocomposite thin films as packaging materials. *Polym Compos* 40:229–239.
32. Fazeli M, Keley M, Biazar E (2018) Preparation and characterization of starch-based composite films reinforced by cellulose nanofibers. *Int J Biol Macromol* 116:272–280.
33. Vebber MC, Aguzzoli C, Beltrami LVR, Fetter G, Crespo JS, Giovanela M (2019) Self-assembled thin films of PAA/PAH/TiO₂ for the photooxidation of ibuprofen. Part II: Characterization, sensitization, kinetics and reutilization. *Chem Eng J* 361:1487–1496.

FIGURES AND TABLES

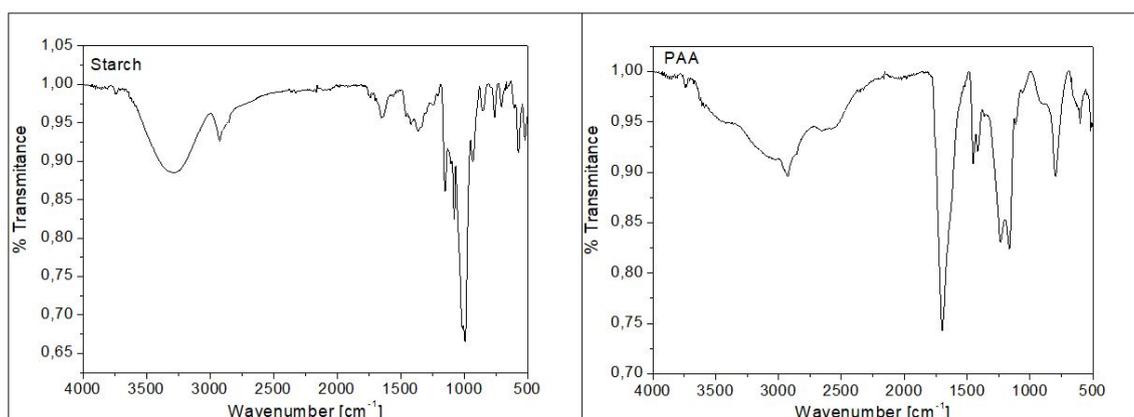


Fig. 1 FTIR spectra of Starch and PAA films.

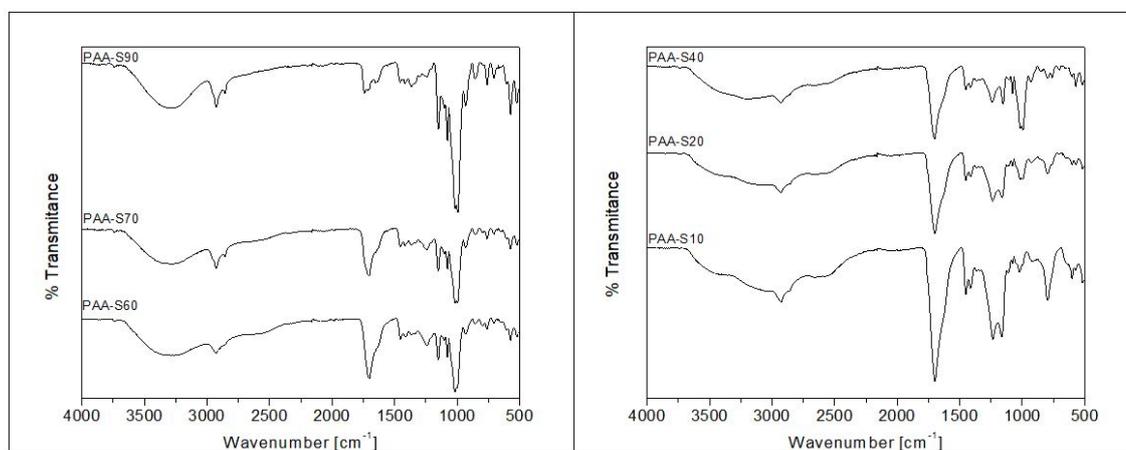


Fig. 2 FTIR of PAA-S films: PAA-S90, PAA-S70, PAA-S60, PAA-S40, PAA-S20 and PAA-S10.

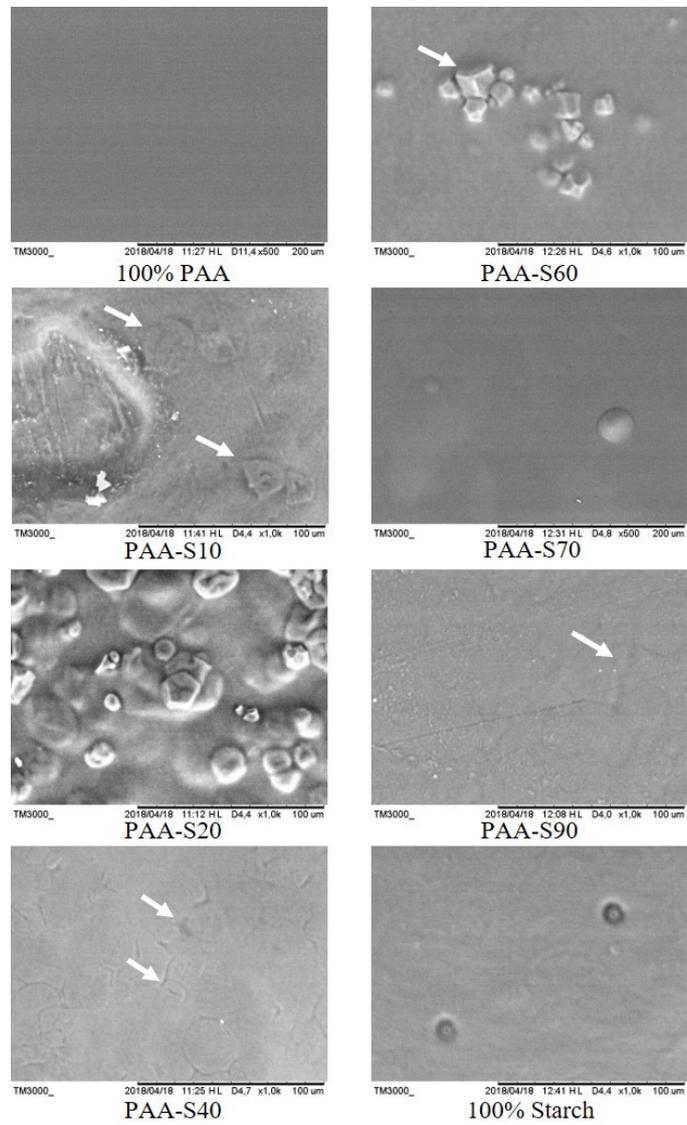


Fig. 3 SEM images of PAA-S films: PAA-S90, PAA-S70, PAA-S60, PAA-S40, PAA-S20 and PAA-S10.

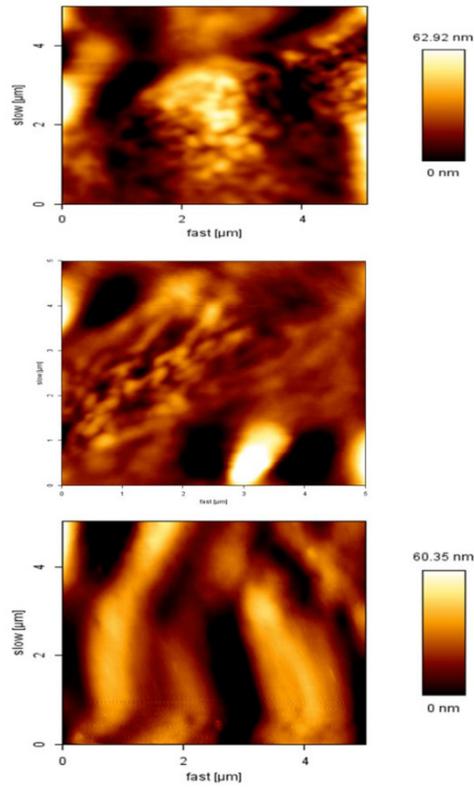


Fig. 4 PAA-S20 (80 wt % and 20 wt % starch) AFM images.

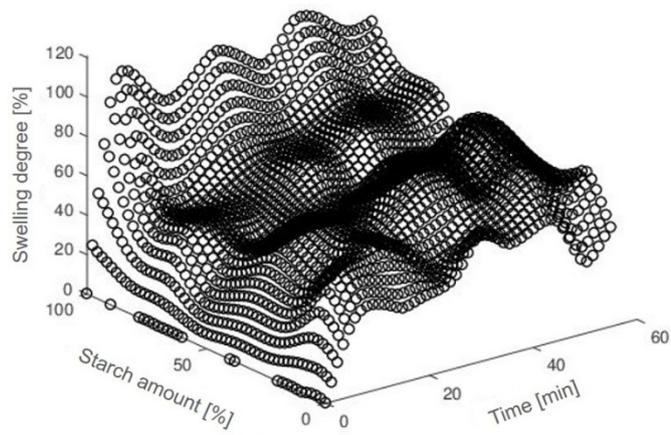


Fig. 5 Swelling degree of the films in SO - TPSIM result.

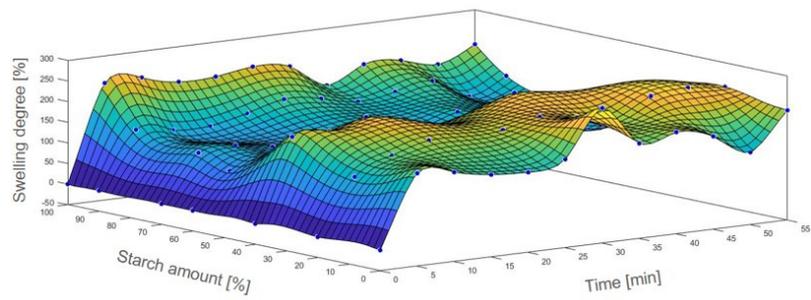


Fig. 6 Swelling degree of the films in SO - predictive surface.

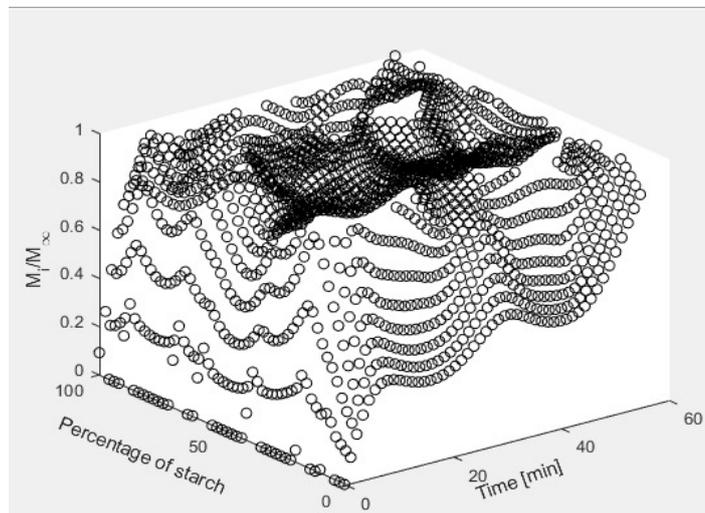


Fig. 7 M_i/M_∞ of the films in SO - real and interpolated data.

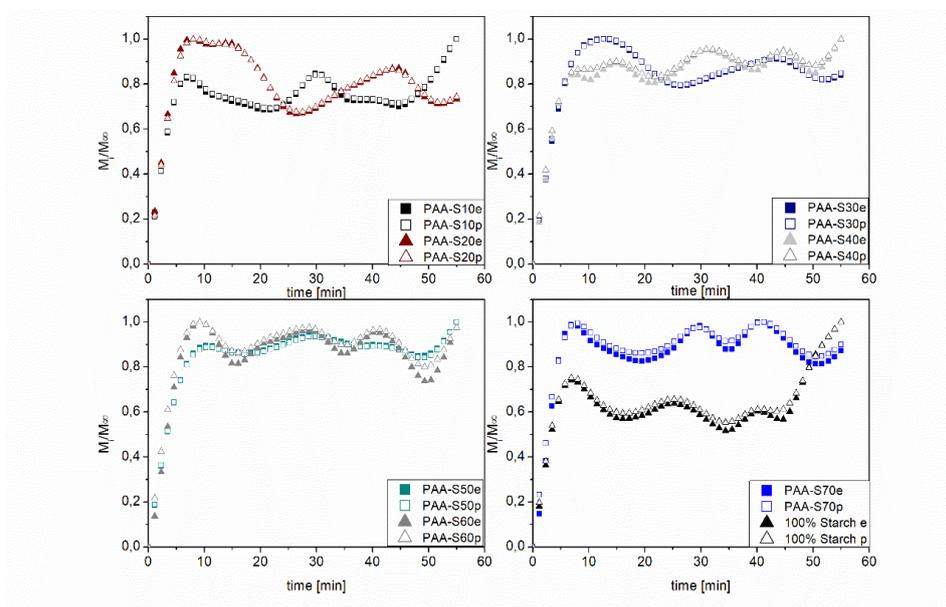


Fig. 8 Predicted (PAA-S10p, PAAS20p, PAA-S30p, PAA-S40p, PAA-S60p, PAA-S70p, 100% starch p) and experimental (PAA-S10e, PAAS20e, PAA-S30e, PAA-S40e, PAA-S60e, PAA-S70e, 100% starch e) data points for different compositions.

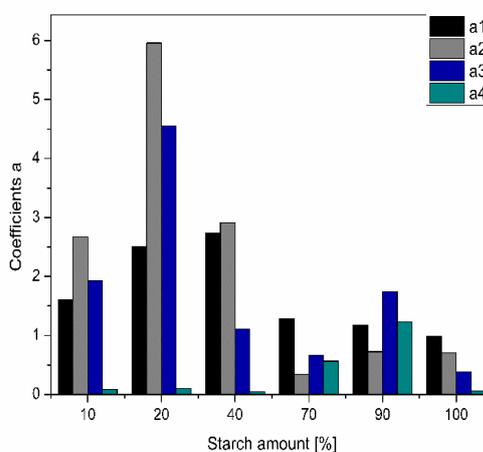


Fig. 9 Values of coefficients a_i , obtained by the sine-function fit.

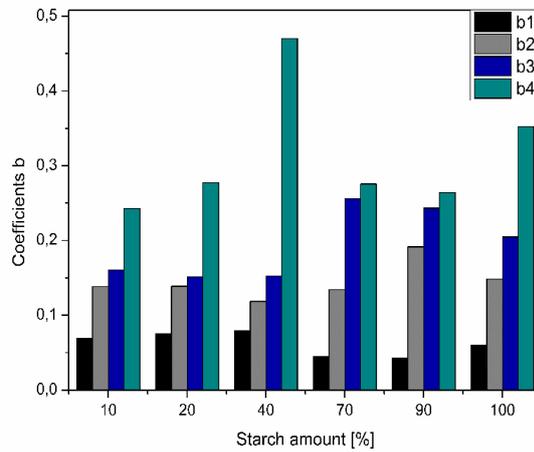


Fig. 10 Values of coefficients b_i , obtained by the sine-function.

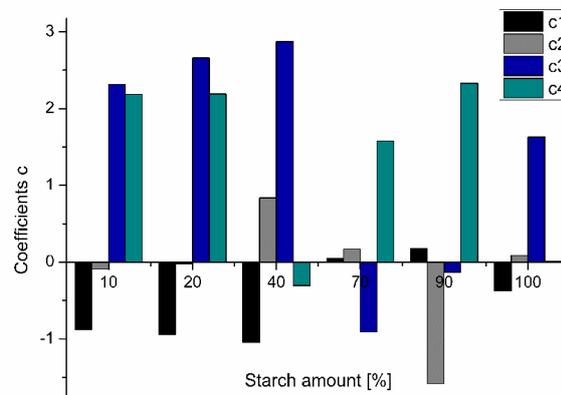


Fig. 11 Values of coefficients c_i , obtained by the sine-function.

Band positions starch[cm^{-1}]	Assignments	Band positions PAA [cm^{-1}]	Assignments
3000-3628	-OH stretching of glycosidic group	2900-3600	-OH stretching
2925	CH stretching	2931	CH or CH_2 stretching
1640	-OH bend of absorbed water	1690	C=O stretching
1082-1160	C-O stretching in C-O-H groups	1453	CH_2 deformation
990	C-O stretching in C-O-C bending of α -1,4-glycosidic bond	1414	C-O stretching coupled with O-H

Table 1 FTIR bands of starch and PAA.

Coefficients	Value	Coefficients	Value
p00	-2.207	p31	0.07111
p10	21.22	p22	-0.000379
p01	0.03813	p13	-0.0002123
p20	-17.35	p04	0.0001008
p11	0.9659	p50	0.03999
p02	0.06812	p41	-0.003976
p30	5.699	p32	2.88e-05
p21	-0.438	p23	1.54e-06

p12	0.0101	p14	1.391e-06
p03	-0.004728	p05	-6.454e-07
p40	-0.7992	-	-

Table 2 Coefficients resulting of the polynomial fit p55 presented in Equation (3).

GESTÃO ESTRATÉGICA PARA O DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS NA EMPRESA DE MANUTENÇÃO JL AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Data de aceite: 27/03/2020

Francely Cativo Bentes

Centro Universitário FAMETRO - Amazonas,
Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/6021937310576480>

David Barbosa de Alencar

Centro Universitário FAMETRO - Amazonas,
Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/4890967546423188>

<http://orcid.org/0000-0001-6705-6971>

Marden Eufrasio dos Santos

Centro Universitário FAMETRO - Amazonas,
Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/8904391465835607>

RESUMO: As gestões estratégicas são práticas e objetivos definidos pelos principais gestores de uma empresa, levando em importância os ambientes internos e externos da corporação. Este trabalho tem o intuito de mostrar as etapas do planejamento e desenvolvimento da nova estruturação da empresa, conforme a implantação das ferramentas de qualidade e de gestão, e os projetos que serão definidos, tanto organizacionais quanto operacional. Para tal, foi criado um comitê de 4 pessoas para tratar essas situações e de como cada um desempenharia a sua nova função dentro da corporação.

Dessa forma, os proprietários da empresa estão realizando reuniões mensalmente para verificarem cada mudança e resultados obtidos dentro do mês, e continuamente à procura de novos contratos, com o propósito de que a corporação obtenha o lucro e o resultado positivo até final do ano.

PALAVRAS-CHAVE: Gestões estratégicas, planejamento, projeto, desenvolvimento, ferramentas da qualidade.

STRATEGIC MANAGEMENT FOR PROJECT DEVELOPMENT AT THE MAINTENANCE COMPANY JL INDUSTRIAL AUTOMATION

ABSTRACT: Strategic managements are practices and objectives defined by the main managers of a company, taking into account the internal and external environments of the corporation. This work aims to show the stages of planning and development of the new structuring of the company, according to the implementation of quality and management tools, and the projects that will be defined, both organizational and operational. To this end, a committee of 4 people was created to address these situations and how each would perform their new role within the corporation. Thus, the

company's owners are holding monthly meetings to check each change and results obtained within the month, and continuously looking for new contracts, with the purpose that the corporation obtains profit and a positive result by the end of the year.

KEYWORDS: Strategic management, planning, design, development, quality tools.

1 | INTRODUÇÃO

A gestão estratégica está ligada intimamente com a intensificação do ritmo e da complexidade das mudanças ambientais, sendo assim, está associada com o planejamento até a abordagem financeira. Dessa forma, esse método é como um processo de transformação organizacional, que visa o futuro da corporação.

Costa (2007), afirma que “esse processo deve ser levado a efeito sistematicamente, envolvendo, de forma integrada e harmônica, dirigentes, superintendentes, gerentes e supervisores. Seu objetivo principal é assegurar o crescimento, a continuidade e a sobrevivência da entidade em longo prazo”.

Sendo assim, o método de gestão estratégica é realizado através de diagnósticos que visam detectar as possíveis não conformidades ou falhas que, se não corrigidas a tempo, podem afetar o futuro da empresa. Essas transformações estratégicas devem ser adequadas de forma contínua tanto na infraestrutura física quanto na logística.

“As ferramentas da qualidade têm muita importância no processo produtivo garantindo sempre a confiabilidade dos produtos, reduzindo perdas e desperdícios de matéria prima. O diagrama de causa e efeitos foi desenvolvido para representar a relação existente entre um problema ou efeito indesejável do resultado de um processo e todas as possíveis causas desse problema, atuando como um guia para a identificação de causa fundamental deste problema e para a determinação das medidas corretivas que deverão ser adotadas” (CARPINETTI, 2012).

O presente artigo tem como objetivo a aplicação da ferramenta da qualidade, Diagrama de Ishikawa e a ferramenta de gestão, PDCA, como técnicas de melhorias para identificar a causa raiz da quebra da empresa, através do plano de execução, e análise de melhorias proposta pelo funcionário, com o intuito de gerar maior produtividade nos procedimentos e acréscimo da lucratividade do faturamento.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Gestão estratégica

A gestão estratégica tem por finalidade assegurar o crescimento, a continuidade e a sobrevivência da instituição, por meio da contínua adequação de sua estratégia,

de sua capacitação e de sua estrutura, possibilitando-lhe enfrentar e antecipar-se às mudanças observadas ou previsíveis no seu ambiente externo ou interno (COSTA, 2005).

A gestão estratégica procura reunir o plano estratégico e a sua implementação em um único processo. Visa assegurar as mudanças organizacionais necessárias para essa implementação e a participação dos vários níveis organizacionais envolvidos em seu processo decisório. Corresponde, assim, ao conjunto de atividades intencionais e planejadas, estratégicas, operacionais e organizacionais, que visa adequar e integrar a capacidade interna da organização ao ambiente externo (TAVARES, 2010).

2.2 Gestão da qualidade

“O conceito tradicional de Gestão da Qualidade interpreta a qualidade como associada a certas manifestações físicas mensuráveis no produto ou pelo menos detectáveis sensorialmente, todas elas capazes de atestar algum efeito benéfico” (BRAVO, 2010, p. 40).

“A primeira vertente, ou seja, a noção de qualidade como adequação ao uso, sugere que qualidade é o grau com que o produto atende satisfatoriamente às necessidades do usuário, durante o uso. Essa capacidade do produto caracteriza a sua propriedade de ser adequado ao uso” (TOLEDO; BORRÁS; MERGULHÃO; MENDES, 2014).

2.3 Diagrama de Ishikawa

“O diagrama de causa e efeito foi desenvolvido para representar as relações existentes entre um problema ou efeito indesejável do resultado de um processo e todas as possíveis causas desse problema, atuando como um guia para a identificação da causa fundamental deste problema e para a determinação das medidas corretivas que deverão ser adotadas” (CARPINETTI, 2012, p. 83).

Para Almeida (2017) o efeito, um resultado ou uma conclusão não depende somente de uma causa, mas também de um conjunto de fatores que influenciam o processo desde a parte relativa à mão de obra até as condições de funcionamento da máquina, que competem à área de manutenção. Em função disso, o grupo que desenvolve o diagrama de Ishikawa deve ter como integrantes os responsáveis pelas áreas de recursos humanos, produção, manutenção etc.

2.4 PDCA

“Para implantar a prática da melhoria contínua e criar uma cultura de padronização por toda a empresa, a direção tem de estar insatisfeita com o desempenho passado e precisa ter coragem para mudar. Tem que estar ansiosa

para alterar seu estilo de administração. É essencial que se desenvolva essa crítica. Os colaboradores não podem agir sozinhos; a direção também não” (MARSHALL JUNIOR, 2012, p. 60).

Segundo Deming (1990), não basta “girar o PDCA” sem clareza de aonde se quer chegar, ou seja, sem uma constância de propósitos estabelecidos pela direção. É importante que as pessoas trabalhem juntas, com uma compreensão mútua dos 14 pontos e de como colocá-los em prática; caso contrário seguirão diversas direções, bem-intencionadas, porém mal orientadas, enfraquecendo seus esforços e, às vezes, trabalhando para fins conflitantes.

2.5 Gestão da manutenção

“A gestão da manutenção é a correta administração da manutenção, ou seja, a organização dos recursos humanos e materiais, dos insumos e do planejamento estratégico necessários para que máquinas, equipamentos e instalações de qualquer empresa estejam em boas condições de funcionamento e supram as necessidades produtivas existentes” (ALMEIDA, 2017).

“A área de manutenção ganhou status de função estratégica decorrente do seu atual papel nos sistemas produtivos, onde repousa em seu bom desempenho, disponibilidade dos ativos e suas devidas calibrações. Este fato contribui para garantir a qualidade intrínseca dos produtos, sendo a manutenção uma participante ativa e importante da estratégica das organizações” (NASCIF; KARDEC, 1999).

Tipos de manutenção

2.5.1 Manutenção preventiva

“A manutenção preventiva é a atuação realizada nas instalações, máquinas e equipamentos para reduzir falhas ou queda no desempenho, obedecendo a um planejamento baseado em períodos estabelecidos de tempo, bem como eliminar todo e qualquer problema que possa ocasionar uma condição insegura e gerar um acidente” (MALPAGA, 2009).

