

# REVISTA



**SOLUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO PAÍS**

Atendimento:  
sodebras@sodebras.com.br  
Acesso:  
<http://www.sodebras.com.br>

## ARTIGOS PUBLICADOS

PUBLICAÇÃO MENSAL  
Nesta edição

ESTUDO DE LOCALIZAÇÃO DE ÁREAS PROPÍCIAS PARA IMPLANTAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO NO PERÍMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE PATO BRANCO	
LOCATION STUDY OF SUITABLE AREAS FOR IMPLEMENTATION OF A LANDFILL IN THE URBAN PERIMETER AT PATO BRANCO CITY - Heloisa Balbinotti Molinete; Marina Myszak Biedacha; Ney Lyzandro Tabalipa .....	08
CORRELAÇÃO ENTRE PARTO PREMATURO, POLUENTES DO AR E MODELAGEM FUZZY	
CORRELATION BETWEEN PREMATURE BIRTH, AIR POLLUTANTS AND FUZZY MODELING – Taynara de Oliveira Castellões; Paloma Maria Silva Rocha Rizol; Luiz Fernando Costa Nascimento .....	16
THE ROLE OF FLORISTIC COMPOSITION IN DEGRADED CERRADO REGENERATION (MINEIROS/GO-BRAZIL)	
O PAPEL DA COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA NA REGENERAÇÃO DE CERRADO DEGRADADO (MINEIROS/GO-BRAZIL) – Gildomar Alves dos Santos; David Francis Robert Philip Burslem; Jonathan Goularte Silva; Stanislaw Parreira Cardozo .....	28
EFEITO DA PROFUNDIDADE DA COLUNA D'ÁGUA EM PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA NA UHE DE SAMUEL-RO	
EFFECT OF WATER COLUMN DEPTH ON WATER QUALITY PARAMETERS AT SAMUEL-RO HPP – Hemilton Cardoso da Costa; Simone de Fátima Pinheiro Pereira; Poliana Clara Tavares da Cruz; Rafael Tsuyoshi Lins Kawagoe .....	36
ESTUDO DE PARÂMETROS EUTROFIZANTES NO RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA DE SAMUEL-RO	
STUDY OF EUTROFIZING PARAMETERS IN THE SAMUEL-RO HYDROELECTRIC PLANT RESERVOIR – Hemilton Cardoso da Costa; Simone de Fátima Pinheiro Pereira; Rafael Tsuyoshi Lins Kawagoe; Poliana Clara Tavares da Cruz .....	47
A TERRA COMO ALTERNATIVA DE MATERIAL NO CONTEXTO DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS	
SOIL AS AN ALTERNATIVE MATERIAL IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE BUILDINGS – Jaqueline Arice Gaudencio da Silva; Teófilo Miguel de Souza .....	56
COMPARAÇÃO ENTRE O DESEMPENHO DE CLASSIFICADORES BASEADOS EM RNA APLICADOS A COMPONENTES PRINCIPAIS E INDICADORES ESTATÍSTICOS NA IDENTIFICAÇÃO DE ESTADOS DE CONSERVAÇÃO DE ESTRUTURAS	
COMPARISON BETWEEN THE PERFORMANCE OF ANN-BASED CLASSIFIERS APPLIED TO PCA AND STATISTICAL INDICATORS FOR SHM – Cássio de Castro Motta; Clayton Felício da Silva; Lucas Vieira Resende; Matheus Júnior Silveira Dalcin; Flávio de Souza Barbosa .....	63
DESEMPENHO ESTRUTURAL DE TRELIÇAS DE BAMBU CONSTRUÍDAS COM TRÊS DIFERENTES LIGAÇÕES	
STRUCTURAL PERFORMANCE OF BAMBOO TRUSSES BUILT WITH THREE DIFFERENT JOINING SYSTEMS – Tiago Radaskiewicz; Pierre Luis Alves .....	69

COMPARAÇÃO DE APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS DE PEQUENO PORTES TAIS COMO BOMBA-SOLAR, EÓLICO E RODA D'ÁGUA COMO ENERGIA ALTERNATIVA PARA FINS DE BOMBEAMENTO D'ÁGUA	
COMPARISON OF SMALL-SIZED APPLICATIONS OF TECHNOLOGIES SUCH AS SOLAR-PUMP; WIND AND WATER-WHEEL AS ALTERNATIVE ENERGY DESTINED TO WATER PUMP – Andrei Testi; Teófilo Miguel de Souza; Isabel Cristina Trannin .....	75
DETECÇÃO DE VÃOS LIVRES EM DUTOS RÍGIDOS SUBMARINOS UTILIZANDO VISÃO COMPUTACIONAL E APRENDIZADO PROFUNDO	
FREE SPAN DETECTION IN SUBMARINE RIGID PIPELINE USING COMPUTER VISION AND DEEP LEARNING – Afonso Brizon Portugal; Shirley Peroni Cani; Mariana Rampinelli Fernandes .....	87
ESTRUTURA MÓVEL DE RASTREAMENTO SOLAR COM DILATAÇÃO METÁLICA	
MOBILE STRUCTURE FOR SOLAR TRACKING WITH METALLIC EXPANSION – Rafael Soares de Souza; Natasha Martins Rodrigues de Jesus; Thais SantosCastro; Teófilo Miguel de Souza .....	93
REDUÇÃO NO CONSUMO DE GÁS NATURAL EM FORNOS SIDERÚRGICOS DE REAQUECIMENTO CONTÍNUO	
REDUCTION IN NATURAL GAS CONSUMPTION IN CONTINUOUS REHEATING STEEL FURNACES – Fernando Henrique Mayworm de Araujo; Leila Ribeiro dos Santos; João Andrade de Carvalho Junior .....	100
COM AHP MULTICRITERIA PARA APOIAR O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÕES: APLICAÇÃO EM UMA INDÚSTRIA METAL-MECÂNICA	
MATURITY INDEX ASSESSMENT COMBINED WITH AHP MULTICRITERIA TO SUPPORT THE DECISION-MAKING PROCESS: APPLICATION IN A METALMECHANIC INDUSTRY – Tainá da Rocha; Anderson Luis Szejka; Eduardo de Freitas Rocha Loures; Osiris Canciglieri Junior .....	106
MELHORES PRÁTICAS EM ECOSISTEMAS DE INOVAÇÃO EM UNIVERSIDADES: REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA	
BEST PRACTICES IN UNIVERSITIES INNOVATION ECOSYSTEMS: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW – Lucas Sydorak Lessa; Michele Marcos de Oliveira; Osiris Canciglieri Júnior .....	120
PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DE PRODUTOS: DESAFIOS PARA GARANTIR A SATISFAÇÃO DO USUÁRIO DE PRÓTESES DE MEMBRO SUPERIOR	
INTEGRATED PRODUCT DEVELOPMENT PROCESS: CHALLENGES TO ENSURE UPPER LIMB PROSTHESIS USER SATISFACTION – Kelulin Good Rogeski; Osiris Canciglieri Junior; Adriana de Paula Santos; Amanda Lacerda Santos .....	126
REQUISITOS PARA MELHOR EFETIVIDADE DE PRÓTESES DO MEMBRO SUPERIOR	
REQUIREMENTS FOR BETTER EFFECTIVENESS OF UPPER LIMB PROSTHESES – Amanda Lacerda Santos; Osiris Canciglieri Junior; Adriana de Paula Santos; Kelulin Good Rogeski .....	132



Edição 212 de agosto de 2023

<http://www.sodebras.com.br/>

ISSN - 1809-3957

DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957>

### CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza, UNESP-FEG (Editor Geral).  
Prof. Dr. Paulo Jonas dos Santos Júnior, UNESP-FEG (Editor Adjunto).  
Prof. Dr. Osiris Canciglieri Júnior, Lough. Univ-UK, PUC-PR.  
Prof. Dr. Maria Cláudia Botan, UNESP-FEC.  
Prof. Dr. Thais Santos Castro, UNESP.  
Prof. Dr. Agustín Valverde Granja, Universidad de Ibagué- Colômbia.  
Prof. Dr. Joacy de Lima Freitas Junior, Agência Nacional de Aviação Civil.  
Prof. Dr. José Leandro Casa Nova Almeida, Instituto Federal-RJ.  
Prof. Dr. Marcio Zamboti Fortes, UFF.  
Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior, UTFPR.  
Prof. Dr. José Rui Camargo, UNITAU.  
Prof. Dr. José Renato de Oliveira Lima, Universidade Federal do Maranhão.

### COMITÊ CIENTÍFICO

Valdir Agostinho de Melo, COPPE/UFRJ	Paulo Bassani, UEL
Juliana Corrêa Crepalde, CTIT/ UFMG	Marlene Marchiori, UEL
Lila Teixeira de Araújo Janahú, ESAMAZ	Carlos Humberto Martins, UEM
Volmer Avelino Silvio Paula da Silveira, Estácio	Paulo Fernando Soares, UEM
Durval Corrêa Meirelles, Estácio	Deisy Cristina Corrêa Igarashi, UEM
Ana D'Arc Martins de Azevedo, FAAM/UEPA	Moisés Meza Pariona, UEPG
Maria Lígia Carrijo Monteiro, FACEG	Jarem Raul Garcia, UEPG
Marcus Antonius Costa Nunes, Fac. Vale do Cricaré - PE	Elizabete Campos de Lima, UFABC
Zélia Maria De Melo De Lima Santos, FALUB.	Carlos Suetoshi Miyazawa, UFABC
Sérgio Roberto Montoro, FATEC - Pindamonhangaba	Marcio Zamboti Fortes, UFF
Claudio Antonio Frederico, IEAV / CTA	Pablo Silva Machado Bispo dos Santos, UFF
Maria Manuela Camino Feltes, IFC	Paulo Henrique Furtado de Araujo, UFF
Felipe José da Silva, IFRJ	Paulo Sérgio Scalize, UFG
Givanildo Alves dos Santos, IFSP	Juliana da Cunha, UFG
Paulo Marcos de Aguiar, IFSP	Hilton Pereira da Silva, UFPA
Airton Viriato de Freitas, INSTITUTO DE	Anderson Gonçalves da Silva, UFRA
INFECTOLOGIA EMÍLIO RIBAS	Antonio Carlos Baptista Antunes, UFRJ
Claudio Edilberto Höfler, Instituto Federal Farroupilha	Claudinei de Souza Guimarães, UFRJ
Leila Ribeiro dos Santos, ITA / CTA	Antônio Assis Vieira, UFRRJ
Letícia Peret Antunes Hardt, PUC –PARANÁ	Joel Dias da Silva, UFSC
Eduardo Concepción Batiz, SOCIESC	Leandro Belinaso Guimarães, UFSC
Marcelo Macedo, SOCIESC	Silvio Serafim da Luz Filho, UFSC
Ariovaldo de Oliveira Santos, UEL	Antonio Pedro Novaes de Oliveira, UFSC
André Luiz Martinez de Oliveira, UEL	Rozângela Curi Pedrosa, UFSC
Leonardo Sturion, UEL	Débora de Oliveira, UFSC
Jean-Marc Stephane Lafay, UEL	Fabiano Rodrigues de Souza, UFT -TO
Emília Kiyomi Kuroda, UEL	Cláudio Homero Ferreira da Silva, UFU
Henrique de Santana, UEL	Márcia Susana Nunes Silva, ULBRA
Marli Terezinha Oliveira Vannuch, UEL	Maria Eloisa Farias, ULBRA

Maria Lúcia Castagna Wortmann, ULBRA  
 Hélio Raymundo Ferreira Filho, UNAMA/UEPA  
 Maria Claudia Botan, UNESP  
 Ana Maria Pires Soubhia, UNESP - Araçatuba  
 Eduardo Maffud Cilli, UNESP - Araraquara  
 Helena Carvalho de Lorenzo, UNESP - Araraquara  
 Heitor Miranda Bottura, UNESP - Bauru  
 Helio Grassi Filho, UNESP - BOTUCATU  
 Lenisse Domingos dos Santos Cintra Lima, UNESP.  
 Augusto Eduardo Baptista Antunes, UNESP.  
 Durval Luiz Silva Ricciulli, UNESP - Guaratinguetá  
 Francisco Antônio Lotufo, UNESP - Guaratinguetá  
 Inácio Bianchi, UNESP - Guaratinguetá  
 João Zangrandi Filho, UNESP - Guaratinguetá  
 José Feliciano Adami, UNESP - Guaratinguetá  
 Leonardo Mesquita, UNESP - Guaratinguetá  
 Marcio Abud Marcelino, UNESP - Guaratinguetá  
 Messias Borges Silva, UNESP - Guaratinguetá  
 Rubens Alves Dias, UNESP - Guaratinguetá  
 Sílvia Maria A. Lima Costa, UNESP - Ilha Solteira  
 Gláucia Aparecida Prates, UNESP - Itapeva  
 Áureo Evangelista Santana, UNESP - Jaboticabal  
 Teresa Cristina Tarele Pissarra, UNESP - Jaboticabal  
 Gilda Carneiro Ferreira, UNESP - Rio Claro  
 Fernando Luis Ferttonani, UNESP - São José do Rio Preto  
 Azor Lopes da Silva Júnior, UNESP - São José do Rio Preto  
 Andréa Rossi Scalco, UNESP - Tupã  
 José Renato Oliveira de Lima, UNESP-IQ, Araraquara  
 Luiz Antonio Rossi, UNICAMP  
 Nelson Nunes Tenório Júnior, UNICESUMAR  
 Luis Henrique de Carvalho Ferreira, UNIFEI - Itajubá  
 Paulo Cesar Crepaldi, UNIFEI - Itajubá  
 Robson Luiz Moreno, UNIFEI - Itajubá  
 Tales Cleber Pimenta, UNIFEI - Itajubá  
 Fernando das Graças Braga da Silva, UNIFEI - Itajubá  
 Leonardo Breseghello Zoccal, UNIFEI-Itajubá  
 Larissa Morimoto Doi, UNIFESP  
 Fernando Kenji Nampo, UNIFIL  
 Adriano Vargas Freitas, UNIGRANRIO  
 Angelo Santos Siqueira, UNIGRANRIO  
 Eline das Flores Victor, UNIGRANRIO  
 Luiz Eduardo Silva Souza, UNIGRANRIO  
 Michel Jean Marie Thiollent, UNIGRANRIO  
 Abel Rodolfo Garcia Lozano, UNIGRANRIO / UERJ  
 Lileane Praia Portela de Aguiar, UNINORTE.  
 Eliane Cardoso Brenneisen, UNIOESTE  
 Luiz Ernani Henkes, UNIPAMPA  
 Maria Conceição de Oliveira, UNIPLAC  
 Wilson Engelmann, UNISINOS  
 Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia, UNITAU  
 Pedro Paulo Leite do Prado, UNITAU  
 Luiz Eduardo Nicolini do Patrocínio Nunes, UNITAU  
 Adriana Araujo Diniz, UNIV. ESTADUAL DO  
 MARANHÃO  
 Danilo Émmerson Nascimento Silva, UNIV. FEDERAL DE  
 PERNAMBUCO  
 Adelar João Pizetta, UNIV. FEDERAL DO ESPÍRITO  
 SANTO  
 Adriana Fiorotti Campos, UNIV. FEDERAL DO ESPÍRITO  
 SANTO  
 Adriana Demite Stephani Carvalho, UNIV. FEDERAL DO  
 TOCANTINS  
 Ademir Gomes Ferraz, UNIV. FEDERAL RURAL DE  
 PERNAMBUCO  
 Rudimar Luís Scaranto Dazzi, UNIVALI  
 Carlos Nabil Ghobril, Universidade de São Paulo - USP  
 Filomena Maria Cordeiro Moita, Universidade Estadual da  
 Paraíba  
 Márcia Maria Melo Araújo, Universidade Estadual de Goiás  
 Élsio José Corá, Universidade Federal da Fronteira do Sul -  
 UFFS  
 Edemar Rotta, Universidade Federal da Fronteira do Sul -  
 UFFS  
 Walter Roberto Hernández Vergara, Universidade Federal de  
 Grande Dourados - FAEN-UFGD  
 Édison Martinho da Silva Difante, Universidade Federal de  
 Passo Fundo - RS  
 Antonio Amaral Barbosa, Universidade Federal de Pelotas  
 João Carlos Gomes, Universidade Federal de Rondônia  
 ANA EUCARES VON LAER, Universidade Federal de  
 Santa Maria - UFSM  
 André Riani Costa Perinotto, Universidade Federal Do Piauí,  
 Campus De Parnaíba  
 Diogo da Silva Cardoso, UFRJ.  
 Cláudia Moura de Melo, Universidade Tiradentes.  
 Osvaldo Yoshimi Tanaka, USP  
 Ana Cristina D'andretta Tanaka, USP  
 Heloiza Helena Gomes de Matos, USP  
 Rodrigo Pinto de Siqueira, USP - Lorena  
 José Leandro Casa Nova Almeida, USS  
 Adalberto Matoski, UTFPR  
 Guataçara dos Santos Junior, UTFPR  
 Rita de Cassia da Luz Stadler, UTFPR  
 Juarez da Silva Thiesen, UTFPR  
 Maria de Lourdes Bernartt, UTFPR  
 Alessandro Jaquil Waclawovsky, UTFPR  
 Pedro Ramos da Costa Neto, UTFPR  
 Frieda Saicla Barros, UTFPR  
 Rogério Marcos da Silva, UTFPR  
 Gerson Máximo Tiepolo, UTFPR  
 Jair Urbanetz Junior, UTFPR  
 Ariel Orlei Michaloski, UTFPR  
 Fabiana de Fátima Giacomini, UTFPR  
 Ieda Viana, UTP  
 Camila Nunes de Moraes Ribeiro, UTP  
 Angela Ribas, UTP  
 Sandro Germano, UTP  
 Maria Rose Jane Ribeiro Albuquerque, UVA- Acaraú  
 Luciano Silva Figueiredo, UFRGS  
 Gerson dos Santos Lisboa, UFG-GO  
 Laercio Gouvea Gomes - IFPA



*SOLUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO PAÍS*

ISSN: 1809-3957 / Prefixo DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957>

Vol. 18 – Nº 212 – AGOSTO/ 2023

## EDITORIAL

A SODEBRAS – Soluções Para o Desenvolvimento do País – publica artigos científicos das mais diferentes áreas do conhecimento. Devido seu caráter interdisciplinar e a qualidade de seu corpo editorial a Revista tem sido utilizada por pesquisadores do Brasil e do mundo, para publicar estudos de alta relevância para o desenvolvimento técnico-científico da sociedade humana. Além disso, a SODEBRAS conta com o apoio da UNALAR, editora que está no mercado há mais de duas décadas; e também do ITANACIONAL, instituto de ensino e pesquisa localizado em Cisneiros - distrito de Palma-MG. Para contribuir com uma dinâmica ainda maior, no que diz respeito à circulação e a produção do conhecimento, a SODEBRAS adota uma periodização mensal. Sabe-se que em um mundo de rápidas mudanças e de constantes transformações a ciência precisa estar na vanguarda da propagação de informações. Além disso, as edições possuem formato eletrônico de acesso livre e gratuito, assim como indexação nacional e internacional.

De acordo com a classificação dos periódicos avaliados pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (QUALIS / CAPES), somos extrato B2, o que demonstra a seriedade do trabalho realizado pela revista.

Nesta edição, na busca de contribuir para o desenvolvimento tecnológico e científico, a SODEBRAS trouxe dezesseis artigos acadêmicos, oriundos das mais diversificadas áreas do conhecimento humano.

Neste mês de agosto o Equador, país vizinho ao Brasil, deu um passo histórico, ao decidir, por meio de um plebiscito popular, dar fim à exploração de petróleo na Amazônia; dessa maneira, espera-se que a plataforma petroleira no Parque Nacional Yasuní seja desativada até 2024. Espera-se que para os anos vindouros o principal desafio seja conciliar desenvolvimento tecnológico e sustentabilidade, e assim, buscar com inteligência soluções para o desenvolvimento dos países.

Boa leitura

Prof. Dr. Paulo Jonas dos Santos Júnior  
Editor Adjunto – Revista SODEBRAS

## Área: Ciências Humanas e Sociais

---

6-5	<p><b>ESTUDO DE LOCALIZAÇÃO DE ÁREAS PROPÍCIAS PARA IMPLANTAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO NO PERÍMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE PATO BRANCO</b></p> <p><b>LOCATION STUDY OF SUITABLE AREAS FOR IMPLEMENTATION OF A LANDFILL IN THE URBAN PERIMETER AT PATO BRANCO CITY</b></p> <p>Heloisa Balbinotti Molinete; Marina Myszak Biedacha; Ney Lyzandro Tabalipa</p>
-----	---

## ESTUDO DE LOCALIZAÇÃO DE ÁREAS PROPÍCIAS PARA IMPLANTAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO NO PERÍMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE PATO BRANCO

### LOCATION STUDY OF SUITABLE AREAS FOR IMPLEMENTATION OF A LANDFILL IN THE URBAN PERIMETER AT PATO BRANCO CITY

Heloisa Balbinotti Molinete <sup>1</sup>  
Marina Myszak Biedacha <sup>2</sup>  
Ney Lyzandro Tabalipa <sup>3</sup>

**Resumo:** Estudo sobre resíduos sólidos urbanos deste município realizado em 2004 demonstrou que o serviço de limpeza pública coletava cerca de 30.000 kg por dia, totalizando 150 toneladas de lixo por semana, tendo como destinação final o lixão localizado nas proximidades da cidade (TABALIPA, FIORI, 2016). Este lixão foi adaptado como aterro sanitário e entrou em funcionamento apenas em agosto de 2014 (STARCK, 2015). O objetivo deste trabalho é identificar áreas propícias para implantação de um aterro sanitário no perímetro urbano do município de Pato Branco-PR, conforme a NBR 13.896, utilizando a estimativa de crescimento do volume resíduos produzidos proporcionalmente ao aumento da população, utilizou-se também software de sistema de informação geográfica para análise de dados georreferenciados relacionados aos parâmetros determinados pela norma. A área estimada para o aterro sanitário é de 68306 m<sup>2</sup>. Ao englobar todos os parâmetros recomendados e limitantes, foi possível indicar quatro opções para alocação do aterro localizados no nordeste do perímetro urbano.

**Palavras-chave:** Aterro sanitário. Resíduos sólidos urbanos. SIG.

**Abstract:** A study on urban solid waste in this city, on 2004, showed that the public cleaning service collected about 30,000 kg per day, totaling 150 tons of garbage per week, with the final destination being the dump located near the city (TABALIPA, FIORI, 2016). This dump was adapted as a sanitary landfill and only started operating in August 2014 (STARCK, 2015). The objective of this paper is to identify suitable areas for the implementation of a sanitary landfill in the urban perimeter of Pato Branco-PR, according to NBR 13,896, using the estimated growth of the volume of waste produced in proportion to the increase in population, using geographic information system software for analysis of georeferenced data related to the parameters determined by the relevant law. The estimated area for the landfill is 68306 m<sup>2</sup>. By encompassing all the recommended and limiting parameters, it was possible to indicate four options for landfill allocation located in the northeast of the urban perimeter.