“Manutenção preventiva é a manutenção planejada e controlada, executadas em datas predeterminadas, com o objetivo de manter a máquina ou equipamento em condições adequadas de funcionamento e conservação, de modo a evitar paradas imprevistas” (ALMEIDA, 2017).

2.5.2 Manutenção corretiva

“As manutenções corretivas correspondem às paradas inesperadas e

não programadas e compreendem ações reativas ao problema; sendo elas desencadeadas só depois que o problema já ocorreu. Nesse âmbito, consideramos toda e qualquer intervenção no equipamento, feita no sentido de corrigir, restaurar ou recuperar o processo” (COSTA JUNIOR, 2008).

Almeida (2017) afirma que “a manutenção corretiva acontece diante de paradas imprevistas. A máquina que está em produção é responsável por garantir o cumprimento de prazos de entrega, portanto, é a precisão que garante a qualidade e a confiabilidade do produto, contribuindo, sobretudo para a arrecadação de recursos financeiros”.

2.6 Gestão de projetos

“A gestão de projetos é tanto uma arte como uma ciência. É uma arte porque um gerente de projetos talentoso e experiente é capaz de fazer “magia” com um projeto que parecia fadado ao fracasso e levá-lo ao sucesso” (KANBAR; WARBURTON, 2012).

Para DUFFY (2006) afirma que “a gestão de projetos é uma massa de contradições. Você tem de elaborar um plano abrangente e detalhado e, ao mesmo tempo, ser suficientemente flexível para lidar com o inesperado. Você é obrigado a manter a visão do panorama geral – concentrada no objetivo final – resolvendo ao mesmo tempo detalhes pequenos, mas fundamentais, que mantêm a coisa toda nos trilhos”.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo teve início na empresa JL Automação Industrial, do ramo de serviços em refrigeração, elétrica, automação e hidráulica, que atende a região de Manaus. O intuito dessa pesquisa é levantar a causa raiz da quebra da empresa, desde o rompimento de contrato com o banco Itaú.

A análise iniciou-se através de reuniões diárias com o grupo que fazia parte do processo, registrando as ideias e analisando os procedimentos antigos que eram realizados, através de imagens, gráficos e documentos, ou seja, com as informações completas.

Além disso, foi realizada a observância de ferramentas da qualidade e ferramentas de gestão, para que houvessem soluções aos problemas encontrados, com finalidade de estabelecer novamente a lucratividade da empresa, garantindo uma boa produtividade dos serviços e restaurando a confiança do cliente.

4 | APLICAÇÃO DO ESTUDO

A empresa JL Automação, possuía uma renda média mensal de R\$ 131.976,80, predominando a terceirização com o Itaú como maior contrato. Porém no mês de junho de 2019, tivemos a quebra do contrato entre a JL e o banco Itaú, ocasionando um déficit de 60,6% na renda da empresa, isto é, mais da metade do faturamento da empresa. À frente disso, realizamos um levantamento dos problemas através da ferramenta de qualidade, diagrama de Ishikawa, para que pudéssemos averiguar os problemas a serem eliminados e assim gerar melhorias nos processos. Conforme mostra a figura 1 abaixo:

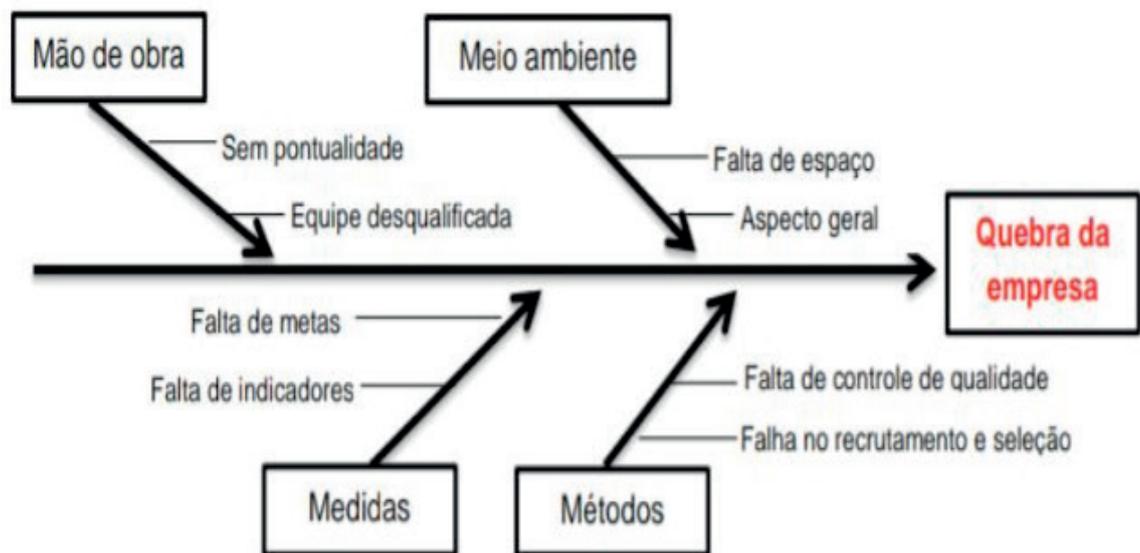


Figura 01. Diagrama Ishikawa (causas e efeitos)

Fonte: Os Autores, 2019.

Dessa forma, o diagrama foi desenvolvido pelos sócios e os colaboradores que estavam envolvidos no processo, para que pudessem construir o mesmo por completo e que não houvesse omissão de causas relevantes. Sendo assim, a equipe realizou sessões de brainstorming durante o mês de junho, com a intenção de produzir o máximo possível de ideias em um curto período de tempo.

Conforme as informações mostradas na figura 1, identificamos a causa raiz do problema, através da identificação dos 4M.

Métodos: foram aplicadas as ferramentas de qualidade e ferramentas de gestão nos procedimentos, e utilizado a plataforma LinkedIn para a efetuação do recrutamento e seleção.

Medição: foi realizada a elaboração de metas individuais e a criação de indicadores de produtividade.

Meio Ambiente: o almoxarifado das ferramentas foi organizado através da

aplicação da ferramenta 5s.

Mão de Obra: os colaboradores estão treinados e foi adotado o método de advertência para os funcionários que não chegassem no horário, dessa forma, diminuindo o índice de atraso.

Com base nas sessões realizadas e da construção do diagrama de Ishikawa, foi verificado que a corporação precisava se reestruturar por completo, tanto administrativamente quanto operacionalmente. Dessa forma foi implantada a ferramenta PDCA, pois conforme o autor Campos (1996) define o Método de Melhorias: O PDCA como um método de gerenciamento de processos ou de sistemas. É o caminho para se atingirem as metas atribuídas aos produtos dos sistemas empresariais.

(PLAN) Planejamento	Identificar: Dependência financeira completa de um único contrato Análise: sem conhecimento nos métodos de gestão estratégica e falta de comunicação na elaboração do processo do contrato, havendo apenas benefícios para a contratante e diversos prejuízos para a contratada. Plano de ação: procura contínua de novos contratos e aprimoramento dos meios de comunicação para a regularização dos processos contratuais, além do balanceamento dos custos dos contratos futuros.
(DO) Execução	Execução: colocar o plano de ação em prática e a realização de reuniões mensais com o setor responsável pela elaboração dos contratos.
(CHECK) Avaliar	Verificação: ações eficazes e resultadas no aumento de 20% em novos contratos e maior produtividade com o refinamento da comunicação entre os colaboradores.
(ACT) Ação corretiva	Conclusão: houve o aumento do faturamento da corporação e garantia de não haver mais dependência de rentabilidade de apenas um contrato, já que a equipe ficou centralizada com o mesmo objetivo.

Tabela 01: Aplicação da ferramenta PDCA

Fonte: Os Autores, 2019.

5 | RESULTADO E DISCUSSÕES

Após realizar o levantamento das causas e efeitos com a ferramenta de qualidade Diagrama de Ishikawa, foi realizada a elaboração de planilhas de controle financeiro, para que soubéssemos quanto que a companhia estava perdendo ou ganhando após o rompimento desse contrato. Além disso, foi realizado o planejamento tributário e foi verificado que o contador não estava desempenhando a sua função e com isso foi contratada uma nova empresa para gerenciar esse setor.

Custo de compra	Cliente	Emissão das NF's	Vencimento das NF's	Fluxo de caixa	Classificação	Tipo de venda
R\$ 8,00	JL	02/09/2019	02/09/2019	Dinheiro	Consumo	Variável
R\$ 2,01	JL	02/09/2019	02/09/2019	Dinheiro	Consumo	Fixo
R\$ 599,00	JL	02/09/2019	02/09/2019	Cartão de débito	Consumo	Variável
R\$ 50,00	JL	02/09/2019	02/09/2019	Cartão de débito	Consumo	Fixo
R\$ 409,43	JL	02/09/2019	02/09/2019	Transf. bancária	Consumo	Variável
R\$ 298,49	JL	02/09/2019	02/09/2019	Cartão de débito	Consumo	Variável
R\$ 10,00	JL	02/09/2019	02/09/2019	Dinheiro	Consumo	Variável
R\$ 160,00	JL	02/09/2019	02/09/2019	Cartão de débito	Consumo	Variável

Tabela 02: Planilha de controle financeiro

Fonte: Os Autores, 2019.

Após as tomadas de ações, verificou-se que está havendo um retorno cabível com a implantação da loja com a venda dos produtos que estavam em estoque e dessa forma, havendo fluxo de caixa na rentabilidade da empresa.

Muitas das empresas centralizam o seu rendimento em apenas um cliente, sem rever a veracidade das informações propostas pelo o mesmo e ocasionando a ausência de comunicação durante no processo. Sendo assim, ocasionando uma falsa ilusão que aquele cliente nunca irá romper o contrato.

Conforme (KEELING; BRANCO, 2014), a comunicação é fundamental à ação individual e ao esforço conjunto. É o sistema nervoso da liderança, trabalho em equipe, cooperação e controle. Ela determina a qualidade dos relacionamentos, os níveis de satisfação e a medida de nosso sucesso ou fracasso. Sua ruptura é uma das principais causas de discórdia ou conflito, mas sendo ela comunicação é o veículo fundamental para resolver as dificuldades.

Por esse motivo, as empresas não podem ter essa visão incorreta da gestão estratégica e ter falhas nos meios de comunicação, de apenas valorizar um cliente e esquecer os demais. Além disso, deve haver a contínua busca por novos contratos para que não ocorra crise econômica no âmbito empresarial.

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluiu-se que com a correta utilização das ferramentas que estudamos na sala de aula, identificaram-se os impasses que acarretaram a quebra da corporação e os itens de melhorias que puderam ser realizados no decorrer do processo, através do uso da ferramenta de gestão PDCA como uma das alternativas de um plano de execução, assim como, sugestões do funcionário da empresa.

Portanto, através da aplicação das ferramentas de qualidade e ferramentas de gestão, foi possível atingir os objetivos deste trabalho, com aumento da lucratividade do faturamento e a obtendo da redução dos custos desnecessários que havia na

organização.

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ter segurado minha mão nos momentos mais difíceis. Aos meus pais, Francisca Pontes Cativo e Elias da Silva Bentes, por todo o incentivo e apoio incondicional. Meus irmãos Elifran Cativo e Vanessa Tavares por sempre acreditarem no meu potencial. Ao meu orientador David Barbosa de Alencar por toda paciência e disponibilidade. Aos meus amigos, em especial Heloyse Ferreira, Julianne Nunes e Tarlon Souza, por toda cumplicidade e compreensão e a empresa JL Automação, por ter fornecido toda ajuda necessária para a finalização deste trabalho.

REFERÊNCIA

ALMEIDA, Paulo Samuel de. Gestão da Manutenção: aplicada às áreas industrial, predial e elétrica. São Paulo: Érica, 2017.

BRAVO, Ismael. Gestão de Qualidade: em tempos de mudanças. 3. ed. São Paulo: Alínea, 2010.

CAMPOS, V. F. Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia. Belo Horizonte: Editora Fundação Christiano Ottoni, 1996.

CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. Gestão da Qualidade: conceitos e técnicas. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

COSTA, Eliezer Arantes da. Gestão Estratégica: da empresa que temos para a empresa que queremos. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

COSTA JUNIOR, Eudes Luiz. Gestão em processos produtivos. Curitiba: IBPEX, 2008.

DEMING, William Edward. Qualidade: a Revolução da Administração. São Paulo: Saraiva, 1990.

DUFFY, Mary. Gestão de Projetos: arregimente os recursos, estabeleça prazos, monitore orçamento e gere relatórios. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

KANABAR, V.; WARBURTON, R. D. Gestão de Projetos. São Paulo: Saraiva, 2012.

KARDEC, A.; NASCIF, J. Manutenção Função Estratégica. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

KEELING, R.; BRANCO, H. F. R. Gestão de Projetos: uma abordagem global. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2014.

MALPAGA, Isaac. O Departamento de Manutenção: e seus impactos na segurança. Santa Catarina: Clube Autores, 2009.

MARSHALL JUNIOR, Isnard. Gestão da qualidade e processos. 9. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2012.

NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 6024. Disponível em <https://mnpef.ect.ufrn.br/wpcontent/uploads/2017/03/ABNT_NBR-6024-2012.pdf>. Acesso dia 12/11/2019.

PEREIRA, Giancarlo da Silva Rego. Gestão Estratégica: revelando alta performance às empresas. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

TAVARES, Mauro Calixta. Gestão Estratégica. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

TOLEDO, J. C; BORRÁS, M. A. A; MERGULHÃO, R. C; MENDES, G. H. S. Qualidade: Gestão e Métodos. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

OTIMIZAÇÃO DOS INSPETORES ELETRÔNICOS NA PRODUÇÃO DE TAMPAS METÁLICAS NO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS

Data de aceite: 27/03/2020

Elisabete Albuquerque de Souza

Centro Universitário FAMETRO - Amazonas,
Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/9707406032597607>

David Barbosa de Alencar

Centro Universitário FAMETRO - Amazonas,
Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/4890967546423188>

<http://orcid.org/0000-0001-6705-6971>

Marden Eufrasio dos Santos

Centro Universitário FAMETRO - Amazonas,
Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/8904391465835607>

RESUMO: Os inspetores eletrônicos instalados nas máquinas de produção de tampas, são responsáveis por verificar se os produtos produzidos tem alguma não conformidade, contudo, alguns estão com uma sensibilidade muito alta para detectar tais erros e rejeitam peças em bom estado, elevando assim a porcentagem para os indicadores de produtos fora da especificação. Este trabalho tem como objetivo, otimizar o processo de inspeção eletrônica das tampas básicas de uma empresa do polo industrial de Manaus, para tal, foram coletados dados para fazer um comparativo

do antes e depois, foram utilizados o sistema de gerenciamentos de processos, o PDCA, a técnica de discussão em grupo, brainstorming e a ferramenta da qualidade, GUT. Verificou-se seis problemas com a ajuda do brainstorming e com os resultados encontrados com a matriz GUT, foram elaborados planos de ação para cada um, após isso será feito a verificação dos resultados.

PALAVRAS-CHAVE: Inspetores eletrônicos, PDCA, ferramentas da qualidade.

OPTIMIZATION OF ELECTRONIC INSPECTORS IN THE PRODUCTION OF METAL CAPS IN THE MANAUS INDUSTRIAL POLE

ABSTRACT: The electronic inspectors installed in the lid production machines, are responsible for verifying if the products produced have any non-conformity, however, some are with a very high sensitivity to detect such errors and reject parts in good condition, thus increasing the percentage for out-of-specification product indicators. This work aims to optimize the electronic inspection process of the basic caps of a company in the industrial pole of Manaus. For this purpose, data were collected to make a comparison of before and after, the process management system, the

PDCA, was used. , the group discussion technique, brainstorming and the quality tool, GUT. There were six problems with the help of brainstorming and with the results found with the GUT matrix, action plans were elaborated for each one, after which the results will be verified.

KEYWORDS: Electronic inspectors, PDCA, quality tools.

1 | INTRODUÇÃO

O controle da qualidade se faz cada vez mais presente no dia a dia da empresa, processos que precisam ser seguidos à risca para, que o produto produzido tenha zero não conformidades e buscando sempre a melhoria.

Para se alcançar a melhoria no processo são usados alguns métodos, técnicas e ferramentas, sendo exemplos, o método gerencial PDCA (Plan, Do, Check, Action) criado por Shewhar e que segundo Werkema (2013), é usado para o alcance de metas de melhorias empresarias, e apresenta a estatística como a ciência que trata da coleta, do processamento e da disposição de dados (informações) necessários para a pratica desse método, a técnica “brainstorming é utilizada para se gerar o máximo de ideias possíveis sobre um assunto, em um determinado espaço de tempo, procurando evitar qualquer tipo de pré-julgamento” (PEINALDO; GRAEMI, 2007), diante disso podemos usar essa técnica para ouvir o máximo de pessoas da empresa, para que assim surjam mais ideias que possam colaborar com o assunto abordado, e a ferramenta GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) a ferramenta oferece uma pertinente apreciação das variáveis gravidade (G), urgência (U) e tendência (T), resultando no escalonamento das prioridades (FÁVERI e SILVA, 2016).

Este trabalho tem como objetivo analisar o nível de rejeições feitas pelos inspetores eletrônicos em uma fábrica de tampas metálicas para bebidas, onde o processo de fabricação das tampas se inicia, quando uma bobina metálica é colocada na máquina e entra em um processo de conformação, onde já no seu formato final, passa pelos inspetores eletrônicos e assim identificar as suas possíveis causas maiores para rejeições indesejadas e criar um plano de ação para melhoria do processo.

2 | REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Melhoria Continua

Melhoria contínua é baseada em um conceito japonês denominado Kaizen, que consiste no ponto principal da filosofia da qualidade total, qual seja, a ideia da

busca contínua de melhorias em tudo o que é feito em uma organização. Significa melhoria gradual e contínua de todos os produtos e serviços, descobrindo no dia-a-dia a forma de tornar os processos cada vez mais eficientes, mais econômicos e mais confiáveis (Peinaldo e Graemi 2007).

2.2 PDCA

O Ciclo PDCA foi introduzido no Japão com o propósito de tornar mais claros e ágeis os processos envolvidos na gestão empresarial. Trata-se de um método de gestão, uma forma de trabalho, que orienta o processo de tomada de decisão para o estabelecimento das metas e dos meios de ações necessários para executá-las e acompanha-las a fim de garantir a sobrevivência e o crescimento de uma organização. Pode ser utilizado em qualquer empresa de forma a garantir o sucesso dos negócios, independentemente da área ou departamento (BERSSANETI E BOUER, 2018)

O ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Action) é uma metodologia para solução de problemas baseada na melhoria contínua, possibilitando que as diretrizes traçadas pelo planejamento estratégico sejam viabilizadas na empresa, sendo de extrema importância o alinhamento de todos os colaboradores da organização com o método (FALCONI, 2014).

O método PDCA é aplicado pelas organizações para controlar os seus processos internos de forma a certificar o alcance de metas estabelecidas, considerando as informações como motivo de direcionamento das decisões (MARIANI Et AL. 2005)

O ciclo começa pelo planejamento, em seguida a ação ou conjunto de ações planejadas é executada; checa-se se o que foi feito estava de acordo com o planejado, constantemente e repetidamente (ciclicamente), e toma-se uma ação para eliminar ou, ao menos, mitigar defeitos no produto ou na execução (FERREIRA, 2013).

2.3 GUT

A ferramenta GUT é uma técnica utilizada para definição das prioridades dadas às diversas alternativas de ação. Ela utiliza a listagem dos fatos e atribui pesos aos que são considerados problemas, de forma a analisá-los no contexto de sua gravidade, urgência e tendência. Essa ferramenta responde racionalmente às questões “o que devemos fazer primeiro?”, “por onde devemos começar? Para responder a tais questões, a matriz GUT leva em consideração: a gravidade, que deve considerar a intensidade e profundidade dos danos que o problema pode causar se não atuar sobre ele; a urgência, que deve considerar o tempo para a eclosão dos danos ou resultados indesejáveis se não atuar sobre o problema; e a tendência do fenômeno, que deve considerar o desenvolvimento que o problema terá na ausência de ação (Hékis ET AL. (2013).

De acordo com Guimarães (2017), gravidade é o impacto do problema sobre coisas, pessoas, resultados, processos ou organizações e efeitos que surgirão em longo prazo, caso o problema não seja resolvido; urgência é relação com o tempo disponível ou necessário para resolver o problema e tendência é o potencial de crescimento do problema, a avaliação da tendência de crescimento, redução ou desaparecimento do problema.

Essa ferramenta gerencial é aplicada para priorizar a tomada de decisão, levando em consideração a gravidade, a urgência e a tendência do evento relacionado. A partir dessas variáveis, o gestor pode agir com base em uma ordenação, identificando quais complicações devem ser resolvidas primeiramente. O diferencial do Método GUT, em relação aos outros do gênero, é a simplicidade de utilização e a possibilidade de conceder valores para cada caso concreto de maneira objetiva (MEIRELES, 2001)

2.4 Brainstorming

O brainstorming é uma técnica que se refere como “tempestade de ideias”. É utilizada para conseguir o máximo de ideias possível sobre determinado assunto, em um curto espaço de tempo. A técnica consiste em reunir um grupo de pessoas envolvidas com o assunto em questão para apresentar todas as ideias que forem aparecendo, as quais são listadas em uma lousa ou um quadro à medida que forem sendo produzidas (PEINALDO; GRAEMI, 2007).

As regras para conduzir uma sessão de brainstorming são: incentivar todos a se sentirem livres para expressar suas ideias; não rejeitar quaisquer ideias, mesmo que no momento pareçam tolas; quanto mais ideias, melhor; não permitir discussões durante a sessão de brainstorming. Isso ocorre em outro momento; não permitir a emissão de julgamentos. Ninguém tem o direito de criticar as ideias dos outros, nem mesmo com um resmungo ou careta; permitir às pessoas “pegarem carona”, desenvolvendo ideias dadas por outros membros do grupo; escrever todas as ideias, de modo que o grupo todo possa examiná-las posteriormente (FERREIRA, 2013)

2.5 Fluxograma

Para Peinaldo e Graemi (2007), fluxogramas são formas de representar, por meio de símbolos gráficos, a sequência dos passos de um trabalho para facilitar sua análise. Um fluxograma é um recurso visual utilizado pelos gerentes de produção para analisar sistemas produtivos, buscando identificar oportunidades de melhorar a eficiência dos processos.

Exemplos de alguns símbolos utilizados em fluxogramas de processos industriais:

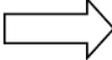
Símbolo	Usado para
	Operação
	Armazenagem
	Inspeção
	Transporte
	Espera ou demora

Tabela 1 - Símbolos usados em um fluxograma

Fonte: Próprio autor

2.6 5W2H

O 5w2h ajuda a empresa a estruturar suas ações e a estabelecer os respectivos encarregados para cumpri-las e os recursos que devem estar disponíveis para que seja possível conclusão permanente para suas ações. As iniciais das palavras que começam com W e H, em inglês, significa: why (por que), what (o quê), where (onde), when (quando), who (quem), how (como) e how much (quanto custa) (ROCHA, 2017).

O método 5W2H compõe-se em uma série de perguntas direcionadas ao processo produtivo e possibilita identificar as rotinas mais significativas, detectando seus problemas e indicando soluções (LISBOA e GODOY, 2015)

5W2H é uma ferramenta adequada para dividir e estudar, separadamente, cada fase do ciclo produtivo, caracterizando problemas e apresentando soluções, com o objetivo de potencializar a produção (LISBOA e GODOY, 2015).

3 | METODOLOGIA

Para realização desse trabalho, foi utilizado o método de gerenciamento PDCA, onde dentro do passo PLAN foi realizado um brainstorming envolvendo diversos técnicos e responsáveis diretos e indiretos da produção, e assim, foi possível um norte para se buscar as melhorias a serem executadas. Após essa aplicação, foi criada uma matriz G.U.T. para auxílio na priorização de resolução dos problemas levantados.

Foi colocado todas as causas na matriz G.U.T e foi desenvolvido um plano de ação para as causas com as maiores prioridades, visando o auxílio do setor de

TPM da empresa, pois fatores que ocasionam algumas das causas destacadas envolvem manutenções, que precisarão ser executadas., também utilizou-se o método 5W2H, para melhor análise das ações que seriam realizadas.

4 | APLICAÇÃO DO ESTUDO

4.1 Fluxo do processo

O processo de fabricação de tampas é realizado em cinco etapas, ilustrados conforme figura 1.