**Keywords:** Landfill. Urban solid waste. GIS.

<sup>1</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Pato Branco (UTFPR). Contato: helobalbi@gmail.com.

<sup>2</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Pato Branco (UTFPR). Contato: marinabiedacha@alunos.utfpr.edu.br.

<sup>3</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Pato Branco (UTFPR). Contato: lyzandro@utfpr.edu.br.



## I. INTRODUÇÃO

No Brasil, desde 1997, os aterros sanitários são regulamentados pela NBR 13896, a qual dispõe sobre as condições mínimas de implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos (ABNT, 1997).

Posteriormente, a Política Nacional de Resíduos Sólidos foi publicada com incentivo à coleta seletiva, reciclagem, a redução na geração de resíduos, a logística reversa, entre outros pontos e ainda, a eliminação dos lixões em até 4 anos (CIVIL, 2010).

Porém, a lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, conhecida como novo marco do saneamento básico, estendeu o prazo para regularização do descarte. Assim, cidades entre 50 e 100 mil habitantes têm até 2023 como prazo final (BRASIL, 2020).

O estudo de caracterização e classificação dos resíduos sólidos urbanos deste município realizado em 2004 demonstrou que o serviço de limpeza pública coletava cerca de 30.000 kg por dia, totalizando 150 toneladas de lixo por semana, tendo como destinação final o lixão localizado nas proximidades da cidade. Os resíduos eram destinados de forma totalmente inadequada, pois o lixão não possuía um sistema de impermeabilização e de drenagens dos líquidos percolados (chorume) (TABALIPA, FIORI, 2016). Este lixão foi adaptado como aterro sanitário e entrou em funcionamento apenas em agosto de 2014 (STARCK, 2015).

Portanto, o objetivo deste trabalho é identificar áreas propícias para implantação de um aterro sanitário implementado segundo a legislação referente a NBR 13.896 no perímetro urbano do município de Pato Branco-PR, por meio da utilização de software de sistema de informação geográfica para análise de dados relacionados aos parâmetros determinados pela norma.

## II. METODOLOGIA

O município de Pato Branco está situado no sudoeste do estado do Paraná, aproximadamente 439 km distante da capital, Curitiba. A cidade tem 539,087 km<sup>2</sup> de área territorial e população estimada, no ano de 2021, em 84.779 pessoas (IBGE, 2021).

Conforme a NBR 13896 (ABNT,1997), ao definir um local para o aterro, deve-se atentar para que o impacto ambiental seja minimizado e a aceitação da instalação pela população seja maximizada, esteja de acordo com o zoneamento da região e ainda possaser utilizado por um longo período.

Além disso, a norma estabelece critérios para avaliar a adequabilidade do local, os quais serão analisados:

- Topografia: recomendam-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%;
- Geologia: desejável a existência, no local, de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a  $10^{-6}$ cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 metros;
- Recursos hídricos: o aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200 metros de qualquer coleção hídrica ou curso de água;
- Vegetação: pode influenciar na escolha de uma área quanto aos aspectos de redução do fenômeno de erosão, da formação de poeira e transporte de odores;
- Acessos: necessidade evidente durante implantação, e posterior, operação;
- Distância mínima a núcleos populacionais: recomenda-se que esta distância seja superior a 500 metros;
- Custos: fator de grande variabilidade, importante analisar a viabilidade econômica do empreendimento.

- Tamanho e vida útil: recomenda-se a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos.

Tais parâmetros foram analisados por meio de dados georreferenciados com a utilização de software de sistema de informação.

### III. RESULTADOS

A mancha urbana foi identificada e demarcada no software. Em seguida, a ferramenta amortecimento (também conhecida por buffer, na versão do programa em inglês), que é utilizada para delimitar a zona de influência a partir de um raio ou medida definida, foi aplicada para demarcar 500 metros de distância da mancha, como exige a legislação (Figura 1).

Para realizar a análise quanto à hidrografia, foi necessário identificar os rios dentro do perímetro urbano, o arquivo com toda a hidrografia do município foi fornecido pela Secretaria Municipal de Planejamento Urbano. Novamente, a ferramenta de amortecimento delimitou a distância de 200 metros a partir dos rios (Figura 2).

Também, foram delimitadas as principais classes de uso do solo: agricultura, mancha urbana e floresta. Nesta etapa, foi possível identificar a existência de impactos ambientais motivados pelos cultivos agrícolas na região nas áreas de vegetação nativa preservada, e um grau de fragmentação, conforme mapa de uso e ocupação do solo elaborado (Figura 3).

Ainda, a norma recomenda que o aterro seja implantado em locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%, os quais foram identificados por meio do estudo da declividade, que é determinada pela interpolação das curvas de nível na geração do Modelo Digital do Terreno, dessa forma foram realizados o estudo e a classificação da topologia do perímetro, conforme a Figura 4.

Em seguida, a aptidão para a ocupação foi determinada utilizando-se a associação de parâmetros apresentados (Figura 5). Ao englobar todos os parâmetros recomendados e limitantes, é possível identificar as áreas que são impróprias e/ou proibidas e as permitidas, o que facilita o entendimento e visualização global, demonstrado na Figura 6.

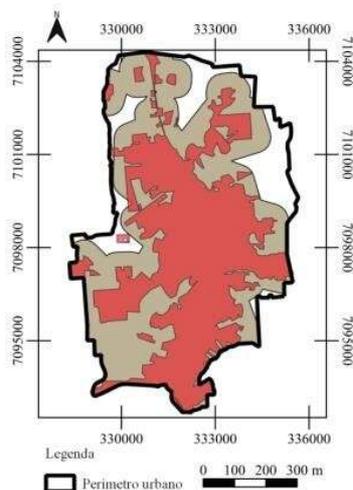


Figura 1 - Mancha urbana.  
Fonte: Autoria própria (2022).

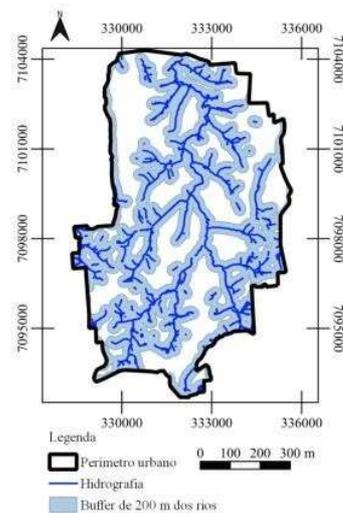


Figura 2 - Hidrografia com distância de 200 metros a partir dos rios.  
Fonte: Autoria própria (2022).

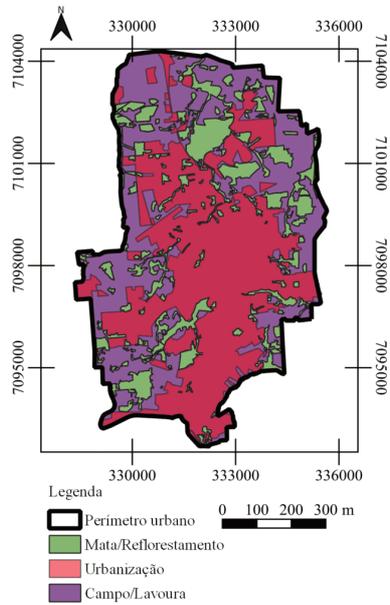


Figura 3 - Uso e ocupação do solo.  
Fonte: Autoria própria (2022).

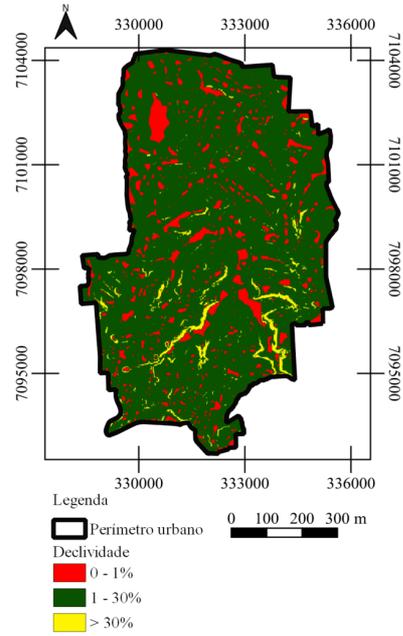


Figura 4 – Declividade.  
Fonte: Autoria própria (2022).

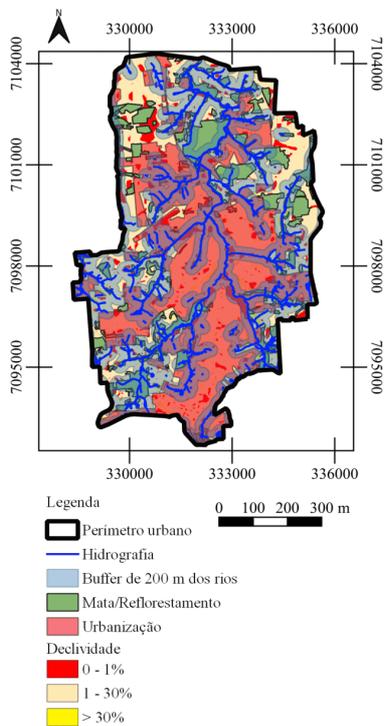


Figura 5 - Associação de parâmetros.  
Fonte: Autoria própria (2022).

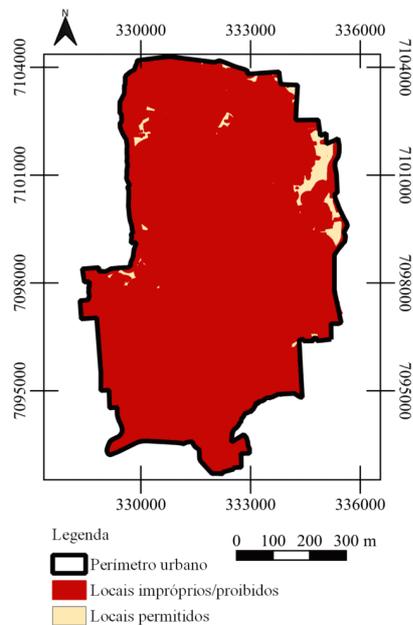


Figura 6 - Indicação dos locais permitidos e impróprios para implantação.  
Fonte: Autoria própria (2022).

Por fim, o volume de resíduos foi estimado de forma proporcional ao crescimento da população, pelo método aritmético, que considera o aumento em relação a uma taxa constante.

Para o cálculo do volume dos resíduos foram feitas as seguintes considerações:

- Peso específico do lixo de 250 kg/m<sup>3</sup>;

- Ano composto por 365 dias;
- Haverá redução de 20%, em função da reciclagem.

Utilizando os dados de população a partir de 2010, a população e sua produção de resíduos foram estimadas até 2033 (Tabela 1).

Tabela 1 – Estimativa de crescimento da população e respectivo volume de lixo por ano.

Ano	Pop.	Lixo per capita (kg/hab./dia)	População atendida pela coleta de lixo (%)	Peso		Volume		Considerando que haverá reciclagem - Redução de 20% (m³/ano)
				(ton./dia)	(ton./ano)	(m³/dia)	(m³/ano)	
2022	94239	0.60	0.95	54	19606	215	78426	62741
2033	114286	0.90	1.00	103	37543	411	150171	120137
<b>Total</b>						<b>3760</b>	<b>1372397</b>	<b>1097918</b>

Para definir a área necessária para a implantação do aterro foram feitas as seguintes definições:

- Profundidade do aterro será de 14 metros;
- Compactação do lixo será na proporção de 1:3;
- Acréscimo de 30% na área calculada para incluir a circulação decaminhões durante a operação.

Com isso, a área necessária para implantação e operação foi definida em **68.306,00m²**.

Dessa forma, quatro opções para alocação do aterro foram propostas e percebe-se que ainda há espaços disponíveis e aptos para instalação do aterro (Figura 7).

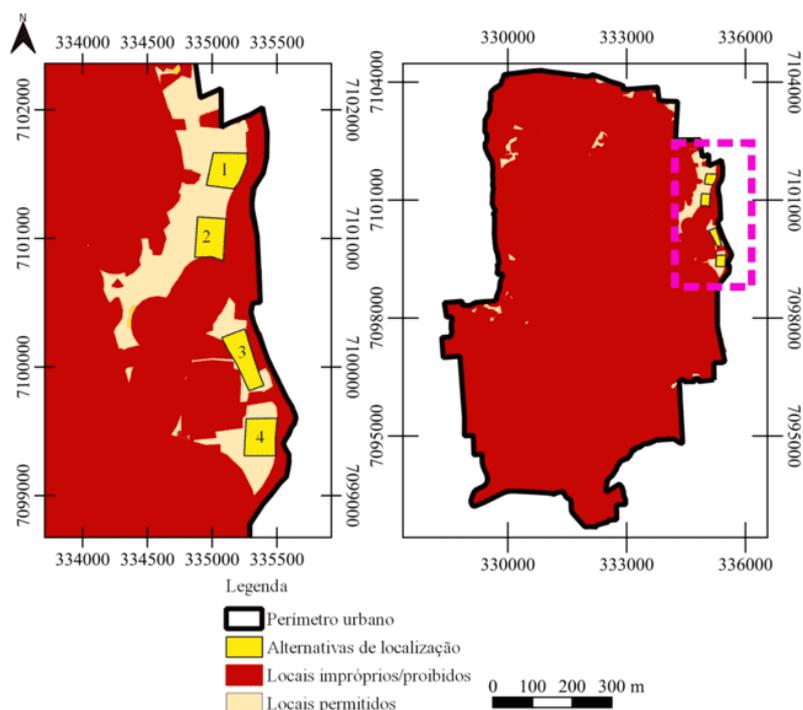


Figura 7 - Mapa de alternativas de localização para implantação do aterro.

Fonte: Autoria própria (2022).

#### IV. CONCLUSÃO

No mapa de associação dos parâmetros (Figura 5) é evidente que são muitas variáveis que indicarão os locais mais adequados para implantação do empreendimento, porém se destacam como mais limitantes, a hidrografia, pela quantidade de rios que atravessam o município e também a mancha urbana, já que Pato Branco é uma cidade bem urbanizada. Em áreas mais afastadas da mancha urbana, que seriam adequadas para implantação, há algumas áreas de mata e reflorestamento também cobrem uma área significativa. Ainda, outros espaços vagos foram impossibilitados pela declividade acentuada, ou abaixo de 1% ou acima de 30%.

Por meio da Figura 7, é possível observar que os únicos locais livres estão localizados no nordeste do perímetro urbano e apesar, de 4 opções serem viáveis, sugere-se que, para possibilitar e prever futuras ampliações, sejam optadas pelas opções 1 e 2 por possuírem maior espaço apto em seu entorno.

Ainda, durante este trabalho, a geologia não foi investigada, visto que a NBR 13896 (ABNT,1997) aponta apenas como desejável a existência de depósito de permeabilidade baixa e zona não saturada.

No que tange aos acessos, viabilidade econômica, impermeabilização e operação, recomenda-se constante verificação para melhor andamento das atividades do aterro.

A vegetação aos arredores do aterro torna-se uma vantagem, já que segundo a referida norma, contribui com a redução do fenômeno de erosão, da formação de poeira e transporte de odores.

Dessa forma, concluiu-se que o aterro sanitário do município de Pato Branco poderia ser implantado dentro do perímetro, conforme recomendações apresentadas, e estará de acordo com a legislação.

#### V. REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13896: Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 1997.
- BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências**. Diário Oficial da União 2020; 16 jul.
- CIVIL, Casa. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. **Institui a política nacional de resíduos sólidos**, em 2010.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados, 2021**. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/pato-branco.html> >. Acesso em: 12 out. 2022.
- STARCK, Keli. **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos: estudo de caso no município de Pato Branco-PR**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- TABALIPA, Ney Lyzandro. FIORI, Alberto Pio. **Caracterização e classificação dos resíduos sólidos urbanos do município de Pato Branco, PR**. Brazilian Journal of Environmental Sciences, 2006.

## VI. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo material incluído no artigo.

## Área: Ciências Agrárias e Biológicas

---

4-6	<b>CORRELAÇÃO ENTRE PARTO PREMATURO, POLUENTES DO AR E MODELAGEM FUZZY</b>  <b>CORRELATION BETWEEN PREMATURE BIRTH, AIR POLLUTANTS AND FUZZY MODELING</b> Taynara de Oliveira Castellões; Paloma Maria Silva Rocha Rizol; Luiz Fernando Costa Nascimento
5-2	<b>THE ROLE OF FLORISTIC COMPOSITION IN DEGRADED CERRADO REGENERATION (MINEIROS/GO-BRAZIL)</b>  <b>O PAPEL DA COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA NA REGENERAÇÃO DE CERRADO DEGRADADO (MINEIROS/GO-BRAZIL)</b> Gildomar Alves dos Santos; David Francis Robert Philip Burslem; Jonathan Goularte Silva; Stanislau Parreira Cardozo

## **CORRELAÇÃO ENTRE PARTO PREMATURO, POLUENTES DO AR E MODELAGEM FUZZY**

### ***CORRELATION BETWEEN PREMATURE BIRTH, AIR POLLUTANTS AND FUZZY MODELING***

Taynara de Oliveira Castellões<sup>1</sup>  
Paloma Maria Silva Rocha Rizol<sup>2</sup>  
Luiz Fernando Costa Nascimento<sup>3</sup>

**Resumo** – O parto prematuro é a principal causa de mortes neonatais em todo mundo, sua ocorrência pode estar relacionada a diversos fatores biológicos e externos. Esse estudo identificará, por meio da Lógica Fuzzy, a correlação entre parto prematuro e poluentes do ar, como Dióxido de Nitrogênio e Material Particulado. Para isso, informações de nascidos vivos foram extraídas do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) e os relatórios de emissão de poluentes foram coletados pelo portal da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) na cidade de São José dos Campos-SP durante o período de 2016 a 2018. O modelo proposto foi baseado no sistema de inferência Mamdani, e validado a partir de métricas de regressão e correlação.

**Palavras-chave:** Parto Prematuro. Lógica Fuzzy. Poluentes do Ar. Saúde Pública.

**Abstract** - Preterm birth is the main cause of neonatal deaths worldwide, its occurrence may be related to several biological and external factors. This study will identify, through Fuzzy Logic, the correlation between premature birth and air pollutants, such as Nitrogen Dioxide and Particulate Matter. For this, information on live births was extracted from the Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) and pollutant emission reports were collected through the portal of the Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) in the city of São José dos Campos -SP during the period from 2016 to 2018. The proposed model was based on the Mamdani inference system, and validated from regression and correlation metrics.

**Keywords:** Premature Birth. Fuzzy Logic. Air Pollutants. Public Health.

<sup>1</sup> Mestranda em Engenharia (UNESP); Pós-graduação em Gestão de Projetos (PUC/MG); Bacharel em Engenharia de Produção (UERJ). Contato: [taynara.silva@unesp.br](mailto:taynara.silva@unesp.br)

<sup>2</sup> Professora Assistente Doutora do Departamento de Engenharia Elétrica da FEG (UNESP); Vice Coordenadora do Programa de Pós-graduação da FEG (UNESP); Pós Doutoranda em Engenharia Elétrica (UNIFEI); Doutorado e mestrado em Engenharia Eletrônica e Computação (ITA); Bacharel em Engenharia Elétrica (UNESP). Contato: [paloma.rizol@unesp.br](mailto:paloma.rizol@unesp.br)

<sup>3</sup> Professor Assistente Doutor de Projetos na FEG (UNESP); Doutor em Saúde Pública (USP); Mestre em Física (UNESP); Bacharel em Medicina (USP) e em Física (UNESP). Contato: [fernando.nascimento@unesp.br](mailto:fernando.nascimento@unesp.br)



## I. INTRODUÇÃO

Parto prematuro é definido como o parto ocorrido antes de 37 semanas completas de gestação. Estima-se que 15 milhões de nascimentos prematuros ocorrem todos os anos, e um milhão de crianças morrem em decorrência de complicações do parto (BICK, 2012).

Além de ser a principal causa de mortes neonatais no mundo, a prematuridade pode ocasionar enfermidades não somente durante a infância, podendo perdurar até a fase adulta (LIU et al., 2016; HARRISON e GOLDENBERG, 2016).

No Brasil, a mortalidade infantil, número de óbitos menores de um ano de idade, a cada mil nascidos vivos, obteve taxa de 11,20 no ano de 2021 (IBGE, 2023a).

Para Steer e Flint (1999), o nível socioeconômico, idade e peso da mãe, presença ou ausência de companheiro, o hábito de fumar e fatores médicos, como prematuridade anterior, gravidez múltipla são algumas causas do parto prematuro.

Em estudos mais recentes, Nascimento, Machin e Santos (2017) encontraram associação entre a exposição materna a poluentes atmosféricos, como dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e Material Particulado com diâmetro aerodinâmico menor de 10 µm (PM<sub>10</sub>).

O material particulado é composto por partículas presentes na atmosfera, podendo ser visto, na maioria das vezes, ao olho nu, por meio de poeira, cinzas e fumaças. As partículas menores que 10 µm ficam retidas no trato respiratório, podendo causar diversos danos a saúde (WHO, 2006). Segundo Araújo et al. (2014) a emissão do PM<sub>10</sub> é proveniente da queima de combustíveis fósseis dos veículos, chaminés industriais e queimadas. Sendo esse poluente responsável por causar doenças alérgicas, cardiovasculares e respiratórias.

O Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>) é um poluente formado a partir de reações de Óxido Nítrico (NO) com Ozônio (O<sub>3</sub>) ou por reações fotoquímicas, as principais fontes de sua emissão estão nos processos de combustão dos veículos e indústrias (FINLAYSON-PITTS, PITTS; 1986). Esse poluente é apontado como o óxido de nitrogênio mais tóxico, sendo capaz de formar potenciais agentes cancerígenos e infecções respiratórias por bactérias (ZAKRZEWSK, 1997).

A inteligência artificial (IA) tem sido amplamente utilizada na medicina como auxílio a tomada de decisões e análises clínicas (CHAVES, 2013).

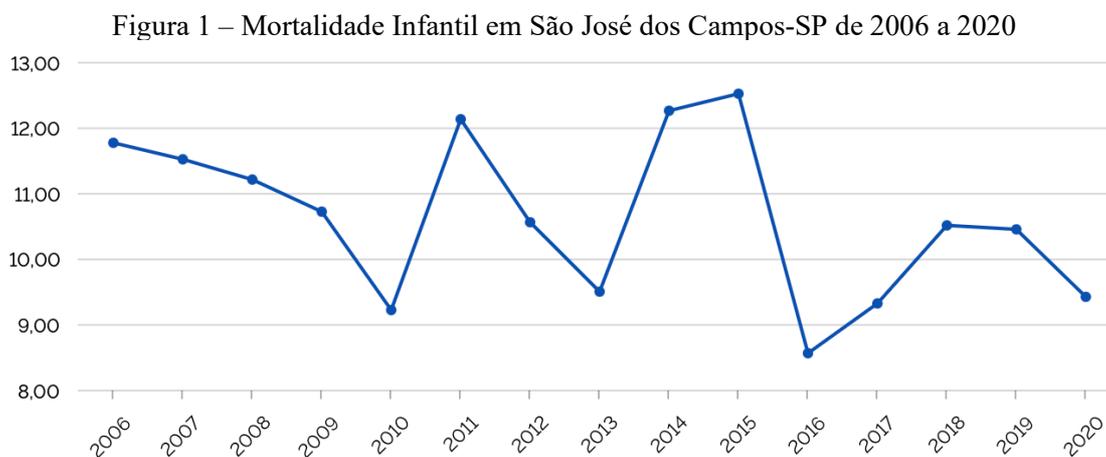
Uma das vertentes encontradas na IA é a chamada Lógica *Fuzzy* ou Difusa. Criada nos meados de anos 60 por Zadeh, sua utilização é recomendada para casos complexos, com incidência de imprecisão e incerteza, pois a partir de um modelo computacional é possível produzir um sistema com boas respostas (COX, 1994).