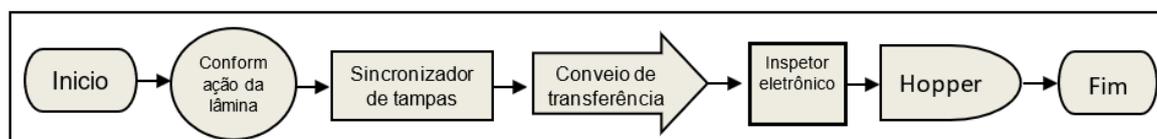


Figura 1 – Fluxo do Processo

Fonte: Os Autores, 2019.

Na primeira etapa, conformação da Lâmina em tampas: onde ocorre o desbobinamento da lâmina através de um sistema automatizado e parametrizado para velocidade constante, em seguida, a lâmina é inserida em um bloco com ferramental responsável pela conformação e transformação em uma tampa metálica.

Na segunda etapa, o sincronizador de tampas: sistema integrado à saída do ferramental de tampas com o objetivo de manter o sincronismo das tampas de forma ordenada à etapa seguinte, que é o conveyor de transferência, que após as tampas saírem da prensa através de um sincronizador, faz-se necessário um conveyor que tem a função de transferir a tampa de forma sequencial e respeitando velocidades adequadas a fim de não causar indisponibilidade no processo.

A quinta etapa do processo se dá quando as tampas passam pelo inspetor eletrônico, localizado em parte intermediária no conveyor, é o equipamento responsável pela avaliação/inspeção das condições visuais das tampas pós conformação e transferência via conveyor, esta avaliação ocorre correlacionando o visual da tampa versus o padrão estabelecido no inspetor, o Hopper fica localizado ao final do conveyor, tem a função de transferir as tampas de forma ordenada às calhas de transferência do processo seguinte de fabricação, na qual será preparada para ensacamento e montagem dos paletes, onde são vendidas.

O inspetor eletrônico foi a etapa do processo na qual foi analisada, onde identificou-se que estaria com um alto nível de rejeição e dentre as tampas que estavam sendo rejeitadas, tampas boas eram identificadas como defeituosas.

4.2 Identificação do problema através da matriz gut

As ideias propostas foram divididas e foi realizada a matriz GUT (Tabela 2), onde pode-se identificar qual seria a ordem das ações para cada causa, ficando entre os três primeiros, correia desalinhada, nível de sensibilidade dos inspetores eletrônicos e correia desgastada, melhorias foram propostas para cada um dos problemas e será seguido o seu grau de priorização.

Problema	Gravidade	Urgência	Tendência	GxUxT	Class.
Correia Desalinhada	5	3	3	45	1º
Correia Desgastada	3	4	2	24	3º
Nível de sensibilidade	5	3	2	30	2º
Condição das caixas coletoras	2	2	1	4	6º
Condição de Hopper de saída	2	4	1	8	5º
Condição de sincronizer	3	3	1	9	4º

Tabela 2 – Matriz GUT dos inspetores eletrônicos.

Fonte: Os Autores, 2019.

O foco para o estudo foi sobre o inspetor eletrônico da máquina Shell Press 51, pois, como demonstrado na tabela 3, que refere-se sobre a quantidade de tampas em porcentagem que a máquina está rejeitando, existem oito saídas, e cada uma delas com um nível de rejeição diferente, na saída 1, está com um número elevado de rejeições, que resulta numa diferença de oitenta duas vezes sobre o valor de rejeições, que é apresentado na saída 2.

Inspetor SP 51	
Prensa / Linha	% Rejeições
Saída 1	12,258
Saída 2	0,015
Saída 3	0,280
Saída 4	0,077
Saída 5	0,154
Saída 6	0,109
Saída 7	0,121
Saída 8	16,446
Diferença	82x

Tabela 3 - . Nível de rejeições dos inspetores eletrônicos da Shell Press 51.

Fonte: Os Autores, 2019.

4.3 Proposta de melhoria

Para as correias desalinhadas e desgastadas foi proposto junto ao TPM, manutenções preventivas e corretivas, onde será feita a avaliação e troca das correias; aos níveis de sensibilidade dos inspetores eletrônicos haverá um ajuste eletrônico com auxílio do técnico eletrônico e checar periodicamente; sobre as condições das caixas coletoras, um plano de ação para otimizar o local e conscientização das pessoas que trabalham no setor; para as condições de Hopper de saída e condição do sincronizer, manutenções preventivas também serão colocadas como plano de ação.

A aplicação do plano de ação foi feita priorizando os três principais problemas classificados na matriz GUT.

As ações tomadas sobre o nível de sensibilidade dos inspetores eletrônicos foi, o ajuste e padronização de parâmetros para rejeição de tampas defeituosas e níveis de sensibilidade para reduzir rejeições inadequadas de tampas consideradas aprovadas



Figura2 – Inspetor eletrônico

Fonte: Os Autores, 2019.

Para a correia desalinhada, foi feito um ajuste nos periféricos e conveyor buscando a centralização das correias nos trechos de movimentação, como demonstrado na figura 3:



Figura 3 – Correia ajustada

Fonte: Os Autores, 2019.

Para a correia desgastada, foi feita uma substituição de correia desgastada e padronização de ação preventiva periódica junto à área de manutenção.

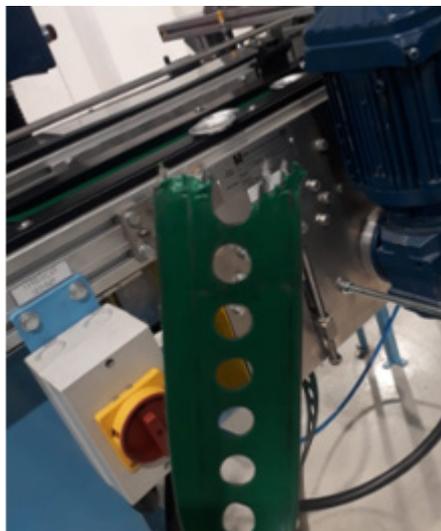


Figura 4 – Correia desgastada.

Fonte: Os Autores, 2019.



Figura 5 – Correia nova.

Fonte: Os Autores, 2019.

As correias ficavam desgastadas e se rompiam, conforme figura 4, e após a substituição, conforme figura 5.

5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi utilizada a ferramenta 5W2H, para uma visualização melhor das ações, como demonstrado na tabela 2.

Itens	What	Why	Where	Who	When	How	How much
1º	Manutenções preventivas e corretivas	Desalinhamento da correia causando erro na rejeição das tampas	Conveyor de descarga	Técnico Mecanico	out/19	Ajuste nos perifericos e conveyor	Sem custos
2º	Ajuste e padronização de parametros	Está rejeitando tampas boas	Inspetor eletrónico Pressco	Técnico Eletrónico	out/19	Acesso ao módulo de ajuste da sensibilidade dos inspetores	Sem custos
3º	Manutenções preventivas e corretivas	Oscilação do trânsito das tampas no decorrer do	Conveyor de descarga	Técnico Mecanico	out/19	Avaliação e troca das correias	Custos
4º	Manutenções preventivas	Atraso ou adiantamento do percurso da tampa e indisponibilidade no processo	Sincronizer (transferidor de tampas da prensa para o conveyor)	Técnico de Produção	out/19	Ajuste no Sincronizer	Sem custos
5º	Manutenções preventivas	Embolamento de tampas (duas tampas sobrepostas) e indisponibilidade no processo	Saída de cada conveyor	Técnico de produção	out/19	Ajuste no Hopper	Sem custos
6º	Otimização do local e conscientização das pessoas	Rejeição equivocada de tampas, podendo aumentar o volume de sucata	Caixa coletora de cada conveyor	Técnico de produção	out/19	Avaliação periodica da condição da caixa de coleta	Sem custos

Tabela 4 – 5W2H

Fonte: Os Autores, 2019.

Os itens desta tabela, refere-se a classificação feita na tabela 2, e foi listada na sua ordem de priorização, a maioria das ações tomadas não foram custeadas, pois foram realizadas pelos funcionários da empresa, apenas uma das ações teve custo, pois foi necessária a compra de uma nova correia.

Após as ações serem realizadas, os dados foram avaliados no período antes x depois, observamos o Valor-P = 0,000 e podemos afirmar estatisticamente que há diferença entre os períodos (valores de P menor que 0,05 indicam diferenças na análise; valores iguais ou maiores que 0,05 indica que não há diferenças na análise). Com a análise dos dados, notou-se uma redução de 70% no nível de rejeições feitas pelos inspetores eletrônicos, como demonstrado na figura 5:

ANOVA com um fator: Dispersão versus Período

Método

Hipótese nula Todas as médias são iguais
Hipótese alternativa No mínimo uma média é diferente
Nível de significância $\alpha = 0.05$

Assumiu-se igualdade de variâncias para a análise
Informações dos Fatores

Fator	Níveis	Valores
Período	2	Antes, Depois

Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Período	1	49997	49997.1	114.52	0.000
Erro	58	25323	436.6		
Total	59	75320			

Sumário do Modelo

S	R2	R2 (aj)	R2 (pred)
20.8949	66.38%	65.80%	64.02%

Médias

Período	N	Média	DesvPad	IC de 95%
Antes	30	82.13	24.20	(74.50, 89.77)
Depois	30	24.40	16.96	(16.76, 32.04)

DesvPad Combinado = 20.8949

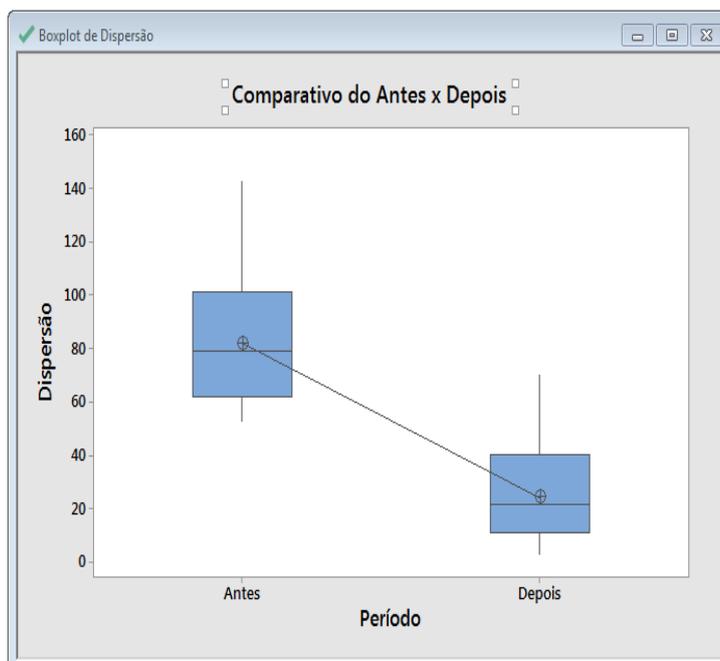


Figura 5 – Análise dos dados

Fonte: Os Autores, 2019.

Na análise da figura 5, comparamos dois períodos: Antes e Depois, onde antes refere-se a 30 dados antes de alterações, melhorias ou adequações propostas e depois, período após as mudanças.

Os 30 dados coletados antes resultaram em uma média de 82 (amplitude de 82 entre o melhor e pior inspetor eletrônico, o que prejudica na quantidade de rejeições de tampas), e 30 dados coletados depois, resultaram em média de 24.

Utilizando este recurso do Anova, observamos um fator determinante da análise (Valor-P), se o valor de P estiver menor ou igual à 0,05, nos explica que houve diferença significativa entre os valores avaliados (ou seja, para esta análise o resultado foi 0,000 que nos permite afirmar que houve diferença entre o antes e depois). Caso o resultado fosse maior que 0,05 nos explicaria que “não houve diferenças entre os dados avaliados”.

6 | CONCLUSÃO

Com a utilização das ferramentas propostas, foi possível selecionar as causas dos números elevados de rejeições feitas pelos inspetores eletrônicos, e assim categorizar, pela maior prioridade, qual seria a primeira decisão tomada para a melhoria e a redução dessas rejeições.

Notou-se que alguns dos problemas seriam ocasionados apenas pela falta de conscientização de colaboradores ou da equipe de manutenção, que não acompanha com frequência as máquinas e seus inspetores, e foi realizado em cima disso os

planos de ação, para que assim seja possível alcançar a redução desejável.

A melhoria nos inspetores eletrônicos será de grande benefício para a empresa, por diminuir assim a porcentagem de produtos não conformes e diminuir a quantidade de tampas sem defeitos que os inspetores rejeitam por sua sensibilidade elevada.

REFERÊNCIAS

BERSSANETI, Fernando Tobal; BOUER, Gregório. Qualidade: Conceitos e aplicações – Em produtos, projetos e processos. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2018.

FALCONI, Vicente. TQC: controle da qualidade total (no estilo japonês). Belo Horizonte, MG: Editora Nova Lima, 256 p, 2014.

FÁVERI, Rafael de; SILVA, Alexandre da. Método GUT aplicado à gestão de risco de desastres: uma ferramenta de auxílio para hierarquização de riscos, Revista Ordem Pública, v.9, n, 1, jan/jun, 2016.

FERREIRA, André Ribeiro. Análise e melhoria de processos; revisão e adaptação Coordenação-Geral de Projetos de Capacitação. Brasília: ENAP/DDG, 2013.

HÉLKIS, H.R., SILVA, A.C., OLIVEIRA, I.M.P., ARAUJO, J.P.F. Análise GUT e a gestão da informação para tomada de decisão em uma empresa de produtos orgânicos do Rio Grande do Norte. Revista Tecnol. Fortaleza, v. 34, n. 1 e 2, p. 20-32, dez. 2013.

GUIMARÃES, Evandro Tsufa Lepletier. Aplicação da ferramenta GUT na cadeia produtiva de ovinocultura de corte da Ride-DF. Brasília, DF, Brasil, 2017.

LISBOA, Maria da Graça Portela; GODOY, Leoni Pentiado. Aplicação do método 5W2H no processo produtivo do produto: a joia. Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, Florianopolis, SC, Brasil, v. 4, n. 7, p. 32-47, 2012.

MARIANE, C. A., Pizzinatto, N.K., Farah, O.E. Método PDCA e Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos Industriais: Um estudo de caso. XII SIMPEP – Bauru, SP, Brasil, 2005.

MEIRELES, Manuel. Ferramentas administrativas para identificar, observar e analisar problemas: organizações com foco no cliente. São Paulo: Arte & Ciência, 2001.

PEINALDO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. Administração da Produção (Operações Industriais e de Serviços). Curitiba: Unicenp, 2007. 750 p.

ROCHA, Marie Cristine Fortes. Gestão da Qualidade. Universidade Luterana do Brasil, ULBRA – Canos, RS, Brasil, 2017.

WERKEMA, Cristina. Métodos PDCA e Dmaic e suas ferramentas analíticas. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2013.

CONTROLE DE QUALIDADE DOS BLOCOS CERÂMICOS DE VEDAÇÃO DE SEIS E OITO FUROS DAS OLARIAS DO AMAPÁ

Data de aceite: 27/03/2020

Data de submissão: 03/02/2020

Daniel Santos Barbosa

IFAP - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá
Macapá - Amapá
<http://lattes.cnpq.br/4335900951940398>

Adler Gabriel Alves Pereira

IFAP - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá
Macapá - Amapá
<http://lattes.cnpq.br/1500882005341102>

Orivaldo de Azevedo Souza Junior

IFAP - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá
Macapá – Amapá
<http://lattes.cnpq.br/2869692139575635>

Ruan Fabrício Gonçalves Moraes

IFAP - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá
Macapá - Amapá
<http://lattes.cnpq.br/1796880689730675>

Paulo Victor Prazeres Sacramento

IFAP - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá
Macapá - Amapá.
<http://lattes.cnpq.br/5222175959847381>

prima básica nos canteiros de obra, em particular às alvenarias de vedação que revestem toda a edificação, sendo necessário um estudo do processo de fabricação até o produto final, para certificação de sua qualidade. O presente estudo tem como principal objetivo avaliar a qualidade de blocos cerâmicos de vedação de 6 (seis) e 8 (oito) furos produzidos em Olarias das Cidades de Macapá e Santana de acordo com as normas ABNT NBR 15270-1 e 15270-3. Foram realizados procedimentos avaliativos de identificação, caracterizações visuais, geométricas e físicas, desvio em relação ao esquadro e ensaio de planeza. Com base nos resultados, constatou-se que há necessidade de algumas olarias aperfeiçoarem seu processo de fabricação, através da aquisição de mão obra treinada, além de maquinários adequados e apropriados para confecção de peças em conformidade com o que é prescrito pela norma, para que assim aja um controle de qualidade das peças confeccionadas e comercializadas no estado.

PALAVRAS-CHAVE: Cerâmica. Olaria. Controle de Qualidade

RESUMO: Os blocos cerâmicos são matéria

QUALITY CONTROL OF THE CERAMICS BLOCKS OF SIX AND EIGHT HOLES OF AMAPÁ POTTERY

ABSTRACT: Ceramic blocks are a basic raw material in construction sites, in particular to the masonry of the fence that cover the whole building, being necessary a study of the manufacturing process until the final product, for certification of its quality. The present study has as main objective to evaluate the quality of ceramic blocks of 6 (six) and 8 (eight) holes produced in Olarias of the Cities of Macapá and Santana according to the norms ABNT NBR 15270-1 and 15270-3. Identification procedures, visual, geometric and physical characterization, deviation in relation to the square and planeza test were performed. Based on results. It was found that there is a need for some pottery to improve its manufacturing process, through the acquisition of trained labor, as well as suitable machinery suitable for making pieces in accordance with what is prescribed by the standard, so that it acts a quality control of the pieces made and marketed in the state.

KEYWORDS: Ceramics. Pottery. Quality control

1 | INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

O setor da construção civil é uns dos ramos econômicos que mais avançou nas últimas décadas no país, motivado principalmente por incentivos do governo federal, como o PAC, Programa de Aceleração do Crescimento, que impulsionou várias obras nos quatro cantos do Brasil. No entanto, com a recessão econômica que a 6ª economia mundial atravessa, houve estagnação, redução e paralisação de diversas atividades do setor. A busca pela excelência dos produtos utilizados nos canteiros de obras, sempre esteve atrelada a profissionais da área de engenharia civil e dos cursos de tecnologia voltados para construção civil. Neste cenário, têm-se os produtos cerâmicos, utilizados em grande escala neste setor, em particular, os blocos cerâmicos para vedação.

Segundo Souto (2009), a atividade cerâmica, no estado do Amapá, representa uma grande importância para o setor econômico do estado, assim como, exerce um papel social muito significativo para a população que depende desta atividade, porém incipiente, o que contribui para o não atendimento do mercado local. De acordo com dados do Ministério de Minas e Energia e da SEICOM, há 38 olarias em atividade no Estado do Amapá, distribuídas nos municípios de: Laranjal do Jari, com 7 (sete) olarias; Macapá, com 4 (quatro) olarias; Santana, com 14 (catorze) olarias; Mazagão e Oiapoque, cada município com 1 (uma) olaria.

O estudo centrou-se nos municípios de Macapá e Santana, já que as duas cidades representam 75,02% do processo produtivo, Santana com 63,91% e Macapá com 11,11% da produção e confecção de peças, entre blocos cerâmicos e telhas cerâmicas, de acordo com dados do IEPA (Instituto de Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado do Amapá). Dados do órgão expõem que Macapá produz anualmente 25.500 milheiros de peças cerâmicas, comercializando um total de R\$ 5.814.000,00 de produtos, e Santana tem uma produção anual de 38.423 milheiros de peças cerâmicas, anualmente, tendo um valor venal anual de R\$ 8.453.000,00, de materiais comercializados.

A área de concentração da pesquisa foi nos municípios de Macapá e Santana. Em Macapá coletou-se amostras de blocos cerâmicos de vedação de 6 (seis) e 8 (oito) furos, de três olarias, duas da Zona Sul de Macapá e uma do Distrito da Fazendinha. Já na última, pegou-se amostras de duas Olarias do localizadas na região do Igarapé da Fortaleza e de uma Cerâmica do Igarapé do Elesbão. A figura 1 demonstra os locais em que há fábricas de materiais cerâmicos.

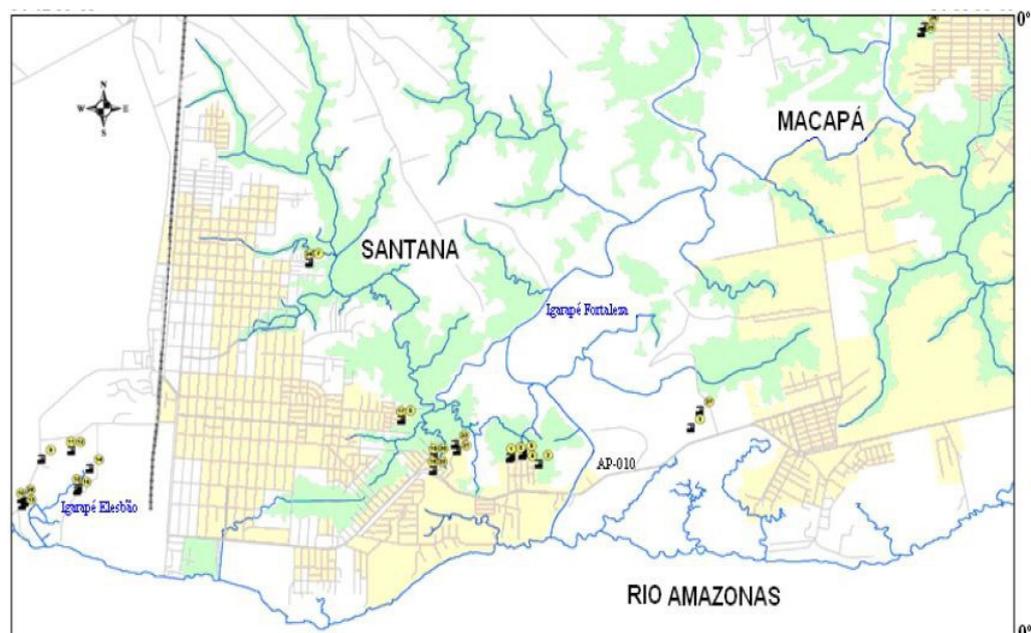


Figura 1 – Olarias nos municípios de Macapá e Santana (Setec, (2006) Apud SOUTO, (2009))

Os locais de recolhimentos das amostras dos blocos cerâmicos foram escolhidos devido a um estudo feito anteriormente por SOUTO (2009), e que abordou a caracterização da matéria prima empregada na indústria de cerâmica vermelha no estado, que através de ensaios laboratoriais feitos na Universidade Federal do Pará, comprovou a excelência dos diferentes tipos de argilas empregados neste setor e que pelas características físicas, químicas e mineralógicas presentes nas amostras, estas deveriam originar produtos cerâmicos de excelente qualidade e aplicabilidade, desde que o processo produtivo seguisse as normas de confecção

e produção vigentes.

Sendo assim, a presente pesquisa surge da necessidade da averiguação dos blocos cerâmicos de vedação de seis e oito furos, produzidos por estas olarias, e se seguem padrões de qualidade segundo a ABNT NBR 15270-3.

1.2 Justificativa

Ao analisar os dados expostos, constata-se a necessidade de trabalhos que contemplem esta temática, visto que, ainda é alto o índice de produtos confeccionados sem o devido seguimento às normas técnicas vigentes que regem a produção dos materiais oriundos da cerâmica vermelha. Ademais, dados da ANICER, Associação Nacional de Indústria Cerâmica, denotam a importância deste setor econômico, pois a indústria fatura cerca de 18 bilhões de reais por ano, com a comercialização destes produtos, além de haver 6.903 fábricas de cerâmicas espalhadas pelas cinco regiões do Brasil, gerando 293 mil empregos diretos e mais de 900 mil empregos indiretos. Outro fator importante é que os produtos cerâmicos são empregados em 90% das alvenarias e coberturas construídas no país o que faz com que a indústria da cerâmica vermelha represente 4,8% da indústria da construção civil.

Coelho; Morsch e Tahan (2014), afirmam o seguinte em relação ao não seguimento das normas técnicas que regem a confecção dos blocos cerâmicos:

“Na etapa de execução da alvenaria é possível notar a maior incidência de perdas decorrentes da falta de qualidade do material. As características geométricas e a flecha influenciam diretamente no consumo de argamassa. produzem uma irregularidade na alvenaria, que pode vir a ser um abaulamento nas faces internas ou externas da parede, decorrente da flecha; ou uma falta de prumo, provocada pela falta de padronização geométrica”. (p.36, 2014).

Percebe-se que a falta de padronização dos blocos cerâmicos de vedação empregados nas alvenarias geram onerosidade ao setor, já que o não controle de qualidade deste material gera prejuízos econômicos ao construtor e ao proprietário da obra, visto que o excesso de material empregado estará diretamente ligado ao planejamento e controle do orçamento da obra, em que, na maioria das vezes, haverá necessidade do emprego de um valor financeiro maior do que estava previsto do projeto original.

Gohmann (1998, apud COELHO; MORSCH e TAHAN, 2014), afirmou que “com quantidade de matérias e mão de obra desperdiçados em três obras, é possível a construção de outra idêntica, ou seja, o desperdício atingiria um índice de 33%”. Comprova-se com esta passagem a importância da presente pesquisa, já que, a partir do momento em que o material estudado não é confeccionado e produzido seguindo um padrão de qualidade, o reflexo é o emprego de materiais em desconformidade e que não tem garantia quanto à qualidade após a aplicabilidade. Já *Vargas et al* (1997, apud COELHO; MORSCH e TAHAN, 2014), expôs que cerca

de 30% dos blocos cerâmicos de vedação empregados numa obra se transformam em entulho.

2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fundamentação Teórica

Grande parte do mercado consumidor de cerâmica vermelha adquire o material através da empresa que oferecer o produto pelo preço mais atrativo sem levar em condição a aplicabilidade e durabilidade do material fornecido, não atentando para a qualidade destes materiais que são empregados em larga escala no setor da Construção Civil.

Há inúmeros trabalhos científicos que denotam a falta de conformidade de blocos cerâmicos com a NBR 15270, ou seja, blocos cerâmicos de vedação são confeccionados, produzidos e comercializados sem nem mesmo atenderem os requisitos mínimos de desempenho para atendimento das normas técnicas brasileiras.

[...] O consumidor comum também terá papel importante, na medida em que souber diferenciar o bom do mau produto, ou serviço, dando a ele o justo valor [...] O engenheiro responsável pela obra deve solicitar ao proprietário a contratação dos serviços de uma empresa idônea de controle de qualidade de materiais de construção civil, a qual realizará ensaios para verificação do desempenho do produto considerado tendo em conta as normas correspondentes. (BAUER, 1994)

Percebe-se com o fragmento acima a necessidade de adquirir materiais que atendam os requisitos mínimos pré-estabelecidos pelas NBR's e portarias do INMETRO que visam garantir a qualidade do material comercializado, pois a utilização de produtos que não são produzidos de acordo com a legislação vigente pode acarretar, futuramente, possíveis patologias na edificação.

A indústria cerâmica no estado do Amapá encontra-se ultrapassada do ponto de vista tecnológico. A maioria das olarias apresenta problemas: no controle de qualidade, na obediência aos requisitos do INMETRO, no desenvolvimento de novos produtos, serviços ao cliente e na busca de valor agregado. [...] No processo produtivo existe um grande potencial instalado (40 olarias), mas, com baixo rendimento (50% da demanda) somado ao desconhecimento da matéria-prima, falta de planejamento operacional, qualificação de mão-de-obra e problemas críticos nos processos de secagem e queima dos produtos. Isso provoca a entrada de produtos de outros estados (Pará, Maranhão e Piauí) causando um desequilíbrio no setor local e ocasionando uma ocorrência desleal por serem comercializados clandestinamente sem recolhimento dos impostos devidos. (SOUTO, 2009)

As afirmações no fragmento anterior denotam a urgência na adequação das empresas do setor oleiro amapaense, no seguimento à legislação vigente, que tange sobre o controle e avaliação de qualidade desse material. Assim como é inegável a

existência de um setor de fiscalização, que através de ensaios laboratoriais tenha capacidade técnica para expedir selos de qualificação às empresas que estejam dentro das normas de confecção e produção de blocos cerâmicos.

Na última década as empresas do setor da construção civil perpassaram por incontáveis mudanças e transformações, motivadas pelo crescimento econômico pelo qual o país enfrentou, sendo assim, inúmeras delas precisam destinar recursos financeiros para a padronização de seus produtos e serviços prestados, visando à qualidade do processo produtivo e de sua inovação, intuindo maior competitividade e estabilidade no mercado.

Os problemas enfrentados pelo setor cerâmico brasileiro e o seu reflexo na qualidade dos produtos disponíveis para o consumidor, existem principalmente em função da existência da não conformidade técnica. [...] O setor cerâmico depara-se ainda com o crescimento da atividade de não conformidade intencional, atividade ilegal que beneficia somente alguns fabricantes, revendedores de materiais e construtores, e prejudica os usuários finais da habitação, desestabilizando parte do mercado. (CARVALHEIRO; NARCISO; PAVAN, PILZ e RITTER, 2015).

2.2 Regulamentações Normativas

2.2.1 ABNT NBR 15270-1 - Componentes Cerâmicos Parte 1: Blocos Cerâmicos para Alvenaria de Vedação – Terminologia e Requisitos

Tem-se uma norma especificada para materiais cerâmicos, neste caso, blocos cerâmicos para alvenaria de vedação, implementada em agosto de 2005 e que fora subdividida em três partes: a primeira aborda somente a terminologia e requisitos necessários para identificação, unidade de comercialização, características visuais e “define os termos e fixa requisitos dimensionais, físicos e mecânicos no recebimento de blocos cerâmicos de vedação a serem utilizados em obras de alvenaria de vedação sem revestimento”.

É indispensável para verificação de conformidade de características visuais e de identificação de blocos cerâmicos, pois norteia como este material deve estar na hora da comercialização ou durante o recebimento na obra, pois qualquer diferenciação do que está prescrito por esta NBR pode acarretar na falta de padronização do material, o que prejudica o desempenho do mesmo após a utilização na alvenaria.

Para a realização dos Ensaios de Caracterização geométrica e mecânica, são necessários 13 corpos-de-prova, de acordo com a referida norma. A mesma recomenda que antes de ser feito o ensaio de caracterização mecânica, obrigatoriamente o grupo de amostragem necessita ter passado primeiro pelo de caracterização geométrica. A aceitação do lote, de onde se tirou os corpos-de-prova, no ensaio de característica geométrica está condicionada ao quantitativo do

número de amostras que estão em conformidade ou não, com que é recomendado pela ABNT NBR 15270-3. Durante as medições das dimensões individuais dos corpos-de-prova, os mesmos podem ter alterações de até 5 mm para mais ou para menos, como exemplo, pode-se citar um bloco cerâmico de seis furos, em que segundo a característica de identificação o mesmo deveria ter 90x140x190 mm, entretanto, a norma estabelece que essas medições podem sofrer alterações de até 5 mm, então nos ensaios de caracterização geométrica estas medidas poderiam ficar entre os seguintes valores: 85 a 95 mm; 135 a 145 mm; 185 a 195 mm. Sendo assim, as amostras que por ventura estiverem dentro dessas medições estariam em conformidade com a supracitada normatização. O lote deverá ser rejeitado se dos 13 corpos-de-prova 3 estiverem fora do que é prescrito pela norma.

Ao levar em consideração a tolerância das dimensões que estão relacionadas à média das dimensões efetivas, durante a caracterização geométrica dos corpos-de-prova, a média das medidas do grupo de amostragem, estas podem ter alterações de até 3 mm para mais ou para menos, como exemplo pode-se citar um bloco cerâmico de oito furos, em que, segundo a característica de identificação o mesmo deveria ter 90 X 190 X 290 mm, no entanto, a média das dimensões efetivas ficariam entre os seguintes valores: 87 a 93 mm; 187 a 193 mm; 87 a 93 mm. Sendo assim, as amostras que por ventura estiverem dentro dessas medições estariam em conformidade com a supracitada normatização.

2.2.2 ABNT NBR 15270-3 - Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio

Nesta parte da norma, tem-se o estabelecimento de “métodos para execução dos ensaios dos blocos cerâmicos estruturais e de vedação”. A norma prescreve como são feitos os ensaios de características geométricas, físicas e mecânicas, observando o quantitativo de corpos-de-prova a serem utilizados em cada ensaio, assim como a instrumentação e aparelhagem necessária, além do quantitativo de amostras para aprovação ou reprovação do lote de onde foram recolhidos os corpos-de-prova.

No critério de identificação, a ABNT NBR 15270-1/2005, orienta que os blocos cerâmicos precisam “trazer, obrigatoriamente, gravado em uma das suas faces externas, identificação do fabricante e do bloco, em baixo relevo ou reentrância, com caracteres de no mínimo 5 mm de altura”. Para identificar o material é necessário estar gravado a identificação da empresa que o fabricou, assim como, as dimensões de confecção do material, estas devem constar em centímetros, obedecendo a seguinte ordem: Largura (L), Altura (H) e Comprimento (C), a unidade de medida pode vir elíptica.

Para as características visuais, a supracitada norma, denota que o bloco cerâmico deve estar livre de “defeitos sistemáticos, tais como quebras, superfícies irregulares ou deformações que impeçam o seu emprego na função especificada”.

De acordo com as características geométricas, o bloco cerâmico obrigatoriamente precisa ter o formato de um prisma reto. Entende-se por características geométricas as medidas das faces ou dimensões efetivas; as espessuras dos septos e paredes externas dos blocos; o desvio em relação ao esquadro (D) e a planeza das faces (F) como exposto na figura 2.

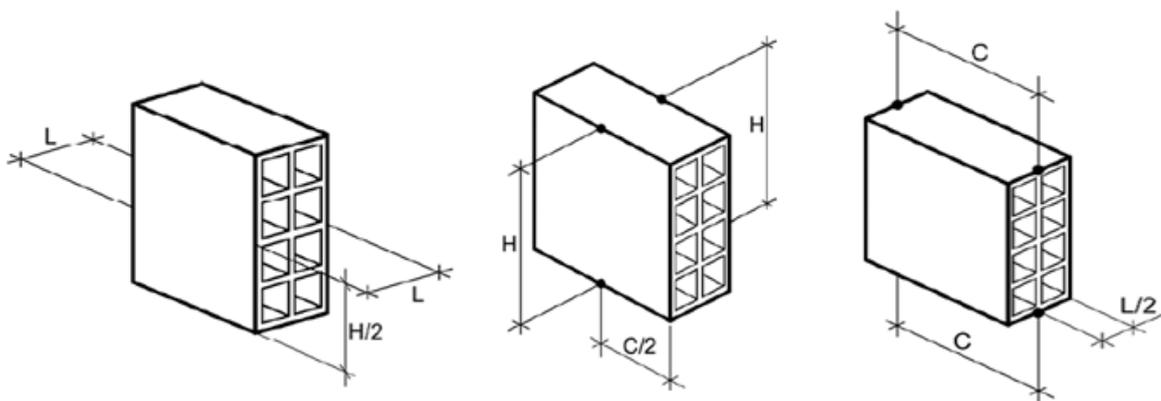


Figura 2 – Locais para medições da largura (L), Altura (H) e Comprimento (C) (ABNT NBR 15270-3 (2005))

Em relação às medidas das espessuras dos septos e das paredes externas dos blocos cerâmicos para vedação, “as medições das espessuras dos septos devem ser obtidas na região central destes, utilizando no mínimo quatro medições, buscando os septos de menor espessura”. Para a medição do desvio em relação ao esquadro, o corpo-de-prova, obrigatoriamente, tem que estar sobre uma superfície plana e indeformável, “deve-se medir o desvio em relação ao esquadro entre uma das faces destinadas ao assentamento e a maior face destinada ao revestimento do bloco,[...]”.

Na determinação da Planeza das Faces, assim como nos outros ensaios de caracterização geométrica, é de suma importância realizá-lo numa superfície plana e sem deformação, “Deve-se determinar a planeza de uma das faces destinadas ao revestimento através da flecha formada na diagonal[...]”.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Recolhimento do Grupo de Amostragem

Das olarias A-a, B-b e C-c, foram colhidas 23 amostras de blocos cerâmicos para alvenaria de vedação, de 6 (seis) e 8 (oito) furos na horizontal, para as olarias

D, E e F, coletou-se o mesmo quantitativo de amostras, porém apenas blocos de 6 (seis) furos na horizontal. Não foi possível recolher amostras de 8 (oito) furos visto que na área de concentração da presente pesquisa somente as Olarias supracitadas confeccionam e fabricam blocos de 8 (oito) furos.

Das amostras recolhidas, foram utilizados 13 (treze) corpos-de-prova, de cada olaria, para realização dos ensaios de características geométricas e mecânicas, assim como, procurou-se averiguar a identificação e as características visuais dos materiais analisados. Já para o ensaio de características físicas, utilizaram-se 6 (seis) corpos-de-prova, de cada olaria, como recomendado pela norma, ou seja, do total de corpos-de-prova recolhidos, foram utilizados 19 (dezenove) de cada olaria sendo que 4 (quatro) restantes foram guardados para caso fosse necessário substituir algum durante o tempo da pesquisa.

3.2 Procedimentos Adotados para Realização dos Respectivos Ensaios

Os corpos de prova foram armazenados no laboratório de edificações do IFAP (Instituto Federal do Amapá), em local seco, para preservar as características originais das amostras. Após o recebimento dos corpos de prova de cada olaria, as amostras foram limpas e tiveram as rebarbas aparadas, como prescrito na NBR 15270-1. O passo seguinte foi a identificação do fabricante e das informações contidas nos blocos-cerâmicos, tanto da empresa que o fabricou quanto das dimensões dos mesmos.

Após o recolhimento dos dados em relação à identificação do material estudado, seguindo a regulamentação normativa, efetuou-se a caracterização visual. Com este ensaio pretendeu-se averiguar se a amostragem possuía algum tipo de alteração que pudera vir a prejudicar a aplicação do bloco cerâmico para vedação na alvenaria, por isso, etapa importante para analisar minuciosamente a presença de fissuras, trincas, quebras, boleamentos, etc.

Depois da identificação e da caracterização visual, partiu-se para a caracterização geométrica que ocorreu, em uma primeira etapa, no Laboratório de Edificações do IFAP e em uma segunda etapa no Laboratório de Engenharia de Produção da UEAP. Nesta etapa foi fundamental a realização dos ensaios em uma superfície plana e indeformável. Para a caracterização geométrica foram usados 13 amostras de cada olaria.

3.3 Instrumentação e Aparelhagem

A aparelhagem utilizada durante a realização dos ensaios de determinação das características geométricas foram dois paquímetros com sensibilidade mínima de 0,05 mm, um de 200 mm (da marca ZAAS Precision) e outro de 700 mm (da

marca SUNNY), uma régua metálica com sensibilidade mínima de 0,5 mm (da marca RAMADA ferramentas) e um esquadro metálico de $90 \pm 0,5^\circ$ (da marca RAMADA ferramentas). As medições ocorreram numa superfície plana e indeformável. Os ensaios das Olarias A-a; B-b e C-c, foram realizados no Laboratório do Instituto Federal do Amapá – Campus

Macapá. Já os ensaios das olarias D, E e F, foram realizados no Laboratório de Engenharia de Produção da Universidade do Estado do Amapá.

Para o Ensaio de Caracterização Física foram utilizados 6 (seis) corpos de prova de cada Olaria, sendo limpos e aparadas as rebarbas. Usou-se uma balança de precisão de 5 Kg e uma estufa com temperatura ajustável a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$, e um recipiente com medições apropriadas para imersão dos blocos em temperatura ambiente durante 24 horas. Os corpos-de-prova foram primeiramente postos na estufa, em seguida mergulhados num recipiente em temperatura ambiente por 24 horas, para em seguida serem pesados novamente. Foram colocados na estufa para retirada do excesso de saturação para que finalmente fossem pesados, e pudessem ser indicados o índice de absorção de água, a massa saturada e massa seca dos blocos, como prescrito pela NBR 15270-3.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Identificação

Em relação à identificação, a maioria das olarias trazia em alto relevo ou reentrância a empresa confeccionadoras das peças, assim como as dimensões dos blocos cerâmicos, com respectivas Largura (L), Altura (H) e Comprimento (C), e toas as dimensões vinham escritas em centímetros, como determina a Norma. A única olaria que não tinha gravado em nenhuma das faces de seus blocos cerâmicos algum tipo de identificação foi a Olaria F, não estando em conformidade com a ABNT 15270-1, pois não trazia nenhuma informação sobre a fabricação e as medições dos blocos de seis furos comercializados por ela.

4.2 Caracterização Visual

A caracterização visual mostrou que todas as seis olarias que comercializam blocos cerâmicos de vedação de seis furos apresentavam quebras, superfícies irregulares, ranhuras, rachaduras, com maior incidência nas olarias C, E e F. Já nos blocos cerâmicos de oito furos, os produtos comercializados pelas três empresas analisadas apresentavam algum tipo de avaria, com maior incidência na Olaria C.

Assim, as características visuais observadas nas amostras, poderiam vir a

impedir a aplicação, o emprego e o próprio desempenho do material na função especificada. Constatou-se que as olarias A-a e B-c, detiveram um menor quantitativo de blocos com algum tipo de deformidade oriunda do processo de confecção e produção das peças, pois ambas as empresas possuem uma cadeia produtiva bem mais organizada e amparada do ponto de vista tecnológico. Na olaria A-a, o controle de qualidade é feito por um Técnico em Segurança do Trabalho, em um minilaboratório montado próximo a sede administrativa para minimizar a desconformidade das peças fabricadas e revendidas. Já a Olaria B-b, tem um funcionário que apesar de não ter nenhuma formação técnica, detém uma gama acentuada sobre produtos cerâmicos, incluindo processo de produção e as portarias e normas que regem a fabricação e confecção.

Já nas outras olarias a presença de deformações oriundas do processo de fabricação das peças é bem perceptível num grau acentuado. Na Olaria F, algumas peças se desintegravam num simples manuseio. Nas outras olarias (C-c; D e E) o principal defeito foram as trincas, ranhuras e quebras, problemas estes que podem vir a interferir na qualidade e desempenho da aplicação e emprego do material.

4.3 Caracterização Geométrica e Física

Para os ensaios geométricos e físicos, as amostras foram limpas, secas e tiveram as rebarbas retiradas e em seguida postos em uma superfície plana e indeformável. O transporte das peças fora feito de forma a garantir que as características físicas das mesmas não sofressem nenhum tipo de alteração. Ao analisar os dados obtidos após o término do ensaio que precisou a mediação individual dos blocos cerâmicos de seis e oito furos, obteve-se um resultado insatisfatório, pois neste quesito, todas as Olarias pesquisadas foram reprovadas, o que só vem confirmar, as afirmações feitas por Souto (2009), que é incipiente o processo produtivo neste segmento econômico no estado do Amapá, assim como, constata-se a ausência de conhecimentos técnicos no processo produtivo, no acondicionamento e manuseio dos blocos cerâmicos. A tabela 1 apresenta as dimensões individuais das amostras por olaria.

OLARIA	Quantidade de Corpos-de-prova desconforme com base na ABNT NBR 15270-1/2005 em relação a			Aprovação ou Reprovação do Lote
	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)	
A	0	0	4	Reprovado
B	0	4	1	Reprovado
C	0	2	8	Reprovado
D	0	10	3	Reprovado
E	6	4	12	Reprovado
F	5	4	12	Reprovado

a	0	13	0	Reprovado
b	1	0	3	Reprovado
c	0	3	0	Reprovado

Tabela 1 – Tolerâncias Dimensionais Individuais

Já os resultados das médias das dimensões efetivas, apresentados na tabela 02, mostram que nenhuma amostra atendeu ao exigido na norma, o que demonstrando a falta de fiscalização do poder público, assim como a necessidade de estudos que enfoquem esta temática, pois, como já fora exposto anteriormente, a falta de qualidade dos produtos cerâmicos geram uma alta onerosidade para o mercado consumidor.

OLARIA	Valor Médio da Largura (L)	D.P.	Valor Médio da Altura (H)	D.P.	Valor Médio do Comprimento (C)	D.P.	Aprovação ou Reprovação do Lote
A	90,64	0,64	139,92	0,08	195,71	5,71	Reprovado
B	89,30	0,70	135,62	4,37	185,37	4,62	Reprovado
C	87,88	2,12	136,38	3,62	184,23	5,77	Reprovado
D	86,82	3,18	133,80	6,20	186,35	3,64	Reprovado
E	84,84	5,16	138,87	4,12	183,26	6,73	Reprovado
F	85,05	4,95	135,61	4,39	183,09	6,91	Reprovado
a	87,80	2,20	183,81	6,18	287,78	2,11	Reprovado
b	86,68	3,32	189,65	0,35	285,66	4,33	Reprovado
c	88,02	1,98	195,87	5,87	291,05	1,05	Reprovado

Tabela 02 – Tolerância Dimensionais Relacionadas à Média das Dimensões Efetivas

Em relação às medições dos septos e paredes externas, responsáveis pela resistência mecânica do material, todas as Olarias também foram reprovadas. Quanto menor for a espessura dos mesmos menor é a resistência mecânica do bloco empregado na alvenaria precisaria suportar. A tabela 03 mostra as espessuras dos septos e paredes externas das amostras por olaria.

OLARIA	Quantidade de Corpos-de-prova desconforme com base na ABNT NBR 15270-1/2005 – Espessura dos Septos e Paredes Externas do Bloco Cerâmico			
	Septo	Aprovação ou Reprovação do Lote	Parede Externa	Aprovação ou Reprovação do Lote
A	13	Reprovado	13	Reprovado
B	12	Reprovado	11	Reprovado
C	13	Reprovado	13	Reprovado
D	12	Reprovado	13	Reprovado

E	9	Reprovado	13	Reprovado
F	13	Reprovado	13	Reprovado
a	12	Reprovado	13	Reprovado
b	13	Reprovado	13	Reprovado
c	11	Reprovado	13	Reprovado

Tabela 03 – Espessura dos Septos e Paredes Externas

Ao fazer a análise dos dados obtidos com as características geométricas do desvio em relação ao esquadro, obtiveram-se apenas dois resultados que não estão em conformidade com o que é prescrito pela norma. Apenas as olarias b (Calandrini) e c (Paraense), que comercializam blocos cerâmicos de vedação de oito furos, apresentaram resultados insatisfatórios. Estes desvios estão intimamente relacionados com a falta de prumo da alvenaria, o que segundo Coelho; Morsch e Tahan (2014) aumenta em 8% o gasto financeiro com revestimento para minimizar estas falhas oriundas do processo produtivo.

OLARIA	Quantidade de corpos-de-prova desconforme com base da ABNT NBR 15270-1/2005 – Desvio em Relação ao Esquadro	Aprovação ou Reprovação do Lote
A	0	Aprovado
B	0	Aprovado
C	0	Aprovado
D	0	Aprovado
E	0	Aprovado
F	0	Aprovado
a	0	Aprovado
b	4	Reprovado
c	7	Reprovado

Tabela 04 – Desvio em Relação ao Esquadro (D)

Sobre a planeza das faces, os resultados demonstraram que todas as amostras passaram no critério de planeza e flecha e estiveram em conformidade com a norma. A tabela 05 apresenta os resultados dos testes de planeza das faces ou flechas.

OLARIA	Quantidade de Corpos-de-prova desconforme com base na ABNT NBR 15270-1/2005 – Desvio em Relação a Planeza das Faces	Aprovação ou Reprovação do Lote
A	0	Aprovado
B	0	Aprovado
C	0	Aprovado
D	0	Aprovado
E	0	Aprovado
F	1	Aprovado
a	0	Aprovado
b	0	Aprovado
c	2	Aprovado

Tabela 05 – Planeza das Faces ou Flecha (F)

4.4 Caracterização Física

Neste ensaio, precisam-se constar as massas saturadas e secas de todos os corpos-de-prova, além da diferença entre as mesmas, para que se possa verificar o quanto de água é absorvido pelo bloco cerâmico. Esta análise é de suma importância, pois tem relação direta com a fixação de matérias que irão revestir a alvenaria, o excesso de absorção assim como a ausência da mesma é prejudicial para o desempenho de emprego de materiais de revestimento na parede.

Ao analisar os dados obtidos, apenas a Olaria A, que comercializa tijolos de 8 furos, foi reprovada no teste, pois das 6 amostras estudadas de forma individual 5 delas tiveram uma absorção de água abaixo de 8%. Já as outras olarias mantiveram uma absorção de água individual de 11% até 20%. Já na média ponderada, apenas a Olaria A não teve um resultado satisfatório, pois o índice de absorção ficou abaixo do que é prescrito pela norma. A figura 3 apresenta os resultados de absorção dos blocos por olaria.

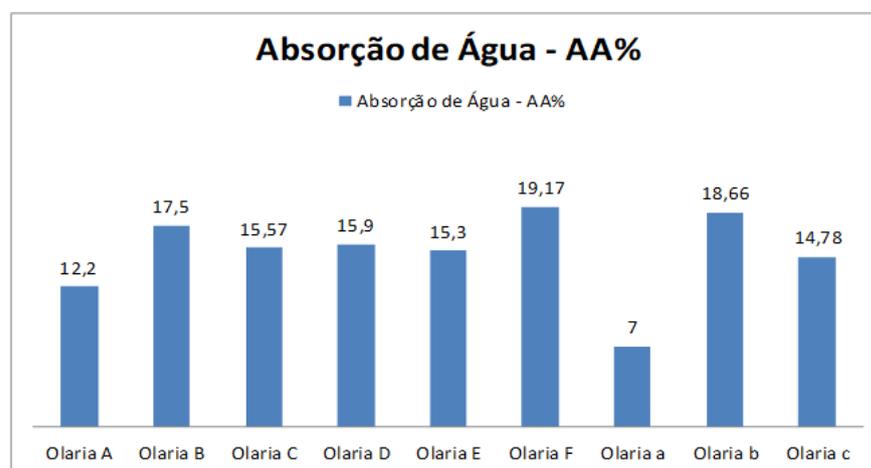


Figura 3 – Média Ponderada do Índice da Absorção de Água

Na figura 4 é possível observar a média de determinação de massa seca e de massa saturada das amostras.