Para Jang (1993), cinco operações básicas são indispensáveis para o funcionamento de um sistema *fuzzy*: *fuzzificação*, capaz de transformar os dados de entrada em um conjunto *fuzzy*; base de regras; a base de conhecimento, formada pela base de dados e regras, contendo as funções de pertinência; inferência, podendo ser *Mamdani*, *Takagi-Sugeno* ou outros, e *defuzzificação*, responsável pela conversão de valores *fuzzy* em valores precisos.

O objetivo desse trabalho é apresentar a correlação entre a exposição da grávida a poluentes de ar e a outros fatores, como idade da mãe e número de consultas pré-natal realizadas, por meio da utilização da lógica *fuzzy*.

## II. METODOLOGIA

A cidade de São José dos Campos está localizada no interior do Estado de São Paulo, na região metropolitana do Vale do Paraíba. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023b), o município possui área territorial de 1.099,409 km<sup>2</sup>, população estimada em 2021 de 737.310 pessoas, com PIB per capita de 53.646,74 e Índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) de 0,807. Em 2020, ocorreram 9,44 óbitos por mil nascidos vivos, a taxa anual pode ser observada na Figura 1, onde o eixo Y representa a quantidade de óbitos por mil nascidos vivos e o eixo X representa os anos.



Fonte: IBGE, 2023b.

O Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) tem como missão “promover modernização por meio da tecnologia da informação para apoiar o Sistema Único de Saúde (SUS)” (DATASUS, 2023). A partir do portal de livre acesso ao público, foi possível visualizar o banco de dados com informações do Sistema de Informações sobre Nascidos Vivos (SINASC).

Por meio da extração do banco de dados, foram selecionadas as informações de todos os nascidos vivos prematuros de gestantes residentes no município de São José dos Campos (código IBGE 354990) entre 01/01/2016 e 31/12/2018. Foram excluídos dessa análise, dados de recém nascidos abaixo de 22 semanas completas e com peso inferior a 500 gramas, por serem considerados natimortos, partos gemelares e tri gemelares e ocorridos por cesariana.

A coleta de dados dos poluentes atmosféricos (PM<sub>10</sub> e NO<sub>2</sub>) foram obtidas através do portal da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) no indicador de Qualidade do Ar (QUALAR). O município de São José dos Campos possui duas estações medidoras e para esse estudo foi utilizada a média dos relatórios de valores diários das estações.

Após a seleção dos dados a serem utilizados, idade da mãe, número de consultas pré-natal, concentração de NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> e parto prematuro, foi possível realizar cálculos de valores mínimos, máximos, média e desvio padrão para cada variável, conforme Tabela 1. As concentrações dos poluentes são medidas em (µg/m<sup>3</sup>), idade da mãe em anos, e prematuridade em semanas de gestação.

Tabela 1 – Valores mínimos, máximos, média e desvio padrão para variáveis de entrada (idade da mãe, número de consultas, concentração de NO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub>) e saída (prematuridade) para dados de nascidos vivos entre 2016 a 2018 em São José dos Campos-SP

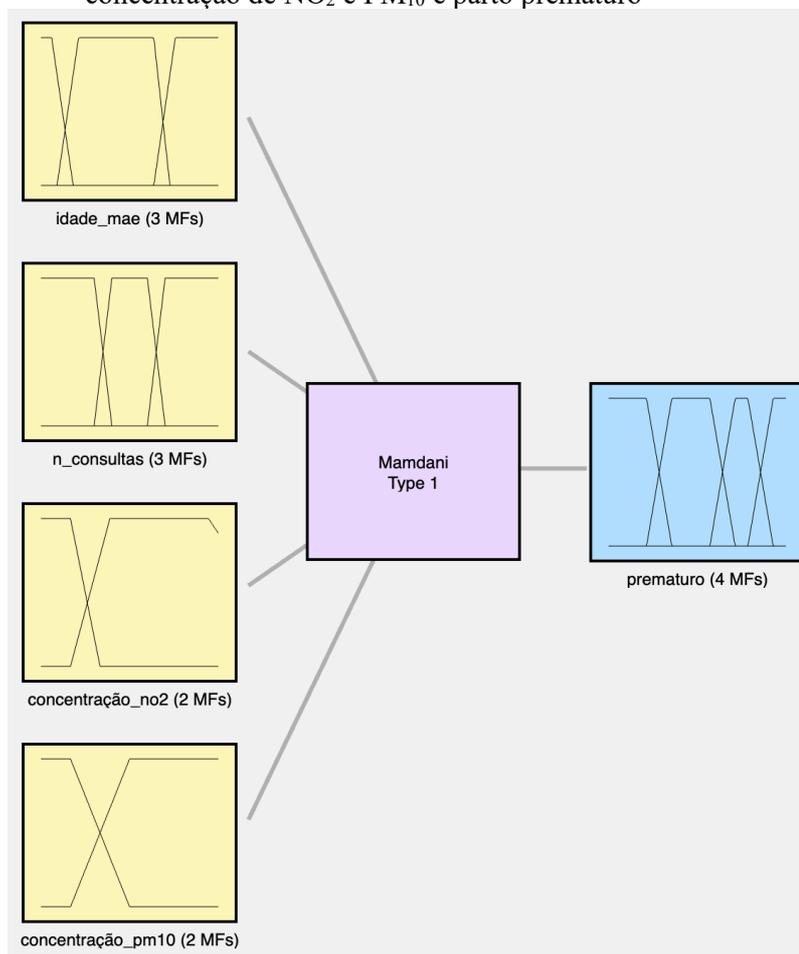
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Idade da mãe	12,0	45,0	26,4	6,9
Número de consultas	0,0	15,0	6,4	2,7
Concentração Dióxido de Nitrogênio	33,2	51,2	41,0	3,9
Concentração Material Particulado 10	18,2	29,7	23,5	2,3
Prematuridade	22,0	36,0	33,9	3,1

O software utilizado para a aplicação do sistema *fuzzy* foi o MATLAB, acrescido da ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox*, combinação na qual é possível criar um sistema através da inserção de dados “input” e criação de regras para a geração de dados de saída “output”.

O sistema utilizou o método de inferência *Mamdani* (também conhecido como máximo e mínimo) e para *defuzzificação* foi adotado o método da Centróide.

Dessa forma, o modelo proposto foi desenvolvido com as variáveis de entrada: idade da mãe, número de consultas pré-natal, concentração de NO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub>. Tendo como parto prematuro a variável de saída do sistema, conforme esquema representado na Figura 2.

Figura 2 – Sistema *fuzzy* para correlação entre idade da mãe, número de consultas pré-natal, concentração de NO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub> e parto prematuro



Fonte: Autores, 2023.

A primeira variável de entrada, idade de mãe, foi classificada entre baixa, média e alta, com parâmetros apresentados na Tabela 2, e função de pertinência de tipo trapezoidal.

Tabela 2 - Parâmetros do sistema *fuzzy* para classificação da idade da mãe

<b>Classificação</b>	<b>Parâmetros</b>
baixa	[-10 0 14 18]
média	[15 19 33 36]
alta	[33 37 45 50]

A segunda variável de entrada, número de consultas pré-natal, foi classificada em três funções de tipo trapezoidal: inadequada, regular e adequada, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros do sistema *fuzzy* para classificação do número de consultas pré-natal

<b>Classificação</b>	<b>Parâmetros</b>
inadequada	[-3 0 3 3 4]
regular	[3 4 6 7]
adequada	[6 7 10 15]

Para as últimas variáveis de entrada, concentração dos poluentes, foram escolhidas duas classificações, aceitável e inaceitável, de tipo trapezoidal. Os parâmetros para NO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub> são apresentados na Tabela 4 e 5, respectivamente.

Tabela 4 - Parâmetros do sistema fuzzy para classificação da concentração de Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>)

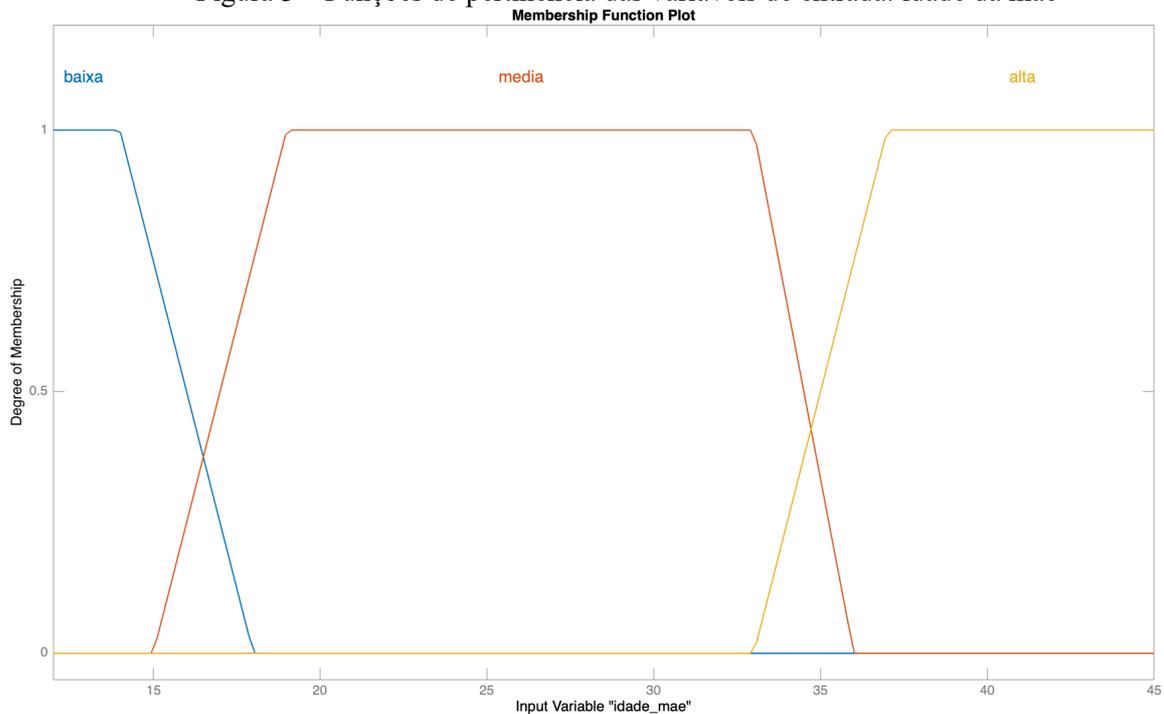
<b>Classificação</b>	<b>Parâmetros</b>
aceitável	[-36 0 36 39]
inaceitável	[36 40 50 60]

Tabela 5 - Parâmetros do sistema fuzzy para classificação da concentração de Material Particulado (PM<sub>10</sub>)

<b>Classificação</b>	<b>Parâmetros</b>
aceitável	[-20 0 20 24]
inaceitável	[20 24 30 40]