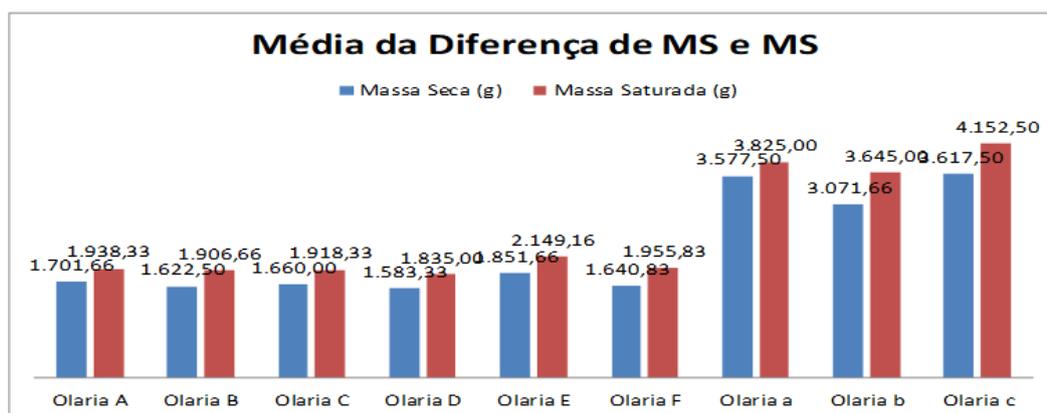


Figura 4 – Média Ponderada da Diferença de Massa Seca e Massa Saturada

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a presente pesquisa pode-se perceber que a indústria cerâmica no estado do Amapá, em particular nos municípios de Macapá e Santana, ainda se apresenta rudimentar, do ponto de vista tecnológico e técnico, verificado nos resultados dos ensaios laboratoriais. Percebeu-se que algumas olarias utilizam maquinários ultrapassados do ponto de vista tecnológico, além de não haver conhecimento técnico apropriada dos funcionários durante o processo de confecção de peças. Das seis Olarias pesquisadas apenas as olarias A-a e B-b possuem o processo mecanizado e tentam seguir as normas da legislação vigente, quando se trata do controle de qualidade. As demais, durante o processo produtivo, confeccionaram e fabricaram peças cerâmicas de modo artesanal, em particular as Olarias D, E e F em que é perceptível a maneira rudimentar do processo de confecção, produção e armazenamento das peças. Por isso é necessária fiscalização por parte dos órgãos regulamentadores para que o setor oleiro amapaense possa fornecer produtos de qualidade ao mercado consumidor. Sendo assim, se faz necessário que órgãos como IEPA e SEICOM, façam testes laboratoriais a cada 6 e/ou 12 meses, utilizando como parâmetro de testes as portarias 558 e 658 do INMETRO assim como as NBR 15270, com o intuito de melhorar o processo produtivo do setor oleiro além de criar um selo de qualidade para as cerâmicas que seguem estas normas, como já ocorre em estados das regiões sul, sudeste e centro-oeste.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR: 15270 - 1: Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos**. Rio de

Janeiro, p. 15. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270 - 3: Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, p. 33. 2005.

COELHO, M. E. B.; MORSCH, I.Y.T e TAHAN, G. **Impactos Causados pela Não Conformidade de Blocos Cerâmicos.** 2014, 109f. (Trabalho de Conclusão de Curso em Bacharelado em Construção Civil) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2014.

FALCÃO BAUER, L.A. **Materiais de Construção: Novos materiais Para Construção Civil.** Vol.II. 5.ed. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2001.

GROHMANN, M. Z. **Redução do desperdício na construção civil: levantamento das medidas utilizadas pelas empresas em Santa Maria.** In: **Encontro Nacional de Engenharia de Produção.** Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Niterói. 1998.

PILZ, S.E.; PAVAN, R.C. ; RITTER, M.G. ; CAVALHEIRO, E.K. ; NARCISO, M.V. . **Verificação da Qualidade dos Blocos Cerâmicos Conforme NBR 15270 Comercializados em Santa Catarina.** Revista de Engenharia Civil IMED, v. 2, p. 19-26, 201

POSSES, I. P. Das. **Caracterização Tecnológica de Blocos Cerâmicos de Alvenaria de Vedação Produzidos por Empresas Cerâmicas do Estado do Espírito Santo.** 2013, f150. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, 2013.

SOUTO, F.A.F. A **Avaliação das Características Físicas, Químicas e Mineralógicas da Matéria-prima Utilizada na Indústria de Cerâmica Vermelha nos Municípios de Macapá e Santana- Ap.** 2009, 103f. (Dissertação de Mestrado em Ciências Geoquímica e Petrologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 2009

STRAGLIOTTO, A.; SAGRILO, B. DA S.; FERNANDES, F.A.S. **Avaliação dos Requisitos Dimensionais, Físicos e Mecânicos Exigíveis no Recebimento de Blocos Cerâmicos de Vedação a Serem Utilizados em Obras de Alvenaria na Cidade de Palmas de acordo com a NBR 15270-1.** 60º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Águas de Lindóia, 2016.

REAPROVEITAMENTO DE TOPSOIL COMO MEDIDA DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Data de aceite: 27/03/2020

José Roberto Moreira Ribeiro Gonçalves

Mestrado Acadêmico em Engenharia Agrícola e Ambiental pela

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ, BRASIL

Docente, UNISUAM, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Jose robertoverde@gmail.com

Fabiano Battemarco da Silva Martins

Mestrado Acadêmico em Engenharia Agrícola e Ambiental pela

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ, BRASIL

Docente, USU, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

fabianobattemarco@gmail.com

Ronaldo Machado Correia

Graduando em Engenharia Civil pelo

Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM) RJ, BRASIL ronaldo.projetosconstru@gmail.com

RESUMO: O mercado de construção civil vem inovando nos métodos de execução de obras, adicionando tecnologia cada vez mais em seus processos, com isso, o país desenvolve-se e cria uma nova perspectiva do mercado. Com os enormes desafios de desenvolvimento também deve-se considerar a questão ambiental. Pois observa-se a necessidade de desenvolver novos

métodos que trabalhem em prol da preservação ambiental e que minimizem os impactos causados consciente ou inconscientemente pelo homem. Dentre muitas obras que interferem no meio ambiente, será apresentado a construção de rodovias que apresentam quantidades consideráveis de movimentação de metros cúbicos de camada superficial do solo (topsoil) para sua execução, em seu início faz-se necessário a retirada da camada superficial do solo em torno de 30 cm de espessura e posteriormente o reaproveitamento do mesmo em áreas degradadas como especifica as normas, gerando com este reaproveitamento diversos benefícios, quando aplicados corretamente.

PALAVRAS-CHAVE: Topsoil, Reaproveitamento, Camada fértil do solo, Áreas degradadas, Estradas, Rodovias.

REDUCTION TOPSOIL RECOVERY AS A MEASURE FOR RECOVERY OF DEGRADED AREAS

ABSTRACT: The construction market has been innovating in the methods of execution of works, adding more and more technology to its processes, with this, the country develops and creates a new perspective of the market. With the enormous challenges of development,

we must also consider the environmental issue, as new methods that work towards environmental preservation and that minimize the impacts caused consciously or unconsciously by man should be developed. Among many works that interfere with the environment, the construction of highways with considerable amounts of movement of cubic meters of topsoil for its execution will be presented, in its beginning it is necessary to remove the topsoil around 30 cm thick and later its reuse in degraded areas as specified by the standards, generating with this reuse several benefits, when applied correctly.

KEYWORDS: Superficial soil, Reuse, Fertile soil layer, Degraded areas, Roads Highways.

1 | INTRODUÇÃO

Em meio aos fatores que afetam o Brasil encontram-se caracterizadas as diversas falhas de desenvolvimento em sistemas de rodovias, ferrovias e de outras formas de transportes, utilizadas para transporte dos principais produtos da mesa do consumidor, tornando o país menos competitivo junto ao mercado internacional e; conseqüentemente, com crescimento limitado do PIB – Produto Interno Bruto.

Existem alguns métodos na construção civil que interferem no meio ambiente por meio de pequena, média ou elevada movimentação de metros cúbicos de solo, um bom exemplo desta alteração é por meio de construção de rodovias, formando áreas de corte e aterro, o que pode causar grandes impactos, incluindo o aumento da erosão do solo e deposição de sedimento, a alteração da estrutura da vegetação, a introdução de espécies exóticas, a fragmentação de habitats e a diminuição da qualidade ecológica e estética da região (Petersen *et al.*, 2004).

Todos os projetos para introdução de rodovias, para que possam ocorrer, necessitam de estudos de viabilidade do percurso (trajeto), para verificar sua viabilidade econômica, se cumprem os preceitos ambientais e legais e se foram projetados de forma a minimizar os impactos sociais e ambientais dos empreendimentos, além dos licenciamentos ambientais específicos para cada atividade, como por exemplo, o licenciamento para utilização de água (outorgas), de canteiro de obras, supressão vegetal e de jazidas minerais (saibro).

Ao se implantar uma rodovia, por exemplo, estudos indicarem profundidade de coleta de 10 cm (Rokich *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2001; Nave, 2005; Viani *et al.*, 2006), porém, em alguns casos faz se necessário a remoção do topsoil (camada superficial) na faixa de 30 cm para que o projeto seja executado com reajustes construtivos dentro dos padrões técnicos, para viabilização do estudo, apesar da diminuição do banco de sementes pela dificuldade de germinação (Bekker *et al.*, 1998; Rokich *et al.*, 2000). Posteriormente são acrescentadas camadas de outros

materiais específicos para a boa conclusão do projeto, tais como brita e saibro. E por assim serem utilizadas, são nomeadas de camadas base, sub-base, leito e sub-leito. Assim, utiliza-se nas primeiras etapas o saibro compactado para servir como bases estruturais para outras camadas que venham após esta, até a finalização com a chegada da pavimentação.

O solo ao ser removido por máquinas tende a se misturar com a camada vegetal existente e isto também acontece com as jazidas de saibro, o que torna esse solo residual apto a utilização em terraplenagem. Ressalta-se ainda que na terraplenagem também será necessária definição de processos de recuperação ambiental posteriormente. É necessário destacar a extrema importância de se utilizar este material removido, em locais degradados que sofreram ações antrópicas, por conter em sua estrutura toda a fertilidade daquele solo, além de sua fauna e serapilheira.

Normalmente o órgão governamental é o que contrata e que fornece a licença para a realização da obra. Nos manuais fornecidos por ele para a realização da obra sugere que o topsoil retirado por decapeamento deverá ser posto ao longo dos trechos da obra, para depois ser utilizado e aplicado seu aproveitamento em áreas degradadas. Ao aplicarmos o aproveitamento de material mineral saibroso (jazidas) notamos os mesmo pontos observados neste manual para a camada superficial. A escassez de métodos descritos como exemplos a serem seguidos para melhor condicionamentos deste material gera um desacordo com o que vem descrito nos manuais (mesmo estando como exigências legais) com o que realmente fazem no campo pois o material normalmente postos uns sobre os outros de qualquer maneira durante o decorrer de implantação da rodovia torna todo o trabalho de recuperação defeituoso por proporcionar perdas das características daquele solo por ação da chuva e sol agindo diretamente sobre este material, causando perdas em suas propriedades biológicas e químicas perdendo aos poucos sua qualidade e impossibilitando a atividade fim de reaproveitamento com êxito em áreas degradadas.

A criação de uma metodologia de condicionamento pode manter a qualidade das propriedades químicas e biológicas do topsoil, potencializando os processos de recuperação pelo fato de o mesmo carregar consigo as propriedades originais daquele solo, além da sua fauna edáfica, possibilitando a redução de custos com insumos químicos. Pondo a atividade fim em um patamar de exemplo que deu certo e incentivando o desenvolvimento sustentável.

2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O solo pode ser chamado de um manto superficial formado por rocha desagregada misturada com matéria orgânica em decomposição, contendo ainda,

água e ar em proporções variáveis e organismos vivos, que são formados por alguns fatores contribuintes como microrganismos, vegetação, relevo e idade. Sua porção orgânica, composta em torno de 5% de matéria orgânica, exerce importante função na produção de húmus (Braga *et al.*, 2005).

A camada mais superficial do solo, que contém o horizonte A e parte do horizonte B, é chamada de topsoil, rica em húmus (Tacey & Glossop, 1980; Ricklefs, 2012). A mesma contém além de matéria orgânica, nutrientes e microrganismos, o banco de sementes florestal, composto por sementes viáveis, em estado de dormência primária ou secundária, presentes na superfície ou interior do solo (Braga, 2008), podendo ser uma fonte valiosa de sementes de espécies nativas (Carrol & Ashton, 1965; Rokich *et al.*, 2000). A movimentação de solo, conhecida como o uso do topsoil, deslumbra à base do solo com a sua totalidade de fauna/flora (Oliveira et Al., 2017).

Dentre os meios de reestabelecer a integridade de locais degradados, está a utilização do topsoil que carrega consigo os nutrientes originais, bem como a matéria orgânica e a fauna edáfica, além do banco de sementes, em sua maioria, pioneiras que em conjunto com o solo orgânico possam promover melhorias nas condições da área a ser recuperada, criando condições para o desenvolvimento de outras espécies (Denslow & Gomes-Dias, 1990).

Atualmente, os manuais de recuperação de áreas degradadas do (IBRAM, 1992) e do (IBAMA, 1990), recomendam o uso do topsoil na prática de recuperação de áreas degradadas, que consiste em sua retirada para armazenamento para que seja posteriormente utilizado nos processos de recuperação após o fim das atividades (Tacey & Glossop, 1980). Apesar das recomendações dos diversos manuais técnicos, poucos são os estudos que descrevem experimentos de utilização do topsoil em recuperação de áreas degradadas no Brasil (Moreira, 2004; Viani et al., 2005).

A natureza genética do material introduzido pode influenciar profundamente no comportamento dos indivíduos, os quais podem afetar a dinâmica futura de toda a comunidade implantada (Kageyama, 2003).

Todos os ecossistemas estão sujeitos a distúrbios naturais que promovem mudanças em maior ou menor grau. O processo de sucessão pode iniciar-se em habitats recém-formados (sucessão primária) ou em habitats já formados (sucessão secundária). O tempo necessário para uma sucessão ocorrer de um habitat perturbado até uma comunidade clímax varia com a natureza do clima e a qualidade do solo (Odum, 1997).

De maneira geral, o processo de sucessão acontece com maior facilidade quando existe disponibilidade de propágulos e condições ambientais adequadas para suportar as plantas estabelecidas a partir da chuva de sementes ou pelo banco

de sementes do solo (Rodrigues & Gandolfi, 2006).

Dentre as vantagens da utilização do banco de sementes na recuperação de áreas degradadas está o reestabelecimento do local antropizado a partir dos elementos do próprio ecossistema, pelas espécies preexistentes anteriores à alteração do ambiente (Souza et al., 2006).

2.1 Desenvolvimento do conceito de benefícios da utilização

Os locais que tiveram sua cobertura vegetal e fauna destruídas com a retirada da camada fértil do solo, por ações realizadas pelo homem, como por exemplo, a construção civil com suas construções de rodovias, aterros, terraplenagem, entre outro, define exemplos de áreas degradadas que necessitam ser reestruturados (IBAMA, 1990).

Ao ser proposto o armazenamento para posterior utilização, deve-se ter cuidado com as características existentes naquele solo, para que não venha se perder a rica diversidade e sua forte estrutura, mas para isso acontecer demanda tempo e dinheiro, um bom exemplo de gastos vem através da distância média de transporte (DMT), pois quanto maior a distância que o solo é transportado para o local de armazenamento/utilização maior será o gasto. Existem outros exemplos como o local de armazenamento, a constante movimentação deste solo como sugere os manuais de conservação do topsoil entre outros diversos. Conforme (Garwood, 1989), a renovação natural destaca-se por sua missão essencial no ganho da sustentabilidade do controle florestal, sendo apreciado o mais econômico para recobro de áreas degradadas.

A produção e decomposição da serapilheira são utilizadas como indicadores de restauração em projetos de recuperação de áreas degradadas (Arato et al., 2003) que com a utilização do topsoil na reintrodução da cobertura vegetal, incrementa a biodiversidade (IBAMA, 2011), proporcionando a germinação de sementes pioneiras e secundárias iniciais dormentes presentes no banco de sementes que compõe essa área (Ferreira *et al.*, 1997).

O reaproveitamento proporciona retorno maior do que é investido, pois com a reestruturação da área degradada tem se melhorias em diversas áreas, tais como: Fauna e flora, na estética da região, no clima devido a reestruturação da vegetação naquela área, no bem estar da população que utiliza direta ou indiretamente a região recuperada. Dando como resultado um benefício socioambiental, que acaba estimulando a preservação e dá exemplo a futura geração.

2.2 Meios essenciais para medir o resultado de restauração em programa de recuperação de áreas degradadas

Liteira, Serapilheira ou manta morta é composta pela matéria solta no solo, esta que possui sementes de plantas de caules rasteiros e lugares que contém muitos arbustos. Esta matéria preserva a camada superior do solo dos raios provenientes do sol, preservando a quantidade de vapor de água, o que, por conseguinte, geram boas circunstâncias a evolução das plantas e da fauna nele contidas, sendo próprio para ser utilizado no reflorestamento de áreas degradadas (IBAMA, 1990).

A geração de manta morta cresceu com o passar do tempo. O valor de decomposição da manta morta é de 0,54 dados referentes com cinco anos; com um ano a mais nestes já citados, passa para 0,60 e 0,58 com sete anos. O mínimo tempo médio de restauração e o tempo mínimo primordial para a decomposição de 50% e 95% da manta morta notada com seis anos no talhão.

A decomposição e produção da manta morta são usadas como meios essenciais para medir o resultado de restauração em programas de recuperação de áreas degradadas (Arato et al., 2003), com o uso de topsoil adiciona-se o restabelecimento da presença da fauna assim como o melhoria da flora da área (IBAMA, 2011), proporcionando a germinação de sementes pioneiras e secundárias iniciais dormentes presentes no banco de sementes que compõe essa área (Ferreira et al., 1997).

Ao se realizar um programa de reaproveitamento do topsoil em áreas degradadas pode-se obter uma lista em artigos, livros, entre outros, de onde e como utilizar tais recursos, devendo-se considerar cada detalhe, levando em consideração cada estudo minuciosamente para ter-se eficácia como produto final. Considerando assim, a forma como deve-se retirar o topsoil, a espessura da camada, como está sendo acondicionado (em local aberto a intempéries ou fechado), se o clima está ou não favorável, e outros fatores não só químicos e biológicos mas também econômicos.

Segundo BRASÍLIA AMBIENTAL (2013) os locais para deposição do topsoil, seu processo e as demais etapas a serem realizadas, deverão ser fornecidos pelo responsável da retirada do material, este que deverá apresentar datas de desmatamento e posteriormente da deposição do topsoil, dando preferência para deposição do material a extensões ou superfícies de escoamento de um rio central e seus afluentes que estejam próximas do local de retirada. Deve-se destinar o topsoil com o intuito de reaproveitamento observando a topografia da área de aplicação com declividade de no máximo 3%, dando preferência as áreas degradadas por ação de mineração, áreas com solo frágil devido ausência de vegetação (solo exposto) e locais que contenham plantas invasoras (gramíneas exóticas) que não possuam

regeneração natural (BRASÍLIA AMBIENTAL, 2013). Com o reaproveitamento pode-se considerar um grau elevado de preservação, economia de material e desenvolvimento de métodos que fundamentam-se em preservação ambiental e social, restabelecendo assim, a fauna e flora do local inicialmente degradado e elevando o grau de conhecimento de profissionais sobre tais métodos.

Para melhor entendimento, deve-se levar em consideração o ciclo de reaproveitamento do topsoil, que consiste em etapas mínimas a serem executadas e seus benefícios como demonstra a figura abaixo.

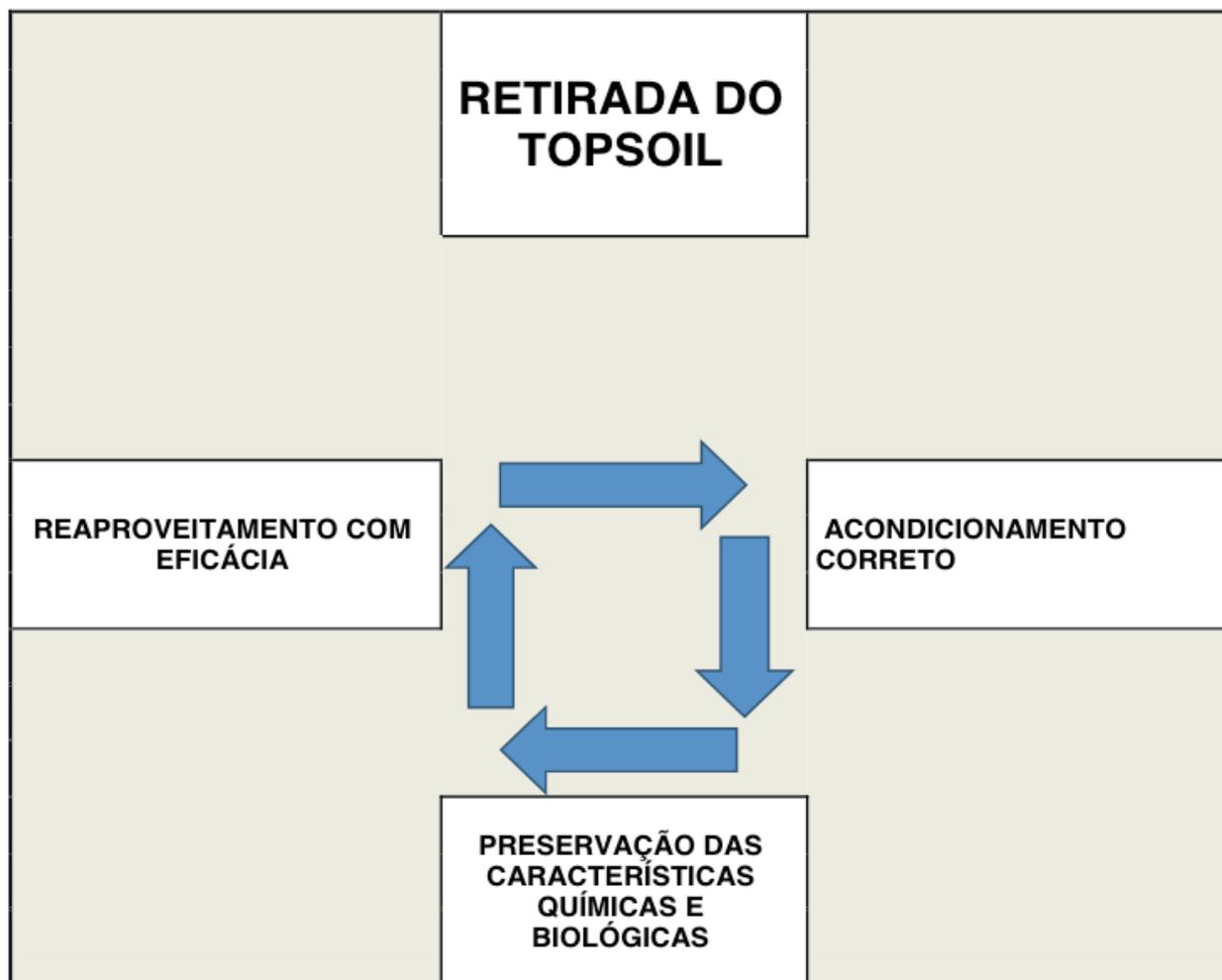


Figura 1. Ciclo do reaproveitamento do topsoil.

Fonte: Autor próprio.

3 | CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o estudo proposto resulta em disponibilizar elementos para a escolha do melhor método de reaproveitamento do topsoil removido dos processos de decapeamento, para construção de obras, concedendo a preservação de suas propriedades químicas e biológicas para posteriormente serem utilizadas em processos de recuperação das áreas degradadas impactadas pelas próprias

construções.

REFERÊNCIAS

ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. S. **Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG.** Revista Árvore, v.27, p.715-721, 2003.

BEKKER, R.M., BAKKER, J.P., GRANDIN, U., KALAMEES, R., MILBERG, P., POSCHLOD, P., THOMPSON, K., WILLEMS, J.H.. **Seed size, shape and vertical distribution in the soil: indicators of seed longevity.** Functional Ecology, 12: 834-842, 1998.

BRAGA, A. J. T.; GRIFFITH, J. J.; PAIVA, H. N.; MEIRA NETO, J. A. A. **Composição do banco de sementes de uma floresta semidecidual secundária considerando o seu potencial de uso para recuperação ambiental.** Revista Árvore, Viçosa, v.32, n.6, p.1089-1098, 2008.

BRAGA, B. et al. (2005). **Introdução à Engenharia Ambiental. O desafio do desenvolvimento sustentável.** 2ª Edição. Prentice Hall Brasil. São Paulo/SP. p.126-130.

DENSLOW, J.S.; GOMEZ DIAS, A. E. **Seed rain to tree-fall gaps in a neotropical rain forest.** Canadian Journal of Forest Research, 20: 642-648, 1990.

FERREIRA, C. A G. et al. **Reabilitação de áreas mineradas de bauxita no planalto de Poços de Caldas, MG.** In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3., 1997, Ouro Preto. Trabalhos voluntários MG: SOBRADE/UFV-DPS/DEF, 1997. p.27-35.

GARWOOD, N. C. **Tropical soil seed banks: a review.** In: LECK, M. A.; PARKER, T. V.; SIMPSON, R. L. (eds.). Ecology of soil seed banks. New York: Academic Press. 1989. p. 49210.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. **Mineração e Meio Ambiente.** Brasília, 1992. 111 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação.** Brasília: 1990. 94-96P.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. Instrução Normativa nº 4: **Elaboração De Projetos De Recuperação De Áreas Degradadas,** 2011.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS DO DISTRITO FEDERAL – BRASÍLIA AMBIENTAL. Instrução nº 174: **Correta utilização e destinação final do topsoil oriundo de supressão de vegetação nativa no Distrito Federal,** 2013.

KAGEYAMA, P.Y. **Reflexos e potenciais da resolução SMA-21 de 21/11/2001 na conservação da biodiversidade específica e genética.** 2003p. 7-12. In: Seminário Temático sobre Recuperação de Áreas Degradadas: Avanços obtidos e perspectivas futuras. Anais...São Paulo, 165p.

MOREIRA, P. R. **Manejo de solo e recomposição da vegetação com vistas a recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxita, Poços de Caldas, MG.** 2004. 139p. Dissertação (Doutorado em Biologia) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2004.

NAVE, A. G. **Banco de sementes autóctone e alóctone, resgate de plantas e plantio de vegetação nativa na Fazenda Intermontes, Município de Ribeirão Grande, SP.** 2005. 219p. Dissertação (Doutorado em Recursos Florestais)-Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”,

Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

ODUM, E.P. **Fundamentos de ecologia**. Lisboa: Fundação Calouste Gulberkian. 5ª ed.

PETERSEN, S.L.; ROUNDY, B.A.; BRYANT, R.M. **Revegetation methods for high-elevation roadsides at Bryce Canyon National Park, Utah**. *Restoration Ecology*, 12 (2): 248-257, 2004.

RICKLEFS, R.E. **A economia da natureza**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 6ª ed.2012.

RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S. **Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares**. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO Fº, H.F. *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: EDUSP, 2001.

ROKICH, D.P.; DIXON, K.W.; SIVASITHAMPARAM, K.; MENEY, K.A. **Topsoil handling and storage effects on woodland restoration in Western Australia**. *Restoration Ecology*, 8 (2): 196-208, 2000.

SOUZA, P. A. S.; VENTURINI, N.; GRIFFITH, J. J.; MARTINS, S. V. **Avaliação do banco de sementes contido na serapilheira de um fragmento florestal visando recuperação de áreas degradadas**. *Cerne*, v. 12, p. 56-67, 2006.

TACEY, W. H. & GLOSSOP, B. L. **Assessment of topsoil handling techniques for rehabilitation of sites mined for bauxite within the Jarrah forest of western Australia**. *The Journal of Applied Ecology*, 17(1): 195-201, 1980.

VIANI, R. **Uso da regeneração natural (floresta estacional semidecidual e talhões de eucalyptus), como estratégia para produção de mudas e resgate da diversidade vegetal na restauração florestal, Bofete (SP)**. 188 p.2005. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade de Campinas, Campinas, 2005.

ZHANG, Z. Q., SHU, W. S., LAN, C. Y., WONG, M. H. **Soil seed bank as an input of seed source in revegetation of lead/zinc mine tailings**. *Restoration Ecology*, 9 (4): 378-384, 2001.

AVALIAÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS: COMPARAÇÃO ENTRE A NBR 9452/2019 E O MÉTODO ESLOVENO

Data de aceite: 27/03/2020

Data de submissão: 13/03/2020

Ana Carolina Virmond Portela Giovannetti

<http://lattes.cnpq.br/3657651449787446>

RESUMO: As pontes e viadutos são uma parte muito importante do sistema rodoviário brasileiro, sistema responsável por uma grande parcela do escoamento de cargas ao longo do país. Considerando que os recursos financeiros e materiais são finitos e que a degradação destas obras pode ter consequências graves, como o colapso das mesmas e interrupção do tráfego, ressalta-se a importância da conservação das Obras de Arte Especiais - OAE existentes. Para isso, deve-se fazer uso de um sistema de avaliação destas obras, que possa apresentar resultados confiáveis, que contenha recomendações que o inspetor possa seguir para a emissão das avaliações. Com esse fim, vários países padronizaram suas próprias regras. Os métodos mais utilizados para a avaliação das OAE são o da menor nota, como o utilizado no Brasil, e o da somatória das notas, utilizado na Eslovênia, país tradicionalmente destaque nesse campo.

A norma brasileira (NBR 9452/2019) foi atualizada em 2019, sendo, então, importante a sua comparação com métodos já tradicionais e bem estudados, como o esloveno. Portanto esse trabalho realiza a avaliação de uma obra pela comparação dos dois métodos, verificando as vantagens de cada um.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação de Obras de Arte Especiais; Pontes, NBR 9452.

BRIDGE ASSESSMENT: COMPARISON BETWEEN NBR 9452/2019 AND THE SLOVENE METHOD

ABSTRACT: Bridges are a very important part of the Brazilian road system, this system is responsible for a large part of the flow of commodities throughout the country. Having in mind that financials resources are limited and that the degradation of the bridges can possibly have serious consequences, such as their collapse and traffic interruption, the importance of preserving these constructions is emphasized, using for that a reliable system for assessment the bridges. The inspector must follow the requests to issue the correct evaluation. To this end, several countries have standardized their rules. The methods that are most used to this are the lowest scores, as the

Brazilian, and the sum of the scores, used in Slovenia. The Brazilian standard (NBR 9452/2019) was actualized in 2019, so it is important to compare it with traditional and well-studied methods, such as Slovenian. Therefore, this paper brings an evaluation of those methods by comparing them and verifying the advantages of each one.

KEYWORDS: Bridge assessment; NBR 9452.

1 | INTRODUÇÃO

As Obras de Arte Especiais (OAE) são muito importantes para o transporte de pessoas e mercadorias no Brasil e em outros países. Desta maneira, a interrupção de uma estrada devido a problemas em uma ponte ou viaduto pode acarretar prejuízo financeiro para muitas pessoas e empresas, pois resulta em desvios e aumento do tempo de transporte. Além disso, o colapso de tais obras pode resultar em perdas de vidas, que não podem ser monetizadas. Sendo assim, destaca-se a importância do acompanhamento e das inspeções frequentes dessas obras, feito por profissionais devidamente capacitados e utilizando métodos padronizados.

No Brasil a norma que define como essas inspeções devem ser feitas é a NBR9452/2019, no entanto em outros países são utilizadas regras diferentes, como no caso da Eslovênia e da Áustria, países que possuem rotas importantes na União Europeia. Cada forma de avaliar uma obra tem seus pontos positivos e negativos e apresenta resultados diferentes. Assim, torna-se interessante a comparação de um método difundido e utilizado por anos, como o Esloveno, com o método brasileiro, cuja norma (NBR 9452/2019) foi atualizada em 2019, mas a maior alteração na forma de avaliação das OAE foi feita na versão de 2016 e mantida na atualização. O objetivo deste trabalho é aprofundar os conhecimentos sobre inspeção e avaliações de OAE pela comparação desses métodos e aplicação em uma obra real.

2 | METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO

Existem 2 métodos de classificação que são largamente utilizados como base para as padronizações de cada país: o método da menor nota, utilizado, por exemplo, no Brasil, (NBR9452/2019 e DNIT, 2004); e o método da somatória das notas, utilizado em alguns países europeus como Áustria e Eslovênia (COST 345, 2007).

No Brasil, a norma de inspeção de pontes NBR 9452 (ABNT, 2019), utiliza três critérios para a avaliação de uma OAE: estrutural, funcional e durabilidade. Em cada critério, a condição da OAE é classificada como excelente, boa, regular, ruim ou crítica, com notas variando, respectivamente de 5 a 1, como apresentado no Quadro 1. Cada elemento deve ser analisado e atribuído uma nota. A nota final

da ponte será a menor nota dentro de cada critérios, assim a obra fica classificada com três notas.

Nota	Danos / Insuficiência estrutural	Ação corretiva	Estabilidade	Condições da ponte
5	Não há danos nem insuficiência estrutural.	Nada a fazer.	Boa	Obra sem problemas
4	Há alguns danos, mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural	Nada a fazer; apenas serviços de manutenção	Boa	Obra sem problemas importantes
3	Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas sem comprometimento da estabilidade da obra	A recuperação da obra pode ser postergada, devendo ser observada	Boa aparentemente	Obra potencialmente problemática Recomenda-se acompanhar os problemas
2	Há danos gerando significativa insuficiência estrutural na ponte, porém sem risco tangível de colapso estrutural.	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) da obra deve ser feita no curto prazo.	Sofrível	Obra problemática Postergar demais a recuperação da obra pode levá-la a um estado crítico.
1	Há danos gerando grave insuficiência estrutural na ponte, havendo risco tangível de colapso estrutural.	A recuperação ou substituição da obra - deve ser feita sem tardar.	Precária	Obra crítica Em alguns casos, pode configurar uma emergência.

Quadro 1 – Critérios da NBR 9452/2019

Fonte: Adaptado de ABNT (2019)

Um exemplo de avaliação utilizando a somatória das notas de cada defeito é o utilizado na Eslovênia. A avaliação da condição de uma ponte e dos seus componentes segue a Equação 1, que representa a somatória das notas de cada defeito (COST 345, 2007):

$$R = \sum V_D = \sum B_i \cdot K_{1i} \cdot K_{2i} \cdot K_{3i} \cdot K_{4i} \quad (\text{Equação 1})$$

em que:

V_D - Valor de classificação para o tipo de dano.

B_i - o valor deste fator reflete o efeito potencial de um tipo particular de dano (i) sobre a segurança e / ou a durabilidade do elemento estrutural afetado. Os valores de B_i variam de 1 a 5.

K_{1i} - este fator define a importância do componente ou membro estrutural para a segurança de toda a estrutura. Por exemplo, uma trinca na calçada é menos importante do que uma trinca na viga. Os valores de K_1 são 0,3, 0,7 ou 1,0.

K_{2i} - o valor deste fator, que varia de 0,4 a 1, reflete a intensidade do dano, sendo classificada em um de quatro tipos: I –leve (0,4), II-médio (0,6), III – grave (0,8), IV - muito grave (1,0). Normalmente, o valor do fator é atribuído a um tipo particular de dano.

K_{3i} - o valor deste fator, que varia de 0,5 a 1 descreve a extensão dos danos, sendo classificada de acordo com a porcentagem dos elementos ou a área da superfície afetada como elementos individuais (0,5), vários elementos (0,8), ou sobre a maior parte da ponte (1.0).

K_{4i} - o valor desse fator reflete a urgência de um trabalho de intervenção: os valores variam entre 0 e 10 (COST 345, 2007). O valor depende do tipo de estrutura, do risco e consequências de um possível colapso da ponte ou de partes dela. Os valores utilizados são:

1 - As medidas corretivas não possuem caráter urgente, pois o dano não afeta a segurança, utilidade ou durabilidade da estrutura;

3 - Medidas corretivas devem ser realizadas num período inferior a cinco anos;

5 - Medidas corretivas devem ser realizadas imediatamente;

10 - O dano afeta seriamente a segurança da ponte, estando em risco de um colapso.

Com o valor de R, proveniente da Equação 1, classifica-se a ponte de acordo com o Quadro 2.

Classe	Descrição	R
1	Critica	>20
2	Ruim	14-22
3	Satisfatória	8-17
4	Boa	3-12
5	Muito Boa	0-5

Quadro 2 – Sistema de classificação utilizado na Eslovênia

Fonte: COST 345 (2007).

Os métodos que utilizam a menor nota dos elementos como nota final da ponte, acabam tendo uma grande influência de somente um elemento. Por outro lado,

as avaliações baseadas em um somatório de manifestações patológicas podem acarretar um somatório com um resultado muito elevado devido à existência de vários pequenos defeitos, não condizendo com o real estado da estrutura.

Caso uma obra esteja excelente, sem danos, com a exceção de um único pilar, a metodologia brasileira será capaz de fornecer uma avaliação crítica, no critério estrutural. Já o método da soma das notas pode fornecer uma avaliação boa, gerando maiores riscos. Destaca-se que a avaliação final depende dos conhecimentos do inspetor, por isso é importante que o mesmo seja qualificado para realizar tal tarefa.

3 | ESTUDO DE CASO

A obra utilizada foi a estudada do trabalho de Giovannetti (2014), sendo localizada na BR-153, no estado de Goiás. A ponte escolhida foi a Ponte sobre o Rio Lambari, observada na Figura 1, pois foi a que apresentou pior estado de conservação dentre as 8 obras estudadas no trecho com uma média diária de veículos de aproximadamente 4800 veículos dos quais 3500 veículos pesados.



Figura 1 - Ponte sobre o Rio Lambari - Vista superior

Os danos encontrados estão no Quadro 3, aos quais foram atribuídas as notas para cada coeficiente da Equação 1 e para os critérios estrutural, funcional e durabilidade.

Elemento	Dano
Encontro	Desnível
Proteção do Talude	Rachaduras
Dreno	Entupimento
Leito do rio	Erosão
Alas	Fissura

Lajes	Nicho de concretagem
	Vazamento de água através de fissura
	Umidade
	Desagregação do concreto
	Carbonatação
Longarinas	Baixo cobrimento
	Fissura
	Nicho de concretagem
	Baixo cobrimento
	Carbonatação
	Armadura exposta
Transversinas no encontro	Corrosão da armadura de flexão
	Corrosão dos estribos
	Vazamento de água através de fissura
Transversinas sobre apoios	Carbonatação
	Baixo cobrimento
Transversinas no meio do vão	Carbonatação
	Baixo cobrimento
Guarda Roda	Fissuras
Pavimento	Buraco
Barreira	Quebrada
Pilares	Baixo cobrimento

Quadro 3 – Danos encontrados

A nota final do método esloveno foi 34,23, devido a somatória de todos os danos (GIOVANNETTI, 2014). Sendo que, a pior nota foi atribuída as armaduras expostas na longarina, Figura 2. No entanto o elemento que apresentou a maior somatória de notas foi a laje. O resultado apresentado classifica a obra em situação crítica, devido a soma de todos os pequenos danos.



Figura 2 - Longarina com armadura exposta, de nicho de concretagem e corrosão

Já na avaliação feita segundo a NBR 9452/2019, Anexo E, a obra foi classificada como regular (nota 3) no critério estrutural, como regular no quesito funcional (nota 3), e, por último, como ruim (nota 2) no parâmetro durabilidade.

A nota do critério estrutural foi devido aos danos a seguir:

- Rachadura presente na ala, Figura 3 - fissura (rachadura) acima dos limites da NBR 6118/2014 (ABNT, 2014) que se encontra em um elemento secundário, de acordo com a NBR 9452/2019 (ABNT, 2019);



Figura 3 - Ala a jusante do lado sul apresentando fissura

- Desnível no encontro, Figura 4 – desnível no pavimento na entrada da obra, que causa alteração nos esforços devido ao impacto de veículos;



Figura 4 – Desnível na entrada da ponte

- Fissura na longarina, Figura 5 – a longarina é considerada elemento principal, sendo assim, as fissuras dentro do limite estabelecido pela NBR 6118/2014 (ABNT, 2014) são classificadas como regulares.

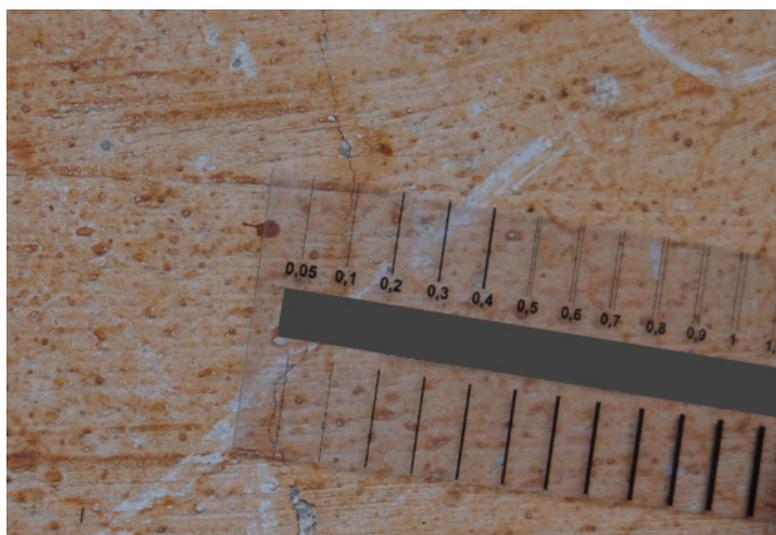


Figura 5 – Fissura na longarina

- Armadura exposta com corrosão, Figura 2 – elemento principal com armadura exposta e corrosão com até 20% de perda de seção.

A nota do parâmetro funcional é resultado do desnível na entrada da ponte, Figura 4, que causa solavanco aos veículos.

O ensaio de carbonatação, Figura 6, indicou profundidade de carbonatação superior ao cobrimento da armadura na longarina, o que justifica a nota 2 atribuída ao critério durabilidade. Para a realização desse ensaio utilizou-se uma solução de fenolftaleína, que não apresentou coloração rosada, mesmo após atingir profundidade superior ao cobrimento.



Figura 6 – Ensaio de carbonatação em longarina

4 | CONCLUSÕES

A ponte escolhida para o estudo, localizada no estado de Goiás, foi avaliada como crítica pelo método esloveno e como ruim e regular pelo método brasileiro. Esse último, apresentou um resultado que se aproxima mais com a real situação da obra inspecionada, enquanto, o primeiro apresentou um resultado condizente com obras demasiadas degradadas.

Portanto, conclui-se que, no estudo realizado, o método que forneceu melhores resultados foi o brasileiro. No entanto, o mesmo apresenta três notas inteiras para a avaliação final da ponte, dificultando a priorização de intervenção e comparação de condições, principalmente, quando se trata de um elevado número de obras, como no caso do território brasileiro.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452**: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, RJ, 2019.

_____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, 2014.

COST 345 - EUROPEAN CO-OPERATION IN THE FIELD OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL RESEARCH. **COST 345**: Procedures for Assessing Highway Structures: Final report, 2007. Disponível em: <http://cost345.zag.si/Reports/COST_345_WG23.pdf>. Acesso em: 03 de fev. de 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias**. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

GIOVANNETTI, A. C. V. P. **Avaliação do estado de conservação de pontes** - Estudo de caso. 2014. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

DIMENSIONAMENTO DA POTÊNCIA MÍNIMA EXIGIDA DO ACIONAMENTO PRINCIPAL DE TRANSPORTADORES DE CORREIA

Data de aceite: 27/03/2020

José Joelson de Melo Santiago

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, João Pessoa – PB.

Carlos Cássio de Alcântara

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, João Pessoa – PB.

Daniel Nicolau Lima Alves

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, João Pessoa – PB.

Jackson de Brito Simões

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas – RN.

RESUMO: Este capítulo trata do dimensionamento do sistema de acionamento principal de uma correia transportadora. As correias transportadoras são equipamentos presente nos mais diversos tipos de indústria com finalidade de transporte de material e sua capacidade de produção está diretamente relacionada com a potência do acionamento principal (Motor/Redutor) entre outros subsistemas que a compõe. Devido aos aumentos de produção da indústria em geral é comum a longo da vida útil desses equipamentos a realização do redimensionamento ou até projeto desde o início de outras correias

transportadoras. Nesse sentido este estudo visa abordar os principais parâmetros e normas a serem seguidos no dimensionamento do sistema de acionamento principal, tratando de motores, redutores.

PALAVRAS-CHAVE: Correia Transportadora. Sistema de Acionamento. Motor. Redutor.

ABSTRACT: This chapter deals the design of the drive system of conveyor belt. Conveyor belts are present in many different types of industry for the purpose of transporting material. Their production capacity is directly related to the power of the main drive (Engine / gearbox) among other subsystems that compose it. Due to the increase of production of the industry in general it is common throughout the useful life of these equipments the accomplishment of the resizing or until design from the beginning of other conveyor belts. In this sense, this study aims to address the main parameters and norms to be followed in the design of the main drive system, dealing with motors and gearbox.

KEYWORDS: Conveyor Belt. Drive System. Engine. Gearbox

INTRODUÇÃO

Transportadores de correia são máquinas

de manipulação de materiais que, em combinação com outros dispositivos, é utilizada em numerosos processos com o propósito de providenciar um fluxo contínuo de materiais entre diversas operações. Apresenta economia e segurança de operação, confiabilidade, versatilidade e enorme gama de capacidades.

No passado o projeto de transportadores contínuos era conduzido de uma maneira empírica, sem considerar grandezas que hoje são conhecidas e muito relevantes para um bom desempenho do equipamento. Por não levarem estas grandezas em consideração, os métodos utilizavam altos coeficientes de segurança, acarretando grandes custos ao projeto, principalmente quando os sistemas modelados eram transportadores de longa distância e alta capacidade. Recentemente, grandes avanços têm sido obtidos de teorias associadas os transportadores de longa distância.

Implementações nas técnicas de manufatura dos componentes do transportador têm possibilitado conceber projetos com maiores capacidades, comprimentos e velocidades. Os rolos e a correia eram componentes limitadores dos parâmetros de projeto, mas melhorias na qualidade de fabricação permitiram que alguns esforços dinâmicos pudessem ser minimizados, aumentando o desempenho dos elementos. Melhorias nos processos de fabricação das correias, principalmente aquelas que possuem cabos de aço, permitiram conceber transportadores maiores, mais resistentes e confiáveis.

Os transportadores de correias são equipamentos complexos compostos por diversos elementos de máquinas tais como eixos, mancais e polias, acoplamentos e outros equipamento como a própria correia transportadora, motores e redutores, estes dois últimos por sua vez formam um conjunto de acionamento que dá movimento e torque necessário para o transportador realize sua função (CNI, 2009).

Nesse contexto é de extrema importância para os engenheiros mecânicos conhecerem e entenderem o dimensionamento desses subsistemas na composição de um equipamento como o transportador de correia.

PRINCIPAIS SUBSISTEMAS

Um dos principais subsistemas desses equipamentos são as correias transportadas, fabricado em geral de elastômeros de alta resistência, são encontrados em duas formas mais comuns:

- Correias planas para pallets e cargas unitárias;
- Correias abauladas para transporte de material a granel.

Correia do tipo abaulada para transporte de material a granel se move sobre roletes dispostos em ângulo, que a fazem tomar uma forma côncava. É um dos

sistemas mais econômicos para transportar material a granel, devido a sua alta capacidade de carga, facilidade em carregar, descarregar e, também, na sua manutenção. Para a escolha do tipo de correia é necessário levar em conta:

- Condições de serviço;
- ambiente agressivo, temperatura;
- Características do material – granulometria, temperatura, abrasividade, agressividade, vazão horária;
- Tempo do percurso da correia;
- Largura da correia;
- Inclinação dos roletes – seção abaulada ou plana.
- Tensão máxima exigida da correia;
- Temperatura do material – os materiais podem estar à temperatura ambiente ou sob altas temperaturas;

Polias de acionamento são utilizadas nas correias transportadoras para transmissão de potência, podem ser classificadas como polia acionadora ou acionada. Como polia acionadora transmite o torque do motor e como polia acionada serve para o retorno da correia. São igualmente responsáveis pelo alinhamento e estiramento das correias transportadoras. As polias de acionamento apresentam algumas características importantes, tais como o diâmetro do tambor que quanto maior, maior será a vida da correia, pois, sofrerá menor esforço de flexão. O comprimento do tambor está em função da largura da correia.