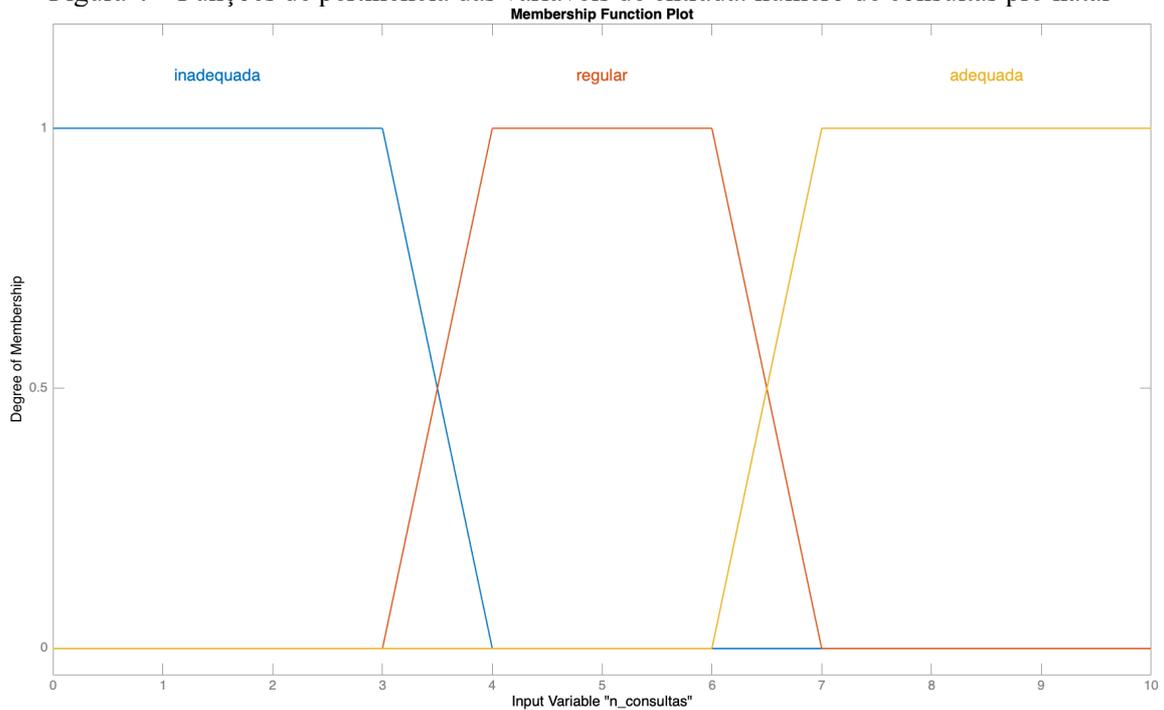
As funções de pertinência das variáveis de entrada do sistema *fuzzy* são representadas nas Figuras 3-6. A função para a idade da mãe é representada na Figura 3, enquanto a função do número de consultas pré-natal é ilustrada na Figura 4, as funções das concentrações dos poluentes NO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub> estão representadas nas Figuras 5 e 6, respectivamente.

Figura 3 – Funções de pertinência das variáveis de entrada: idade da mãe



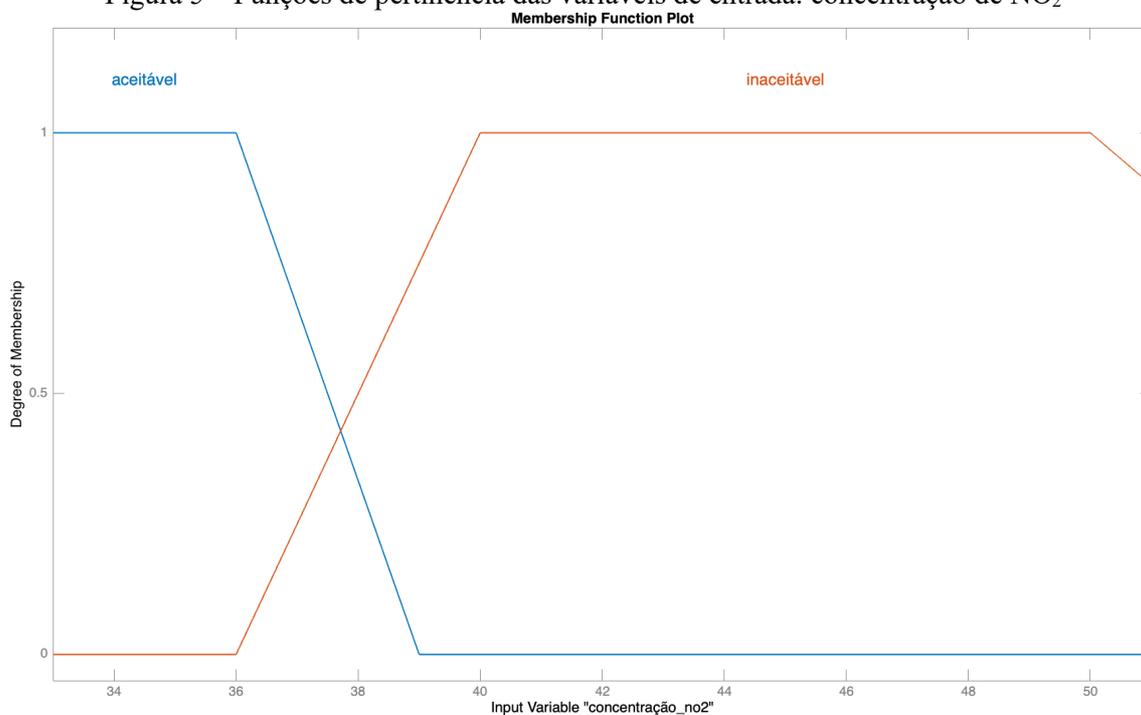
Fonte: Autores, 2023.

Figura 4 – Funções de pertinência das variáveis de entrada: número de consultas pré-natal



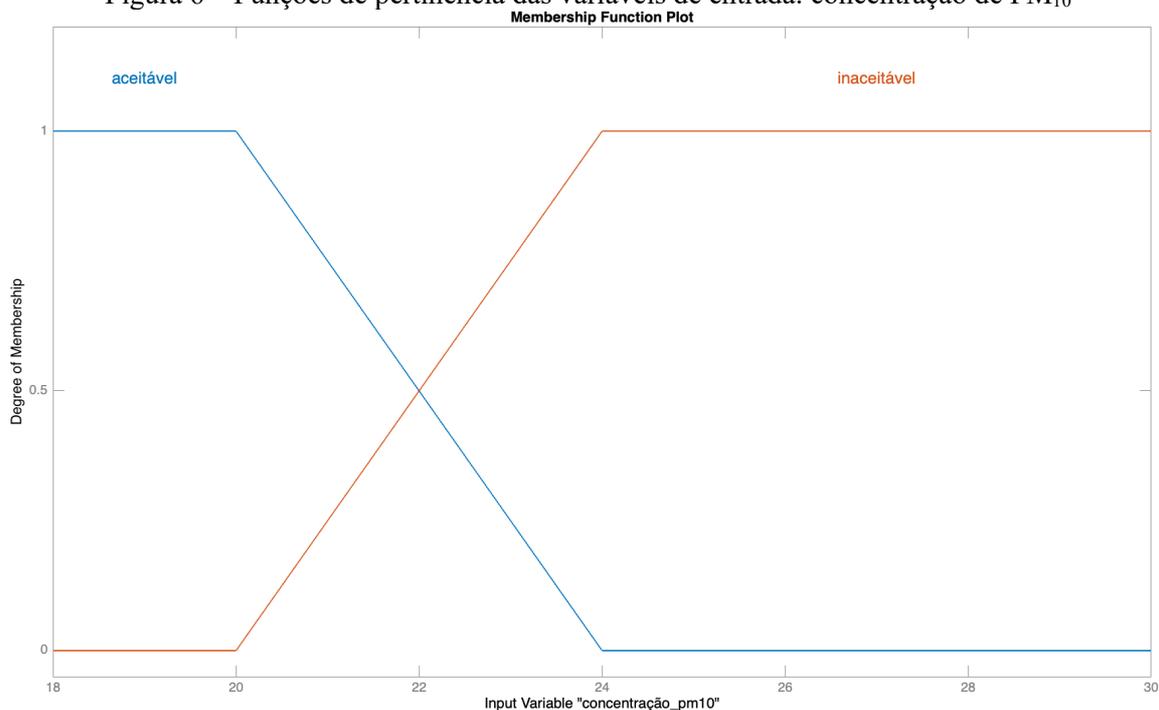
Fonte: Autores, 2023.

Figura 5 – Funções de pertinência das variáveis de entrada: concentração de NO<sub>2</sub>



Fonte: Autores, 2023.

Figura 6 – Funções de pertinência das variáveis de entrada: concentração de PM<sub>10</sub>



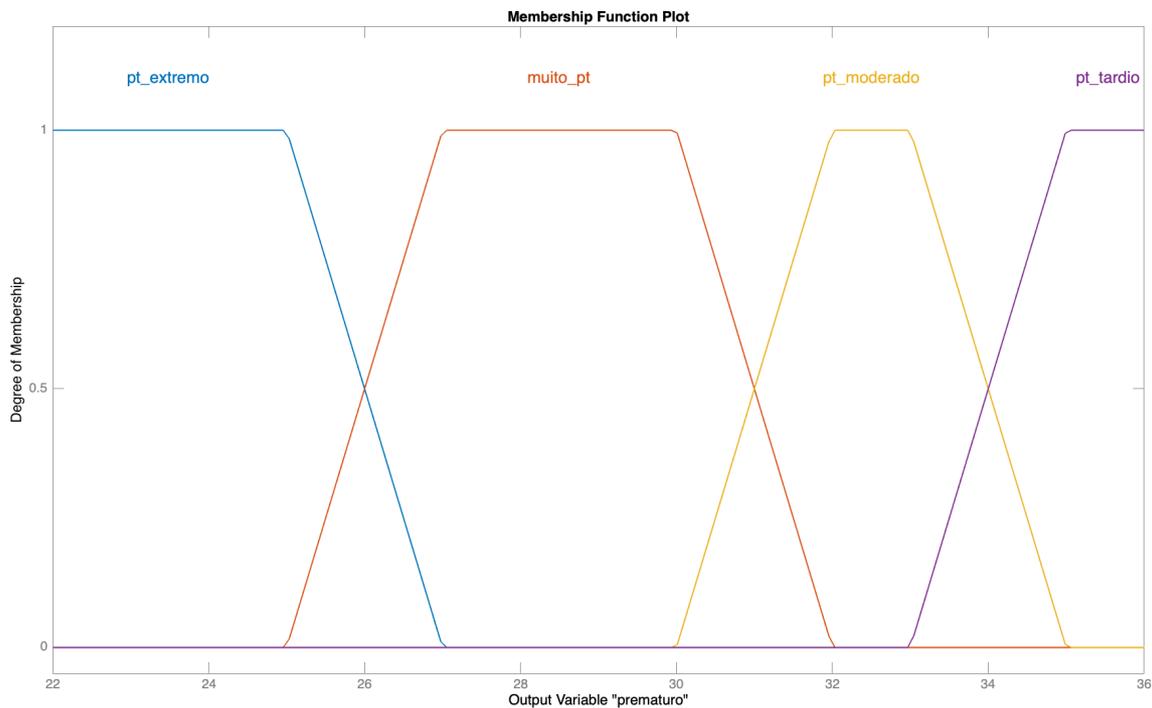
Fonte: Autores, 2023.