Eixos são elementos de máquinas que têm função de suporte de outros componentes mecânicos. Os eixos árvores, além de terem a função de suporte, transmitem potência. Mancais são elementos de máquinas que têm como função assegurar ao eixo sua flutuação em uma camada de lubrificante, protegendo contra partículas abrasivas que possam danificá-lo. Os mancais se dividem em dois tipos: os de deslizamento, também chamados de buchas e os de rolamentos.

Roletes são elementos de sustentação da correia, constituídos por rolos cilíndricos e suportes. Além de suportar a correia, são responsáveis por guiá-las. Os roletes são fabricados nos mais diversos materiais: tubos de aço, tubos de ferro fundidos ou tubos de plásticos de engenharia.

Motores elétricos são máquinas que tem a finalidade de transformar energia elétrica em energia mecânica.

Redutores são equipamento mecânicos responsáveis pela redução de velocidade de um acionador promovendo o aumento do torque onde temos que quanto maior for a relação de redução maior será o torque disponível na saída do redutor (CNI, 2009).

METODOLOGIA

Nesse estudo os cálculos são considerados conforme a normas internacionais como DIN 22101 para transportadoras com rolos de apoio, ISO 5048, ISO 3870, ISO 5293 e ISO 3684.

SELEÇÃO DOS ACIONAMENTOS

No dimensionamento de acionamentos, busca-se a melhor relação entre potência e eficiência energética. Motores com capacidade para acionar a carga exigida com eficiência para obter a melhor condição econômica.

Para a escolha correta do acionamento, deve-se considerar alguns critérios técnicos e econômicos.

- Potência necessária para acionar a carga;
- Velocidade requerida;
- Regulagens requeridas pelo acionamento;
- Condições de serviço;
- Condições de manutenção.

O consumo de energia do sistema de correias longas e horizontais em condições de operação estacionária se determina através da resistência ao movimento da seção carregada da correia e da seção da correia no trecho de retorno. Esta resistência consiste na resistência de rolamento dos roletes que suportam a correia, além da resistência a flexão do material a granel e da correia quando estão rodando pelos roletes de carga.

A energia requerida para superar estas resistências se determinada através de uma quantidade de propriedades operativas e estruturais características. Em comparação com as demais resistências, para superar as diferenças de altura se requer muita energia. Neste caso, a elevação das massas a distintos níveis é o que determina principalmente a quantidade de energia requerida, pelo que não é possível afetar a correia. As resistências ao movimento são todas as forças que atuam sobre a correia na direção de transporte e que devem ser superadas durante a operação da correia

Segundo SEW (2007) para determinar as forças de resistência ao movimento e as potências resultantes, as forças que se apresentam na correia transportadora são classificadas em:

- Forças de resistência principais F_H ;
- Forças de resistência secundárias F_N ;
- Forças de resistência ao aclave F_{st} ;

- Forças de resistência especiais F_s ;

A força total (F_w) das resistências ao movimento é dado pelo somatório das forças de resistências.

$$F_w = F_H + F_N + F_{st} + F_s \quad \text{Eq. 1}$$

A força de resistência principal F_H do lado superior e do lado inferior da correia podem ser consideradas iguais, pois seria uma consideração válida de acordo com a norma, porém para que se tenha um cálculo mais assertivo e assim selecionar um motor com uma potência o mais próximo possível da potência real necessária para o acionamento é recomendado o cálculo separado de cada uma das forças.

$$FH = L \cdot f \cdot g \cdot \left(\frac{mR}{L} + (mg' + ml') \cdot \cos\alpha \right) \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

L = comprimento da correia transportadora em metros.

f = coeficiente de atrito

g = aceleração da gravidade = 9.8 m/s²

m_R = massa total dos rolos em kg.

m_L = carga máxima transportada em kg/m

m_G = massa da correia em kg/m

α = aclive médio do percurso de transporte

As resistências secundárias são resistências relacionadas com a fricção e a inercia que ocorrem apenas em certas partes da correia transportadora, resistências essas como: no contato alimentador aos materiais a serem transportados, fricção entre os materiais a transportar e o chute de descarga, fricção dos raspadores das correias.

As resistências secundárias são independentes da longitude da correia e são constantes. Em casos onde existe distâncias centrais longas a influenciadas resistências secundárias diminui em relação as resistências primárias. O cálculo da força de resistência secundária deve-se considerar o coeficiente C soma total das resistências secundárias se leva em conta do coeficiente de atrito C .

$$FN = (C - 1) \cdot FH \quad \text{Eq. 3}$$

L[m]	<20	20	40	60	80	100	150	200	300
C	3	2,5	2,28	2,1	1,92	1,78	1,58	1,45	1,31
L[m]	400	500	600	700	800	900	1000	2000	>2000
C	1,25	1,2	1,17	1,14	1,12	1,1	1,09	1,06	1,05

Tabela 1 – Coeficiente de atrito C para forças de resistência secundárias em função do comprimento da correia transportadora.

Fonte: SEW (2007)

As Forças de resistência devido ao aclave (F_{st}) da carga em correias transportadoras são calculadas com a seguinte formula:

$$F_{st} = L g m_L \text{ sen} \alpha \quad \text{Eq. 4}$$

Após o cálculo de todas as resistências deve-se considerar as resistências especiais são aquelas que não ocorrem em todas as correias transportadoras. Estas são em especial, a resistência vertical dos roletes, resistências de fricção ao exterior das estações de alimentação e resistências dos equipamentos utilizados para alimentar o material a granel ao exterior se isso ocorre no percurso do transporte.

POTÊNCIA ESTÁTICA

Com os valores das forças de resistências podemos partir para o cálculo da potência necessária exigida do motor.

$$P_s = \frac{FW \cdot V}{n} \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

V = velocidade da correia.

n = rendimento.

SELEÇÃO DO MOTOR

Com a determinação da potência exigida para acionamento do equipamento, então é possível selecionar o motor que atenda a capacidade exigida. A seleção do motor é realizada seguindo os critérios informados por cada fabricante. Após a seleção do motor pode-se então obter os valores:

Corrente nominal dada pelo fabricante deve ser multiplicada pelo fator 0,5 para tensão de 440V.

$$I_n = I_n(A) \cdot 0,5$$

Eq. 6

Onde:

I_n : corrente nominal

$I_n(A)$: corrente nominal dada pelo fabricante.

0,5: fator para tensão 440V.

Momento de inercia (J_x):

$$J_x = J_{x1} + J_{x2}$$

Eq.7

Onde:

J_{x1} : Momento de inercia para peso do material.

J_{x2} : Momento de inercia para inercia da massa do material.

$$J_{x1} = 91,2 \cdot m \cdot \left(\frac{V}{nM} \right)^2$$

Eq.7

$$J_{x2} = \frac{1}{2} \cdot mR \cdot (rA^2 + rf^2)$$

Eq.8

Onde:

nM = rotação nominal do motor;

nR = rotação reduzida;

mR = peso dos rolos de acionamento;

rA = raio do rolo de acionamento;

rf = raio do eixo do rolo de acionamento;

$$nR = \frac{v \cdot 1000 \cdot 60}{\pi \cdot rA}$$

Eq.9

Torque nominal (M_n):

$$M_n = \frac{Ps \cdot 9550}{nM}$$

Eq.10

Torque de aceleração (M_H):

$$M_H = 2,3 \cdot M_n$$

Eq.11

Tempo de partida (t_A):

$$tA = \frac{\left(JM + Jz + \frac{Jx}{n}\right) \cdot nM}{9,55 \cdot \left(MH - \frac{Ms}{n}\right)} \quad \text{Eq.12}$$

Aceleração na partida (a_A):

$$aA = \frac{v}{tA} \quad \text{Eq.13}$$

SELEÇÃO DO REDUTOR:

Com os dados do motor definidos é possível selecionar um redutor adequado para trabalhar em conjunto com o motor escolhido. A seleção do redutor por sua vez inicia pela determinação do fator de serviço (F_s) que varia de acordo com as condições trabalho

FATOR DE SERVIÇO	
Carga pequena (<150kW)	1,3
Carga Moderada(>150kW)	1,6
Carga Pesada (Laminadores)	2

Tabela 2 – Valores fator de serviço

Fonte: SEW (2007)

Os transportadores de correia, apesar de seu grande porte, geralmente se enquadra nas máquinas fator de serviço de 1,3. Com isso pode-se calcular a potência equivalente (P_e) exigida para o reduto, dada pela equação 14.

$$P_e = P_s \cdot F_s \quad \text{Eq.14}$$

Onde:

P_s : Potência do motor selecionado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudo de caso:

Define um caso geral de transportador de correia, comumente encontrado em empresas de mineração, para transporte de minérios em longas distâncias.

Para facilitar os cálculos realizados, foi elaborado um programa que leva em consideração todos os parâmetros anteriormente citados. No programa primeiro são inseridos os dados da estrutura física do equipamento:

INSERIR DADOS	
L = comprimento desenvolvido da correia	1188 m
L1 = comprimento superior da correia na horizontal	603,3813 m
L2 = comprimento superior da correia em aclave	39,743 m
L3 = comprimento inferior da correia na horizontal	577,579 m
L4 = comprimento inferior da correia em aclave	10 m
g = aceleração da gravidade	9,81 m/s ²
α = aclave médio do percurso	15 graus
v = velocidade da correia	2,82735 m/s
Capacidade Nominal de alimentação =	693,5 t/h

Coeficientes de Atrito:	
C = Coeficiente de atrito para forças secundárias =	1,09
f = coeficiente de atrito entre correia e roletes =	0,02

Figura 1 – Caixa para inserir dados estruturais na Plataforma do programa de cálculo de acionamento de transportadores de correia

Na sequência serão inseridos os valores da correia de material polimérico de alta resistência selecionado de fabricantes.

INSERIR DADOS	
Largura =	1 m
Peso da cobertura superior =	11,91 kg/m ²
Peso da cobertura inferior =	7,14 kg/m ²
Peso da carcaça =	6,7 kg/m ²

RESULTADOS	
Peso da Correia por metro =	25,75 kg/m
Peso total da Correia =	30,591 TONELADAS

Figura 2 - Caixa para inserir dados da correia na Plataforma do programa de cálculo de acionamento de transportadores de correia

Posterior a selecionar os dados da correia serão inseridos todos os

componentes de suporte da correia como roletes e tambores. Os roletes no estudo de caso em questão foram separados em horizontal e em aclave, devido alguns roletes estarem posicionado em uma região de subida do transportador de correia.

Roletes da Correia (horizontal)			
Denominação	Peso Unitário (kg)	Quantidade	Peso total
ROLETE DE TRANSIÇÃO	71	2	142
ROLETE DE CARGA	57,199	452	25853,948
ROLETE DE IMPACTO	61,75	8	494
ROLETE A.ALINHANTE CARGA	101,789	19	1933,991
ROLETE DE RETORNO EM "V	49,70247934	121	6014
ROLETE DE RETORNO PLANO	58	4	232
ROLETE A.ALINHANTE RETORNO	102,8888889	18	1852
ROLETE MÓVEL	240,6666667	3	722,0000001
ROLETE PROT. ESTR. P/LONGARIN	13,5	34	459
ROLETE PROT. ESTR. P/TRELIÇA	13,5	2	27
ROLETE GUIA	16	2	32
TAMBOR	250	2	500

Roletes da Correia (em aclave)			
Denominação	Peso Unitário (kg)	Quantidade	Peso total
ROLETE DE TRANSIÇÃO	71	1	71
ROLETE DE CARGA	57,199	32	1830,368
ROLETE DE IMPACTO	37,5	1	37,5
ROLETE A.ALINHANTE CARGA	101,789	1	101,789
ROLETE DE RETORNO EM "V	49,702	1	49,702
ROLETE DE RETORNO PLANO	58	1	58
ROLETE A.ALINHANTE RETORNO	30,8	0	0
ROLETE MÓVEL	33	0	0
ROLETE PROT. ESTR. P/LONGARIN	13,5	0	0
ROLETE PROT. ESTR. P/TRELIÇA	13,5	0	0
ROLETE GUIA	16	2	32
TAMBOR	250	3	750

Figura 3 - Caixa para inserir quantidade e peso dos componentes de suporte da correia

Por fim o programa irá copilar os dados informados calcular as forças conforme relatado anteriormente e retornará com os valores de potência exigidos para o motor e para o redutor. Dessa forma, deve-se selecionar um motor de algum fabricante de motores elétrico que atenda a potência exigida, considerando o fator de rendimento e o fator de serviço informado pelo fabricante.

POTÊNCIA MINÍMA EXIGIDA DO MOTOR:	
POTÊNCIA EM kw =	126,238 kw
POTÊNCIA EM HP =	169,288 hp
POTÊNCIA EM CV =	171,636 cv

Figura 4- Dados de potência do motor calculado pelo programa

POTÊNCIA MINÍMA EXIGIDA DO REDUTOR:		
POTÊNCIA EM Kw	164,11	kW
POTÊNCIA EM HP	220,07	hp
POTÊNCIA EM CV	223,13	cv

Figura 5 - Dados de potência do redutor calculado pelo programa

CONCLUSÕES

O trabalho em questão proporcionou de forma teórica e prática o dimensionamento mínimo exigido de um sistema de acionamento de um transportador de correia de grande porte. Com capacidade de transporte de minério de 693,5 toneladas por hora na capacidade. A metodologia utilizada atendeu assertivamente a potência exigida com segurança para o estudo de caso em questão, servido como referência para projetos similares.

O programa elaborado para realização do trabalho, proporcionou maior agilidade e redução da probabilidade de cometer erro nos cálculos. Podendo ser utilizado facilmente para diversos cálculos simultaneamente em outros estudos de caso.

REFERÊNCIAS

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Máquinas De Transporte 2. Correias Transportadoras, 2009.

BUDYNAS, R.; NISBETT, K.. Shigley's Mechanical Engineering Design. Ed. Mcgraw-hill, 2015. ISBN 978-0073398204

GERMAN STANDARD. DIN22101:2011-12 Continuous conveyors –Belt conveyors for loose bulk materials –Basis for calculation and dimensioning, 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO5048: Continuous mechanical handling equipment -- Belt conveyors with carrying idlers, Calculation of operating power and tensile forces, 1989.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO3870: Conveyor belts (fabric carcass), with length between pulley centres up to 300 m, for loose bulk materials. Adjustment of take-up device, 1976.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO5293: Conveyor belts -- Determination of minimum transition distance on three idler rollers, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO3684: Conveyor belts --

Determination of minimum pulley diameters, 1990

NORTON, ROBERT L. Projeto de Máquinas 4ª ed. Porto Alegre. Ed. Bookman, 2013. ISBN 978-8-582-60022-1.

SEW EURODRIVE. Manual de Seleção de Acionamentos: Métodos de Cálculo e Exemplos, 2007.

CONSTRUÇÃO, INSTRUMENTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM TÚNEL DE VENTO DIDÁTICO DE CIRCUITO FECHADO

Data de aceite: 27/03/2020

Data de submissão: 03/01/2020

de Minas Gerais (UFMG)

Belo Horizonte – Minas Gerais

<http://lattes.cnpq.br/0210149443584373>

Lucas Ramos e Silva

Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC)
– Escola de Engenharia – Universidade Federal
de Minas Gerais (UFMG)
Belo Horizonte – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/0128562534314022>

Guilherme de Souza Papini

Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC)
– Escola de Engenharia – Universidade Federal
de Minas Gerais (UFMG)
Belo Horizonte – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/8484713679248812>

Rafael Alves Boutros

Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC)
– Escola de Engenharia – Universidade Federal
de Minas Gerais (UFMG)
Belo Horizonte – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/5330774619018840>

Romero Moreira Silva

Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC)
– Escola de Engenharia – Universidade Federal
de Minas Gerais (UFMG)
Belo Horizonte – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/1831447718635688>

Wender Gonçalves dos Santos

Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC)
– Escola de Engenharia – Universidade Federal

RESUMO: O presente estudo tem como objetivo descrever a construção e a caracterização inicial de um túnel de vento de circuito fechado em escala reduzida, visando estudos de dinâmica de fluidos experimental e teórica para estudantes de graduação e pós-graduação. As atividades ocorreram no Laboratório de Aerodinâmica Experimental, pertencente ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte / MG, Brasil. Este modelo é um túnel de vento atmosférico de baixa velocidade em circuito fechado, que está sendo usado para calibrar modelos teóricos e desenvolver conhecimentos sobre o tratamento de turbulência. Foi produzido em placas de acrílico de 0.010 m de espessura, flangeadas com placas de alumínio de 0.003 m de espessura. A seção em que o motor fica e a região imediatamente a montante da seção de teste foram construídas com ácido polilático (PLA) pelo processo de Fabricação Aditiva (impressão 3D). Testes experimentais foram realizados para determinar a eficiência do difusor e a perda de pressão na seção de teste

do túnel de vento, a fim de iniciar o processo de caracterização.

PALAVRAS-CHAVE: Túnel de vento, Laboratório, Fabricação, Aerodinâmica Experimental, Didático

CONSTRUCTION, INSTRUMENTATION AND CHARACTERIZATION OF A DIDACTIC CLOSED LOOP WIND TUNNEL

ABSTRACT: The present study aims to describe the construction and the initial characterization of a reduced-scale closed-loop wind tunnel, aiming at both experimental and theoretical fluid dynamics studies for undergraduate and graduate students. The activities took place at the Experimental Aerodynamics Laboratory, which belongs to the Mechanical Engineering Department of the Federal University of Minas Gerais, in Belo Horizonte/MG, Brazil. This model is an atmospheric low-speed closed-loop wind tunnel, which is being used to calibrate theoretical models and develop knowledge about turbulence treatment. It was produced in 0.010 m thickness acrylic plates flanged with 0.003 m thickness aluminum plates. The section in which the motor stands and the region immediately upstream to the test section were built with polylactic acid (PLA) by Additive Manufacturing process (3D printing). Experimental tests were conducted to determine the efficiency of the diffuser and the pressure loss in the wind tunnel test section in order to begin the characterization process.

KEYWORDS: Wind tunnel, Laboratory, Manufacturing, Experimental Aerodynamics, Didactics

1 | INTRODUCTION

Instructions for reduced-sized wind tunnels construction are commonly found in scientific papers, as seen in BHANUPRASAD et al. (2016), due to their great importance in the study of the airflow around an object of interest since they include the full complexity of real fluid flow, according to BARLOW et al. (2007). High costs involved in manufacturing, instrumentation and maintenance, as well as installation complexity due to limitations of physical space, are usually factors associated with large wind tunnels. These factors have allowed smaller-scale wind tunnels to gain ground in undergraduate studies in Mechanical and Aeronautical Engineering, as seen in CALAUTIT et al. (2014) and PELT et al. (2010).

This document intends to present the process of manufacturing a closed-loop small-scale wind tunnel, as well as to demonstrate that small scale models can generate experiments that can be applied in practical classes of Experimental Aerodynamics, generating knowledge to assist in addressing real engineering problems. As such, this present work presents the main steps of manufacturing

a wind tunnel in 1:10 scale of an existing closed-loop wind tunnel available in the Experimental Aerodynamics Laboratory at the Federal University of Minas Gerais (UFMG) main campus. This equipment is the result of a voluntary undergraduate research project approved by the Department of Mechanical Engineering at UFMG, which includes the Aerospace Engineering bachelor's degree.

As an undergraduate research project, the conducted research also intended to develop the authors' skills in investigating, applying theoretical knowledge and solving a real engineering application that demanded project planning, equipment scaling, budget estimation, construction and testing. Finally, the results obtained in this work show that this reduced-scale wind tunnel can be used to perform experiments and research aimed at obtaining knowledge in the area of fluid dynamics applied to aerodynamics.

2 | METHODOLOGY

2.1 Design and construction

As the study was based on the closed-loop wind tunnel located in the Experimental Aerodynamics Laboratory of the UFMG Aerospace Engineering bachelor's degree, the research project began with the measurement of each part of the tunnel in actual size. Thus, with all measurements taken, the wind tunnel was divided into 9 different sections, numbered according to Figure 1, to facilitate manufacturing and handling. The nomenclature of each section is presented on Table 1.

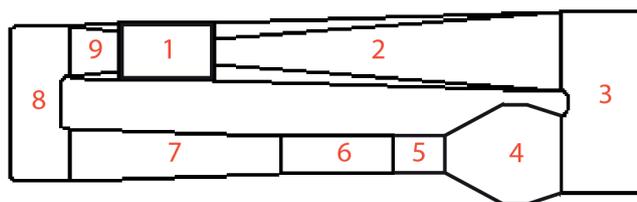


Figure 1 - Wind tunnel sections. By the authors.

Section number	Nomenclature
1	Motor Section
2	Tertiary Diffuser
3	Flow Redirector at Propeller Downstream
4	Nozzle at Test Section Upstream
5	Elongation
6	Testing Section
7	Primary Diffuser
8	Flow Redirector at Propeller Upstream
9	Secondary Diffuser

Table 1 - Nomenclature of the wind tunnel sections. By the authors.

The sizes of each of these sub-parts were reduced by a 1:10 scale factor in order to perform the laser cutting of the acrylic plates that compose the major part of the structure. Sections 1 and 5 were manufactured using a 3D printing process from polylactic acid (PLA), the first one responsible for housing the motor and the propeller that moves the mass of air in the wind tunnel. The reason for the production of these two parts through a 3D printing process was its low cost and practicality, since the laboratory has partnered with other additive manufacturing laboratories. Also, the printing was achieved with optimum precision of the printed parts, facilitating the fixing of the commercial motor to the hub of the manufactured propeller, ensuring a tight assembly between the propulsion cell and the ducts that compose the wind tunnel. Details regarding the choice of the motor and the propeller will be discussed later in this paper.

The following figures illustrate the dimensions of the other wind tunnel sections in millimeters after the scaling process. Also, a brief description of the role of each section is presented.

Section 1 has its initial and final internal cross-section dimensions accordingly to the octagonal geometry of the sections 9 and 2, respectively illustrated in Figures 9 and 2. Using CAD software, a loft operation was made to gradually change this format to a circular one at the center cross-section of this part, where the propeller is located. The diameter of this central circular section is 0.165 m. The result obtained is presented in Figure 12 in text section 2.1.3. This part is not present on the original large scale equipment. However, because of the reduced size of the scale model, the manufacturing of this piece was necessary to provide support for the chosen electric motor and propeller. Figure 2 to 9 shows the dimensions for the sections 2 till 9.

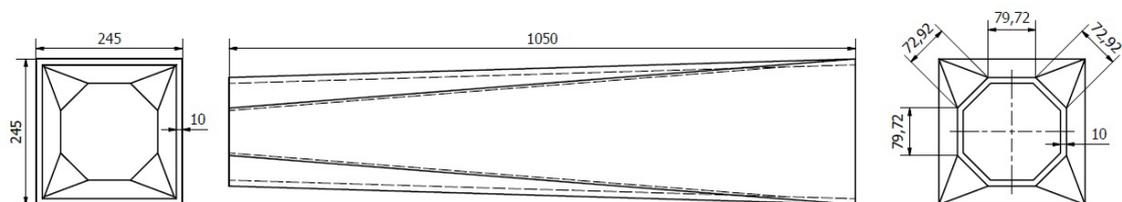


Figure 2 - Tertiary Diffuser (Section 2).

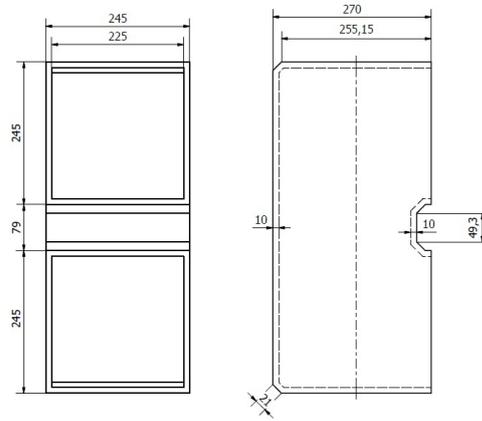


Figure 3 - Flow Redirector at Propeller Downstream (Section 3). Dimensions in millimeters. By the authors.

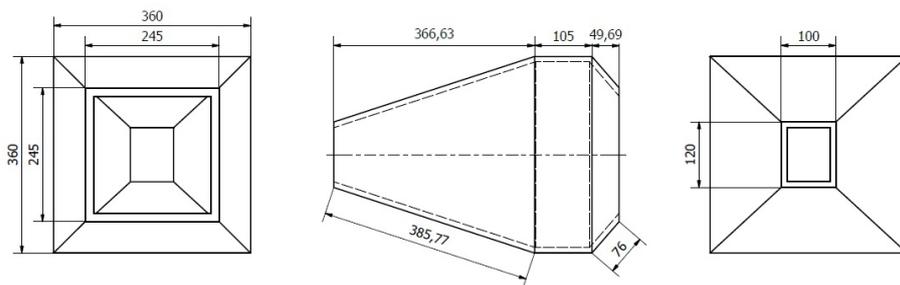


Figure 4 - Nozzle at Test Section Upstream (Section 4). Dimensions in millimeters. By the authors.

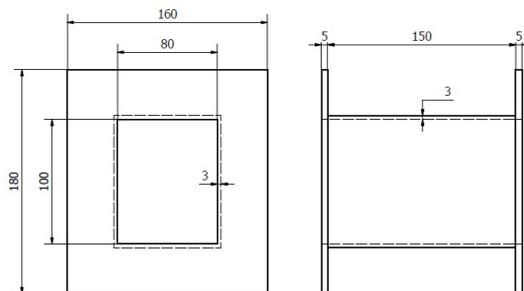


Figure 5 - Elongation (Section 5). Dimensions in millimeters. By the authors.

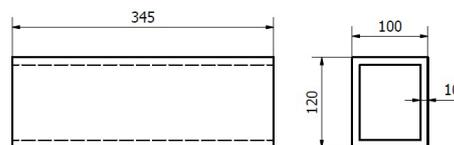


Figure 6 - Testing Section (Section 6). Dimensions in millimeters. By the authors.

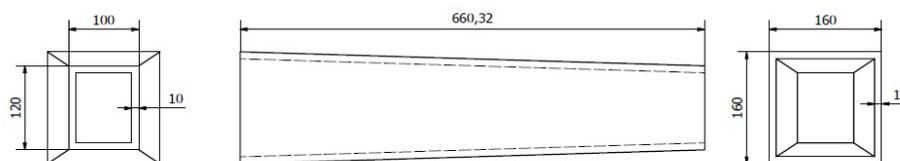


Figure 7 - Primary Diffuser (Section 7). Dimensions in millimeters. By the authors.

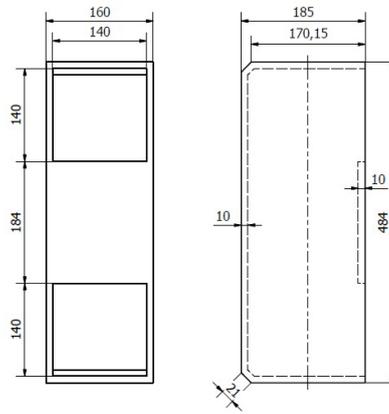


Figure 8 - Flow Redirector at Propeller Upstream (Section 8). Dimensions in millimeters. By the authors.

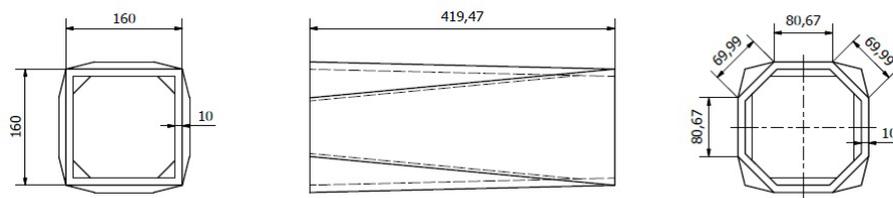


Figure 9 - Secondary Diffuser (Section 9). Dimensions in millimeters. By the authors.

2.1.1 Acrylic components

The choice of using acrylic plates in most of the tunnel structure is due to its fine surface finish, adequate mechanical strength and also its translucent appearance that meets the didactic purpose of visualizing the internal components of a closed-loop wind tunnel.

After obtaining the acrylic pieces already cut accordingly to the pre-established dimensions and joining the plates that form each one of the sections together with epoxy glue, as seen on Figure 10, the corners of each section were smoothed out using polyester resin.



Figure 10 - The acrylic pieces glued with epoxy. By the authors.

In Figure 11, the aluminum flanges were glued to the external faces of the acrylic walls using silicone and the sections of the closed circuit wind tunnel were connected to each other by screws, washers and bolts attached to these flanges.



Figure 11 - The aluminum flanges. By the authors.

2.1.2 Printed Components

PLA is a commonly used polymer in additive manufacturing due to its relatively high mechanical resistance and easy handling. In the present work, the 3D printer extruder and bed temperatures chosen are, respectively, 463 K and 333 K. There are four different types of printed components (or group of components) in the wind tunnel: propeller, propeller section, propeller support and elongation section. The first three ones compose the section 1 and the last one is the section 5.

2.1.3 Propeller and motor

The propeller used to move the air along the wind tunnel is designed based on the method for optimum propeller design found in the article by ADKINS AND LIEBECK (1994).

As proposed in the work by TORRES (2018), the propeller designed consists of seven blades and it is optimized for an advance ratio of 1.35. The external propeller diameter is restricted to 0.160 m due to compatibility with the adjacent acrylic sections. Its hub has a diameter of 0.035 m and it is designed to internally accommodate the electric brushless motor responsible for its rotation, as shown in Figure 12. In order to increase its mechanical strength and avoid geometric imperfections, the propeller was printed with 100% infill.

The motor used to spin the propeller is a 2300 KV brushless DC motor model EMAX 2205 designed for racing drones. The motor shaft has a M5 thread which allows it to be attached to the propeller by a nut.

Based on the propeller's advance ratio, the wind tunnel's propeller-motor system was designed to move the air at 18 m while running in a rotational speed of 5000 revolutions per minute. That airspeed in the propeller section would represent in the test section an average wind speed of about 48 m, regarding only the cross sectional area ratio (2.67) of those parts.



Figure 12 - Propeller and its section. By the authors.

2.1.4 Propeller Section

The propeller section intends to smoothly change the octagonal section geometry of the acrylic structure into a circular one, then change it back into an octagonal one in the flow perspective. Additionally, it holds the propeller support inside the wind tunnel. This section consists of two jointed parts attached by four M5 bolts. Both parts are composed of four printed pieces attached by PVC adhesive (this division is required due to the limited size of the 3D printer bed). The fact that the section is not structurally critical allows the application of 30% infill in printing. Section geometry was built to match the real acrylic sections geometry.

2.1.5 Propeller support

The propeller support attaches the motor-propeller system by four M3 bolts and keeps its position inside the propeller section. It also protects and accommodates the electric motor wires from the airflow. It is printed with 70% infill because of its structural function and it is attached by PVC adhesive to one of the propeller section parts.

2.1.6 Elongation Support

The elongation section intends to correct the final geometry of the wind tunnel, close the circuit and match the acrylic made test section and nozzle geometries adequately. Due to the same reason discussed in section 2.1.4, the elongation section components were printed with 30% infill.

2.1.7 Brushless motor control and power source

The electric motor used in the project is a model commonly employed in RC airplanes. To control the rotation of this device, a commercial electronic speed control

unit (ESC) was used. The ESC unit receives the control signal from an Arduino microcontroller that has a 10 k potentiometer connected to it. A 30 A power supply was used to provide the required direct current to the motor.

2.2 Instrumentation

In order to characterize the wind tunnel properties, as well as to obtain flow control data during the tests, several holes were drilled along the sections for the installation of static pressure taps. A hole for a Pitot tube was also drilled in the test section of the equipment.

The static outlets were made by installing aluminum tubes with an outside diameter of 0.001 m in holes made with that same drill diameter. Each tube was initially fixed in place using cyanoacrylate adhesive and the attachment surroundings were then sealed with silicone. Figure 13 shows a close view of all the static taps installed on the top of the test section of the tunnel.



Figure 13 - Static pressure taps on the test section. By the authors.

The Pitot tube was made with an aluminum tube of 0.006 m external diameter, folded at 90°, with another inner tube of 0.001 m diameter fastened to the tip of the larger tube using an epoxy adhesive. The inner tube was connected to a flexible hose, responsible for communicating with the measuring instrument, and then attached in alignment with the center of the outer tube. The schematic design of the construction and the final results are shown in Figure 14. It is worth noting that the choice for the pressure-taking pipes diameters was made to match the connection with the measurement equipment available in the laboratory.

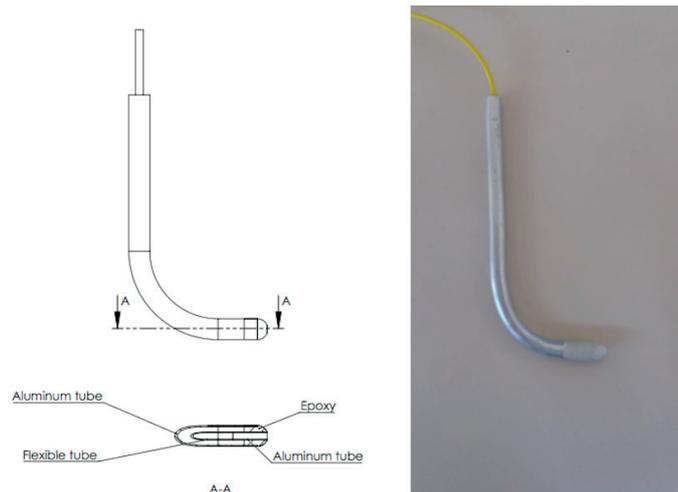


Figure 14 - Pitot tube. By the authors.

2.3 Characterization

In order to validate that the reduced-sized wind tunnel is able to fulfill its main purposes, some experiments were conducted. Those experiments can be found in EASTLAKE (2007), used in regular Experimental Aerodynamics classes at Embry-Riddle Aeronautical University. The first test determines the diffuser efficiency, whereas the second one investigates the longitudinal static pressure distribution. The tests are described in the next subsections.

2.3.1 Diffuser Efficiency Test

Diffusers are used in wind tunnels to increase the static pressure by reducing the flow velocity, converting dynamic into static pressure. Hence, the Diffuser Efficiency is directly related to the reduction of the tunnel power required to reach a specified test section velocity.

The increase in static pressure between the inlet and the outlet of the diffuser, or the static pressure recovery, is a commonly used performance parameter, as stated in EASTLAKE (2007).

For this test, alongside the reduced-sized wind tunnel, a digital manometer and a Pitot-static system in the high speed section are necessary.

The tunnel must be run in two different throttle settings. The static and total pressure in the test section shall be measured, alongside the static pressure within 3 different locations on the diffuser wall. Unsteadiness in the static pressure reading must be verified as this may be a sign of surging. The pressure recovery coefficient is given by Equation 1, in which p_s and p_t are the static and dynamic pressure, respectively, in the subscript location.

$$C_{pr} = \frac{P_{s,outlet} - P_{s,inlet}}{q_{inlet}} \quad (1)$$

The ideal pressure recovery coefficient $C_{pr,ideal}$ is given by Equation 2.

$$C_{pr,ideal} = 1 - \left(\frac{A_{inlet}}{A_{outlet}} \right)^2 \quad (2)$$

In the equation above, means the cross-sectional area in the subscript location. Finally, the efficiency η_p is given by Equation 3.

$$\eta_p = \frac{C_{pr}}{C_{pr,ideal}} \quad (3)$$

That efficiency is expected to be between 0.70 and 0.75 for a reasonably good diffuser.

2.3.2 Longitudinal static pressure distribution test

This experiment is used to determine how the free stream static pressure varies from the upstream end to the downstream end of the test section. That longitudinal static pressure distribution is important as it enables the verification of whether the boundary layer thickness increases as the flow moves downstream, which decreases the effective cross-sectional area and requires the use of a correctional factor for any drag data measured in the test section.

According to EASTLAKE (2007), the representation of the longitudinal static pressure gradient magnitude is done by using a non-dimensional factor k developed by GLAUERT (1923), which is expressed in Equation 4.

$$k = - \frac{dP_s}{dl} \frac{B}{q_0} \quad (4)$$

In the equation above, P_s is given in Pascal, l is the test section length in meters, B is the test section width in meters and q_0 is the test section dynamic pressure in Pascal. The derivative $\frac{dP_s}{dl}$ is calculated using a linear fit to the data measured along the test section.

Alongside the reduced-sized wind tunnel, this experiment also requires a manometer and a row of several static pressure taps above the test section with minimum spacing between them.

The tunnel must be run in a typical test speed. The static pressures for each tap are taken, a graph displaying the difference between P_s and the atmospheric pressure for every tunnel station is plotted and the Glauert factor calculated. For a

well designed wind tunnel test section, should be between 0.016 and 0.04, according to EASTLAKE (2007).

3 | RESULTS

The construction represents an important achievement by this paper and Figure 15 shows the result achieved in this step.



Figure 15 - The wind tunnel built for the project. By the authors.

It is important to mention that all the tests were performed in lower wind velocities than initially planned. The motor employed for the experiments showed limitations in operating with the designed fan. The main problem faced was the overheating of the brushless motor in a small operation time. This indicates that the provided torque is not enough to overcome the static pressure inside the tunnel, which prevents the achievement of higher wind velocities. For future work, the use of a different electric motor or a new propeller design is recommended. These solutions have not been implemented yet by the authors due to budget constraints.

The diffuser efficiency test was performed in section 7 of the wind tunnel. The three pressure measurements were taken at $l_{\text{dif fuser}} = 0.06 \text{ m}$, $l_{\text{dif fuser}} = 0.32 \text{ m}$, and $l_{\text{dif fuser}} = 0.59 \text{ m}$, where $l_{\text{dif fuser}}$ represents the distance from the beginning of the diffuser segment, as demonstrated in Figure 16. From now on, these sections will be referenced by the subscripts 1,2 and 3, respectively, and the subscript 1,2 refers to the value computed between 1 and 2. The values obtained from three distinct static pressure taps were averaged to calculate the static pressure in each region of the diffuser. The total pressure was obtained at the end of the test section, that is the segment 6 of the tunnel. The dynamic pressure was computed by the subtraction of the static value from the total pressure, both measured at the same location on the test section. The wind velocity used in the experiment is $V_{\text{ts}} = 4.55 \text{ m/s}$ in the test

section. The results for the pressure recovery between each diffuser cross-section are presented in Table 2.

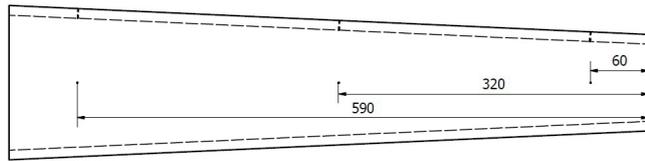


Figure 16 - Diffuser pressure taps positioning. By the authors.

$C_{pr_{1,2}}$	$C_{pr_{2,3}}$	$C_{pr_{1,3}}$
0.2827	0.3062	0.5889

Table 2 - Pressure recovery coefficient C_{pr} . By the authors.

Table 3 shows the values for the ideal pressure recovery and Table 4 the efficiency of each sector.

$C_{pr_{ideal_{1,2}}}$	$C_{pr_{ideal_{2,3}}}$	$C_{pr_{ideal_{1,3}}}$
0.4756	0.4524	0.7128

Table 3 - Ideal Pressure recovery coefficient $C_{pr_{ideal}}$. By the authors.

$\eta_{p_{1,2}}$	$\eta_{p_{2,3}}$	$\eta_{p_{1,3}}$
0.5944	0.6768	0.8261

Table 4 - Diffuser Efficiency η_p . By the authors.

Comparing the results obtained between sections 1 and 3 of the diffuser, presented in the last column of Table 4, with the literature reference mentioned in text section 2.3.1, the obtained value is higher than 75%, which is an indicative of great pressure recovery efficiency.

For the longitudinal static pressure distribution test, a total of 17 taps, 0.0165 m apart from each other, were installed at the top of the test section. However, problems encountered during data acquisition demonstrated that the last one was not installed correctly and its results were discarded. Figures 17 and 18 show the manometric pressure measured at each of the remaining points, at two different velocities.

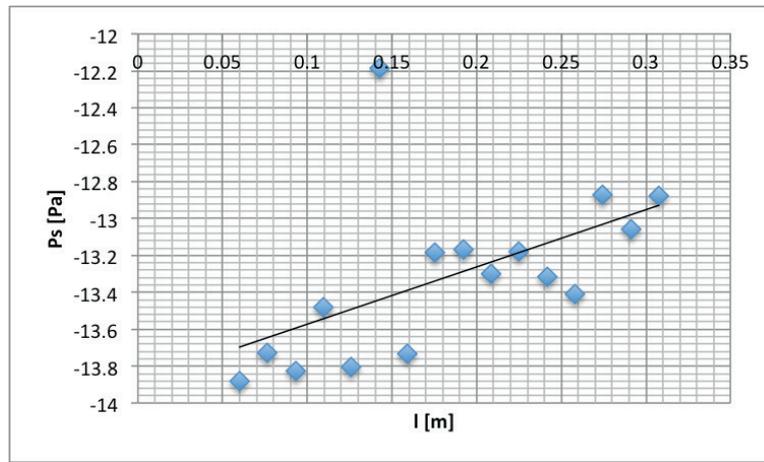


Figure 17 - Static pressure distribution on the test section at $V_{ts} = 4.45$ m. By the authors.

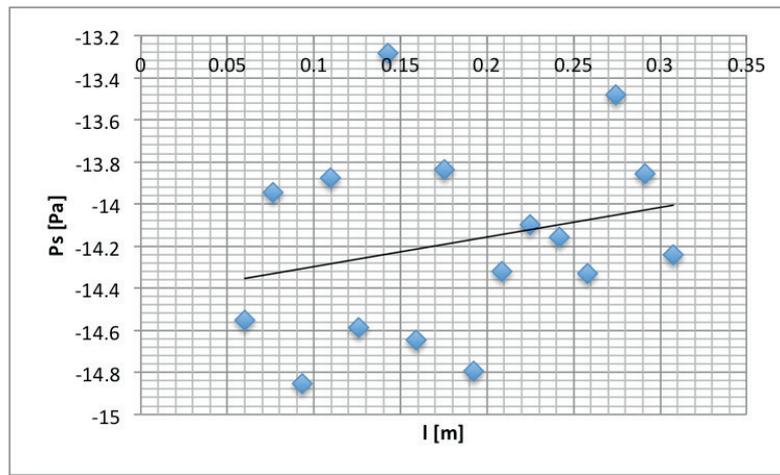


Figure 18 - Static pressure distribution on the test section at $V_{ts} = 4.55$ m. By the authors.

As the trendlines in Figures 17 and 18 illustrate, the values obtained are well dispersed, especially for $V_{ts} = 4.55$ m.^{s-1}. Both inclinations are positive, demonstrating that the static pressure rises along the test section instead of dropping as expected. Table 5 contains the values calculated for the Glauert's non-dimensional factor k , for each velocity, and the data used for it. The test section width considered was 0.1 m.

V_{ts} [m · s ⁻¹]	q_0 [Pa]	$\frac{dP_s}{dl}$	k
4.45	10.661	3.102	-0.029
4.55	11.113	1.406	-0.013

Table 5 - Glauert factor . By the authors.

As demonstrated, the results show a great dispersion, increasing with the increment on the velocity. It happens because the tunnel stream is not treated, and it may indicate great turbulence in the test section. Also, Pitot tubes usually are

not precise on velocities below $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Another factor to consider is the Pitot tube positioning inside the section that may have caused an excessive airflow perturbation and consequently the data dispersion. The reduced tunnel dimensions make it very sensitive to the effects caused on the flow by objects located inside it. The hole used for the total pressure tap installation provides an opening for the atmosphere and that can also increase the static pressure. Tests performed at higher wind velocities may show better results as the tunnel runs closer to its intended conditions.

4 | CONCLUSIONS

The diffuser test presented an efficiency value of 82.61% when the entire section is considered. That value is above 75%, which is the literature reference. However, the results for the longitudinal pressure distribution in the test section indicate that the wind tunnel requires a great amount of work to improve the stream characteristics. The future activities performed on the equipment, aiming the flow treatment, are key to promote students' knowledge, consequently enabling the formation of new professionals trained to perform wind tunnel tests.

The tunnel was built and tested as described. It currently is part of the Experimental Aerodynamics Laboratory of Federal University of Minas Gerais and is undergoing new tests and improvements to enhance its usage range and reliability. Even though the tests showed that a great pressure recovery efficiency was found, some geometry and motor torque issues still affect the overall performance of the tunnel and extra improvements and further studies should be conducted.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was first presented at the II Congresso Aeroespacial Brasileiro (II CAB) and the authors would like to thank the conference organizing committee.

REFERENCES

ADKINS, C.N.; LIEBECK, R.H. **Design of optimum propellers**. Journal of Propulsion and Power, v. 10, n. 5, p. 676–682, 1994.

BARLOW, J.B.; POPE, A; RAE, W.H. **Low-Speed Wind Tunnel Testing**. 3rd ed. Chichester, New York: Wiley, 2007.

BHANUPRASAD, D.; MURTHY, S.; SRINIVA, G.; APPALARAJU, G. **Design and fabrication of wind tunnel**. International Journal & Magazine of Engineering, Technology, Management and Research, v. 3, n. 6, p. 271–277, 2016.

CALAUTIT, J.K.; CHAUDHRY, H.N.; HUGHES, B.R.; SIM, L.F. **A validated design methodology for a closed-loop subsonic wind tunnel**. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, v.

125, p. 180–194, 2014.

EASTLAKE, C.N. **Experimental Aerodynamics and Wind Tunnels**. 7th ed. Daytona Beach: Embry-Riddle Aeronautical University, 2007.

GLAUERT, H. **The interference of wind channel walls on the aerodynamic characteristics of an aerofoil**. Reports and memoranda, n. 867, Aeronautical Research Committee, 1923.

PELT, R.V.; ZOBECK, T.; BADDOCK, M.; COX, J. **Design, construction and calibration of a portable boundary layer wind tunnel for field use**. American Society of Agricultural and Biological Engineers. Transactions, v. 53, n. 5, p. 1413–1422, 2010.

TORRES, G.M.; **Projeto de hélices contrarrotativas**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Bachelor's Thesis, 2018.

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 nas áreas 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

AIT 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11

Alumina 97, 98, 99, 101, 102, 103, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112

Áreas Degradadas 190, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198

B

Biocompatible Polymers 135

Biodegradáveis 114, 115

Biodiesel 97, 98, 99, 100, 101, 104, 110, 111, 112

C

Camada fértil do solo 190, 194

CanSat 39, 40, 43, 44, 45

Catalisadores Impregnados 98, 105, 106, 108

Cerâmica 102, 174, 175, 176, 177, 178, 188, 189

Controle de qualidade 174, 177, 178, 184, 188

D

Democracia energética 47, 51, 52

Desenvolvimento 15, 47, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 60, 61, 63, 64, 67, 75, 98, 102, 111, 112, 114, 120, 122, 152, 164, 178, 190, 191, 192, 193, 194, 196, 197, 236

E

Embalagens 114, 115, 122

Engenharia baseada em conhecimento 31

Engenharia Biomédica 68, 70, 72, 74

Engenharia de Sistema 39

Espectroscopia de bioimpedância elétrica 77, 78, 81, 83, 88, 93

Estradas 190, 200

F

ferramentas da qualidade 152, 153, 156, 162

Filmes 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122

Flambagem 13, 15, 18, 20, 21, 24, 27, 28

Fonte de corrente Howland 77, 89

Fonte não linear 77

G

Gestões estratégicas 152

I

Inspetores Eletrônicos 162, 163, 168, 169, 171, 172, 173

K

KAOS 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67

M

Modeling 30, 32, 34, 35, 36, 37, 44, 60, 61, 64, 66, 67, 111, 135, 136, 139

N

NASTRAN 13, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 27, 28, 29

O

Olaria 174, 175, 182, 183, 184, 185, 186, 187

Ontologia 30, 31

Otimização 13, 15, 16, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 91, 94, 162

P

PDCA 153, 154, 155, 158, 159, 162, 163, 164, 166, 173

Planejamento 55, 67, 114, 116, 117, 118, 152, 153, 155, 158, 164, 177, 178

Polymeric Films 134, 135

Processos 1, 63, 69, 102, 105, 117, 120, 157, 158, 160, 162, 163, 164, 165, 173, 178, 190, 192, 193, 196, 209

Projeto 1, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 25, 61, 62, 70, 71, 74, 103, 152, 156, 177, 191, 192, 207, 208, 209, 219, 235

Prontidão 1

R

Reaproveitamento 190, 192, 194, 195, 196

Rede de Petri 60, 64

Requisitos 1, 39, 60, 61, 62, 63, 65, 67, 68, 70, 74, 75, 79, 90, 178, 179, 188, 189

Rodovias 190, 191, 194

S

Saúde 53, 68, 70, 71, 74, 75

Sistemas Complexos 31, 38, 60, 62
Sistemas de satélite 30, 31
Sistemas Embarcados 60, 61, 63, 64, 65, 67
Stakeholders 1, 2, 3, 4, 5, 8, 11, 12, 39, 40, 41, 43, 44, 45
SysML 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67

T

Tecnologia 37, 38, 47, 48, 49, 50, 56, 58, 68, 69, 74, 128, 134, 174, 175, 189, 190, 208, 236
Tecnologia hidrocínética 47, 48, 49, 56
Tissue engineering 135, 144, 145
Topsoil 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198
transição energética 47, 55, 58
Transição energética 48
Transport phenomena 134, 135

 **Atena**
Editora

2 0 2 0