A variável de saída, parto prematuro, foi dividida em quatro classificações: prematuro extremo, muito prematuro, prematuro moderado e prematuro tardio, os parâmetros para cada classificação é apresentado na Tabela 6, onde pt é a abreviação para prematuro. A função escolhida para essa variável foi do tipo trapezoidal, representada na Figura 4.

Tabela 6- Parâmetros do sistema *fuzzy* para classificação do parto prematuro

Classificação	Parâmetros
pt extremo	[-10 0 25 27]
muito pt	[25 27 30 32]
pt moderado	[30 32 33 35]
pt tardio	[33 34 36 40]

Figura 7 – Funções de pertinência da variável de saída: parto prematuro



Fonte: Autores, 2023.

Após estabelecer as classificações e parâmetros das variáveis de entrada e saída, foi realizada a criação da base de regras, de formato 3x3x2x2. Com 36 regras, do tipo “se”, “e”, “então”, a base foi confeccionada com auxílio de especialista e consulta na literatura existente, abrangendo todas as possibilidades de combinações para o sistema. As primeiras quatorze regras são apresentadas na Tabela 7, onde “IM” é a abreviação para idade da mãe e “NC” é o número de consultas.

Tabela 7 – Dez primeiras regras para o sistema *fuzzy*

1. SE IM baixa.e NC inadequada e NO <sub>2</sub> inaceitável e PM <sub>10</sub> inaceitável ENTÃO prematuro tardio
2. SE IM baixa e NC inadequada e NO <sub>2</sub> inaceitável e PM <sub>10</sub> aceitável ENTÃO prematuro moderado
3. SE IM baixa e NC inadequada e NO <sub>2</sub> aceitável e PM <sub>10</sub> aceitável ENTÃO prematuro moderado
4. SE IM baixa e NC inadequada e NO <sub>2</sub> aceitável e PM <sub>10</sub> aceitável ENTÃO prematuro moderado
5. SE IM baixa e NC adequada e NO <sub>2</sub> inaceitável e PM <sub>10</sub> inaceitável ENTÃO prematuro tardio
6. SE IM baixa e NC adequada e NO <sub>2</sub> inaceitável e PM <sub>10</sub> aceitável ENTÃO prematuro tardio
7. SE IM baixa e NC adequada e NO <sub>2</sub> aceitável e PM <sub>10</sub> inaceitável ENTÃO prematuro tardio
8. SE IM baixa e NC adequada e NO <sub>2</sub> aceitável e PM <sub>10</sub> aceitável ENTÃO prematuro tardio
9. SE IM baixa e NC regular e NO <sub>2</sub> inaceitável e PM <sub>10</sub> inaceitável ENTÃO prematuro moderado
10. SE IM baixa e NC regular e NO <sub>2</sub> inaceitável e PM <sub>10</sub> aceitável ENTÃO muito prematuro
11. SE IM baixa e NC regular e NO <sub>2</sub> aceitável e PM <sub>10</sub> inaceitável ENTÃO muito prematuro
12. SE IM baixa e NC regular e NO <sub>2</sub> aceitável e PM <sub>10</sub> aceitável ENTÃO prematuro tardio
13. SE IM média e NC inadequada e NO <sub>2</sub> inaceitável e PM <sub>10</sub> inaceitável ENTÃO prematuro tardio
14. SE IM média e NC inadequada e NO <sub>2</sub> inaceitável e PM <sub>10</sub> aceitável ENTÃO prematuro extremo

### III. RESULTADOS

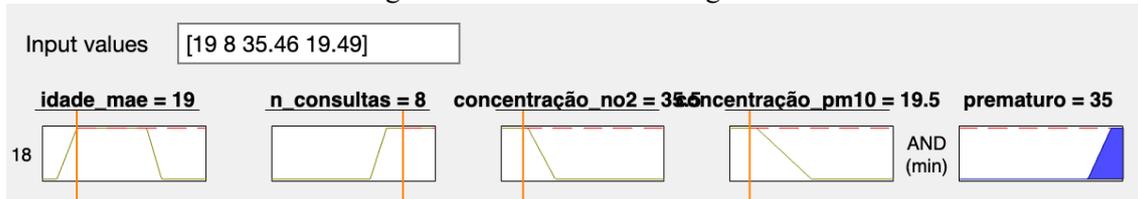
Durante os anos de 2016 a 2018, ocorreram 1.096 partos prematuros na cidade de São José dos Campos-SP, quando excluídas cesarianas, partos gemelares e tri gemelares, nascidos com menos de 22 semanas de gestação e com peso inferior a 500 gramas.

A construção de um sistema *fuzzy* utilizando a idade da mãe, consultas pré-natal, concentração de NO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub> como variáveis de entrada e o parto prematuro como variável de saída mostrou ser um modelo computacional eficiente. Foram utilizadas técnicas como a visualização das regras do MATLAB, cálculo da correlação e métricas de regressão linear a fim de realizar a validação do modelo.

A primeira validação realizada foi por meio da visualização de regras do MATLAB. Para uma mãe de 19 anos, com 8 consultas pré-natais realizadas durante a gestação, exposta a 35,46 µg/m<sup>3</sup> de NO<sub>2</sub> e 19,49 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub>, o resultado obtido pela base de dados e pelo modelo é um parto prematuro de 35 semanas. Houve a ativação da regra 18 para todas as variáveis, conforme ilustrado na Figura 8.



Figura 8 – Visualizador de regras do modelo



Fonte: Autores, 2023.

A função correlação também é um parâmetro de validação do sistema pois determina a relação existente entre os dados reais e os propostos. A equação da correlação é apresentada em (1):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]}} \quad (1)$$

Onde n é a quantidade da amostra,  $x_i$  e  $y_i$  representam as variáveis,  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  as médias das amostras.

Por meio da rotina “ddeint” no MATLAB, os dados propostos do sistema são exibidos e posteriormente tratados, sendo possível realizar o cálculo. Para o modelo proposto, a correlação foi de 0,20, simbolizando uma correlação positiva entre os dados.

Paliwal e Kumar (2009) apontaram que a utilização de métricas como MAPE (Mean Absolute Percent Error), MSE (Mean Square Error), MAE (Mean Absolute Error) e RMSE (Root Mean Square Error) são de grande importância para medir o desempenho de modelos de regressão nos mais variados estudos.

Os valores das métricas MSE, RMSE, MAE e MAPE são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8- Métricas de avaliação do modelo *fuzzy*

MSE	RMSE	MAE	MAPE
10,81	3,28	2,01	6,67%

A primeira métrica calculada, MSE, obteve o maior valor se comparada aos outros resultados, essa diferença pode ser explicada pelo fato de os termos serem elevados ao quadrado, evidenciando os grandes erros. De forma similar ocorre com o RMSE, onde as previsões distantes dos dados reais são penalizadas. Já o MAE e MAPE não evidenciam os outliers, nessas métricas, quanto mais próximo de zero, menores os erros obtidos pelo sistema. A partir dos resultados dos erros quadráticos médio e sua raiz, absoluto médio e percentual absoluto médio, pode-se afirmar que o modelo proposto possui resultado satisfatório nas métricas de regressão linear.

#### IV. CONCLUSÃO

O desenvolvimento de um sistema utilizando a lógica *fuzzy* para verificar a incidência do parto prematuro em função da idade da mãe, número de consultas pré-natal e exposição a NO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub> se mostrou significativo. A eficiência pôde ser comprovada por meio do software MATLAB (resultados preditos similares aos reais), métricas de regressão linear satisfatórias (MSE=10,81; RMSE=3,28; MAE=2,01 e MAPE=6,67%) e correlação positiva (r=0,2).

Uma das limitações encontradas foi pela base de dados do DATASUS contemplar apenas informações de partos ocorridos pelo SUS, excluindo clínicas e hospital particulares, e também pela possibilidade de erros nos preenchimentos dos dados. Para esse estudo, a concentração de poluentes foi considerada homogênea em todo o território de São José dos Campos, visto que no município só existem duas estações de medição.

Esse estudo é de grande valia para toda a sociedade, pois poderá servir de auxílio à políticas públicas para prevenção da prematuridade.

#### V. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, S. L. L.; SALDIVA, P. H. N.; SCHWARTZ, J.; ZANOBETTI, A. Efeitos isolados e sinérgicos do MP10 e da temperatura média na mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias. **Revista Saúde Pública**, v. 48, n. 6, 2014, p. 881-888. ISSN: 0034-8910. DOI: 10.1590/S0034-8910.2014048005218

BICK, D. Born too soon: the global issue of preterm birth. **Midwifery**, v. 28, n. 4, 2012, p. 401-402. ISSN 0266-6138. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.midw.2012.06.010>.

CHAVES, L. E. **Modelos computacionais Fuzzy e Neuro-Fuzzy para avaliarem os efeitos da poluição do ar**. 2013. 112f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

COX, E. **The fuzzy systems handbook: a practitioner's guide to building, using, and maintaining fuzzy systems**. 1. ed. New York: AP Professional, 1994.

DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA DO SUS. **O DATASUS** Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/sobre-o-datasus/>. Acesso em: 04 de abril de 2023.

FINLAYSON-PITTS, B. J.; PITTS, Jr. J. N. **Atmospheric Chemistry: Fundamentals and experimental techniques**. 1. ed. United States: John Wiley & Sons, 1986.

HARRISON, M. S.; GOLDENBERG, R. L. Global burden of prematurity. **Seminars In Fetal And Neonatal Medicine**, v. 21, n. 2, Abr 2016, p.74-79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.siny.2015.12.007>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA/IBGEa. **Painel de Indicadores: Brasil**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/indicadores.html>. Acesso em: 04 de abril de 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA/IBGEb. **Cidades e Estados: São José dos Campos**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/sao-jose-dos-campos.html>. Acesso em: 05 de abril de 2023.

JANG, J-S. ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, IEEE, v. 23, n. 3, p. 665-685, 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/21.256541>

LIU, L.; OZA, S.; HOGAN, D., CHU, Y.; PERIN, J.; ZHU, J.; LAWN, J.; COUSENS, S.; BLACK, R. Global, regional, and national causes of under-5 mortality in 2000–15: an updated systematic analysis with implications for the Sustainable Development Goals. **The Lancet**, v.. 388, n. 10063, Nov 2016, p. 3027-3035. ISSN 0140-6736. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)31593-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31593-8)

NASCIMENTO, L. F.; MACHIN, A. B.; SANTOS, D. A. A. Are there differences in birth weight according to sex and associations with maternal exposure to air pollutants? A cohort study. **Sao Paulo Medical Journal**, v. 135, n. 4, Ago 2017, p.347-354. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/15163180.2016.0262100317>.

PALIWAL, M.; KUMAR, U. A Neural networks and statistical techniques: A review of applications. **Expert Systems with Applications**, v. 36, p. 2-17, 2009

STEER, P.; FLINT, C. ABC of labour care: preterm labour and premature rupture of membranes. **BMJ**, v. 318, n. 7190, 1999 Abr 17, p. 1059-1062. DOI: 10.1136/bmj.318.7190.1059.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Air Quality Guidelines: Global Update 2005**. Geneva: WHO, 2006

ZAKRZEWSK, S. P. **Principles of Environmental Toxicology**. 2. ed. New York: Oxford University Press, Inc, 1997, p. 133.

## VI. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - código de financiamento 001 e da Pós Graduação da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, campus de Guaratinguetá.

## VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

---

## THE ROLE OF FLORISTIC COMPOSITION IN DEGRADED CERRADO REGENERATION (MINEIROS/GO-BRAZIL)

### *O PAPEL DA COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA NA REGENERAÇÃO DE CERRADO DEGRADADO (MINEIROS/GO-BRAZIL)*

Gildomar Alves dos Santos<sup>1</sup>  
David Francis Robert Philip Burslem<sup>2</sup>  
Jonathan Goularte Silva<sup>3</sup>  
Stanislau Parreira Cardozo<sup>4</sup>

*Abstract - A lack of seed dispersal has been shown to be a major factor limiting tropical forest recovery in degraded cerrado landscapes. The aim of this study was to evaluate the role of floristic composition of forest fragments representing a source of propagules, on succession of degraded cerrado vegetation in Mineiros-GO (Brazil). Floristic survey was carried out in four forest fragments and in a degraded area to investigate the richness and species composition of the existing vegetation. The richness of 145 species was found in the site study in the floristic survey. The Fabaceae was the richest family in terms of the number of species, but only three tree species from these remnant forest fragments were present in the degraded landscape outside fragments. The results suggest that the natural regeneration of forest in this degraded cerrado environment is constrained by limited immigration of seeds to the degraded area.*

**Keywords:** Floristic composition. Erosion. Cerrado vegetation.

*Resumo – A falta de dispersão de sementes tem se mostrado um fator importante que limita a recuperação da floresta tropical em paisagens de cerrado degradadas. O objetivo deste estudo foi avaliar o papel da composição florística de fragmentos florestais que representam uma fonte de propágulos, na sucessão de cerrado degradado em Mineiros-GO (Brasil). O levantamento florístico foi realizado em quatro fragmentos florestais e em uma área degradada para investigar a riqueza e composição de espécies da vegetação existente. A riqueza de 145 espécies foi constatada no estudo do local no levantamento florístico. A família Fabaceae foi a mais rica em número de espécies, mas apenas três espécies arbóreas desses fragmentos florestais remanescentes estavam presentes na paisagem degradada fora dos fragmentos. Os resultados sugerem que a regeneração natural da floresta neste ambiente degradado de cerrado é limitada pela imigração limitada de sementes para a área degradada.*

**Palavras-chave:** Composição florística. Erosão. Vegetação de Cerrado.

---

<sup>1</sup> PhD in Forestry (University of Aberdeen/UK); Docente do Centro Universitário de Mineiros. Contato: [gildomar@unifimes.edu.br](mailto:gildomar@unifimes.edu.br).

<sup>2</sup> PhD in Forestry; Lecturer at University of Aberdeen, Scotland/UK. Contato: [d.burslem@abdn.ac.uk](mailto:d.burslem@abdn.ac.uk)

<sup>3</sup> Mestre em Fitotecnia (UFJ/GO); Docente do Centro Universitário de Mineiros. Contato: [jonathan@unifimes.edu.br](mailto:jonathan@unifimes.edu.br)

<sup>4</sup> Doutor em Ciência animal (UFG/GO); Professor da SEAD/DF. Contato: [drstanislau@gmail.com](mailto:drstanislau@gmail.com)

## I. INTRODUCTION

Cerrado is savanna vegetation in central Brazil. The savanna formations range from open grassland to dense woodland across Brazil, Bolivia and Paraguay (RATTER et al., 1997). Cerrado is one of the richest savanna biomes in the world and one of 34 hotspots of global biodiversity, and a high priority for conservation (MYERS et al., 2000). It is also one of the most threatened ecosystems on earth, subject to habitat fragmentation and degradation due to urbanization and expansion of the agricultural frontier. Tropical forests continue to be degraded by numerous human impacts such as timber harvesting, agriculture and fire, causing. Consequently, more than half of all tropical forests have some human impact (JACOBSON et al., 2019)

Degraded areas and post-agricultural abandoned lands in the cerrado region are facing arrested successional development. A lack of propagules in the soil and dispersion that reaches these areas may play an important role in the slow pace of tree colonization, although this is currently under-researched. The composition and the abundance of species present in the seed bank are influenced by the floristic composition and the seasonality of fruiting of plants in surviving natural vegetation (MARTINEZ-RAMOS & SOTO-CASTRO, 1993).

Knowledge of floristic composition can help to understand maintenance of forest biodiversity and the stability and dynamics of communities (FELFILI, 1997). A floristic survey is the first step for understanding vegetation of a specific area. The floristic composition of remnant forests in degraded landscapes can help to understand and explain seed dispersal and soil seed bank community structure in remnant forests and in adjacent degraded areas (FELFILI, 1997). This information can also contribute to planning and implementation of actions for conservation, management and restoration.

To evaluate how the floristic composition of remnant forest fragments, influences succession on degraded Cerrado vegetation, a floristic survey in a degraded area and remnant forests in the study site was performed.

## II. METHODS

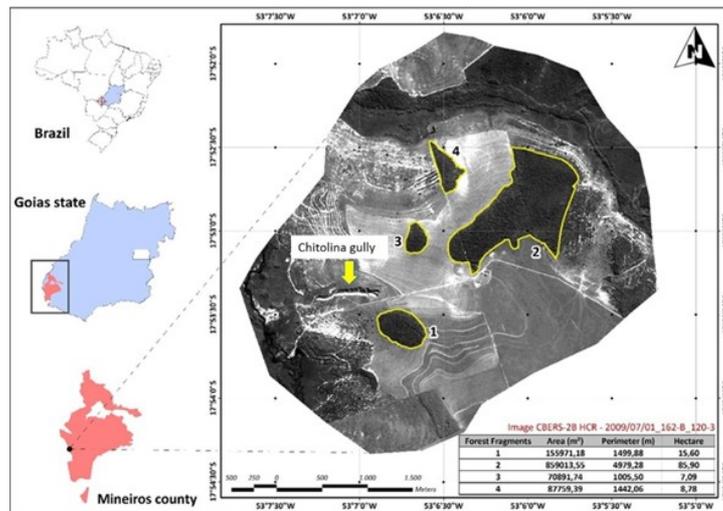
### *2.1 Study site*

The research was conducted from January 2007 to January 2009 in the Springs region of Araguaia River (17052'40" - 17 053'40"S; 53005'40" - 53007'40"W). The focus of the research was Chitolina Gully, which is an erosion gully around 1 km in length and 20 m in width in a mosaic landscape of cerrado vegetation in a matrix of degraded grasslands and forest fragments (Figure 1).

### *2.2 Floristic composition*

A survey for floristic composition was carried out in the four forest fragments and the Chitolina gully area (grassland). The samples were located in the four forest fragments and in the Chitolina gully. The sample area in the forest fragments was 314.16 m<sup>2</sup> (circular plot with 10m radius) and in Chitolina gully (grassland) the sample plots were 400 m<sup>2</sup> (20 m x 20 m plots).

Figure 1. Overview of the study site showing Chitolina Gully and the four forest fragments.



Source: Santos (2014)

In each plot all stems of trees with DBH > 5 cm were measured and identified. Voucher specimens were collected from stems that could not be identified in the field. This material was labelled, dried and compared with herbarium specimens in the herbarium of the National University of Brasilia (UnB) to permit identification.

The abundance of species in the floristic survey was measured in terms of frequency, defined as the number of samples that contain a species as a percentage of all samples, and absolute density (number of species per unit ground surface area sampled) (MUELLER-DOMBOIS & ELLENBERG, 1974). These metrics were estimated in relation to the identified species in the five different areas (in relation to the 20 random samples of 314.16 m<sup>2</sup> for forest fragments and 400 m<sup>2</sup> for the Chitolina gully area).

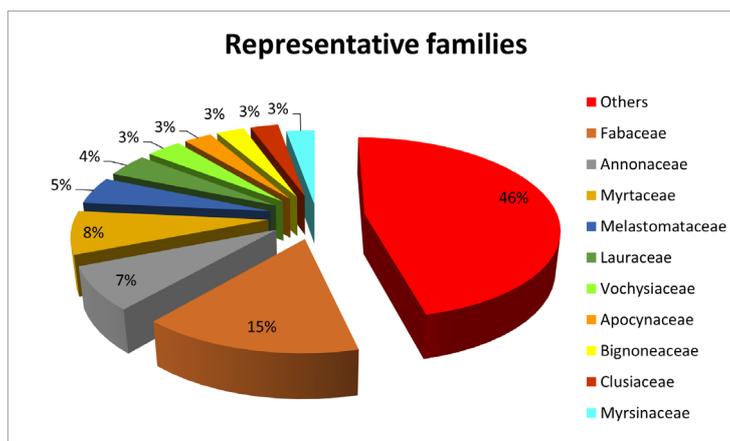
Data analysis for measures of density was carried out using SPSS Statistics for Windows, Version 22.0 (IBM Corp, 2013). The software PAST (Paleontological Statistics) version 2.01 (HAMMER & HARPER, 2001) was used to compute similarity indices, and to conduct cluster analyses and a Diversity t test. EstimateS version 8.2.0 (COLWELL, 2006) was used for analysis of species richness and generating species accumulation curves, and PCORD for Windows version 5.10 (MCCUNE & MEFFORD 2006) for ordination of species and samples for different environments using Detrended Correspondence Analysis.

### III. RESULTS

A total of 4685 individuals of 145 morphospecies in 49 identified families were sampled during the floristic survey. A total of 121 morphospecies were identified to species, an additional 16 to genus only, an additional four to family only, and four remained unidentified to any of the above groups. The ten families with the highest species richness in the floristic survey were Fabaceae (22 species), Annonaceae (11 species), Myrtaceae (11 species), Melastomataceae (7 species), Lauraceae (6 species), Vochysiaceae (5 species), Apocynaceae (4 species), Bignoniaceae (4 species), Clusiaceae (4 species), and Myrsinaceae (4 species). These families contributed 54% of the number of species found in the study (Figure 2). The 10 families with the highest number of individuals in the sample were Annonaceae (793), Fabaceae (732),

Lauraceae (481), Melastomataceae (450), Chrysobalanaceae (373), Sapindaceae (278), Myrtaceae (262), Icacinaceae (197), Sapotaceae (149) and Myristicaceae (121).

Figure 2 - The 10 families with highest contribution to species richness



Source: Santos (2014)

The mean density (individuals.ha<sup>-1</sup> ≥ 5 cm dbh) was significantly different among the different sites, according to a nonparametric Kruskal-Wallis test (Table 1). Forest Fragments 1 and 3 are not different from each other and Forest Fragment 2 and 4 also showed no significant difference from each other. The density of individuals ≥ 5 cm dbh was lowest for the Chitolina gully area (Table 1).

Table 1 - The mean density (± SEM) of trees (individuals per hectare) from different forest fragment patches and Chitolina gully during the study period.

Habitat	n	Means	Pairwise comparisons
Chitolina	20	490.00 ± 94.72	a
Fragment 1	20	1333.72 ± 78.65	b
Fragment 3	20	1365.55 ± 58.96	b
Fragment 4	20	1885.99 ± 90.09	c
Fragment 2	20	2247.27 ± 97.71	c

Same letters indicate no significant differences between groups (P < 0.05)

Based on the Jaccard index species similarity was generally greater for comparisons among the four forest fragments (0.19 to 0.53) than between any one fragment and Chitolina gully (0.05 to 0.24). (Table 2). A cluster analysis based on the Jaccard Index grouped forest fragments 1, 2 and 3 distinctly from fragment 4 and Chitolina Gully (Figure 3).

Species richness of trees > 5 cm dbh was highest in fragment 4 (70 taxa), followed by Chitolina gully (55 taxa), fragment 2 (53 taxa), fragment 1 (43 taxa) and fragment 3 had the lowest species richness

The Shannon diversity index varied from 2.75 in Fragment 1; 3.11 in Frangment 2; 2.84 in Frangment 3; 3.20 in Frangment 4 and 3.32 in Chitolina. Shannon diversity indices were significantly different between all sites except for the comparisons of fragments 1 and 3, fragments 2 and 4 and fragment 4 with Chitolina gully. Species richness accumulated faster with sample size for forest fragment 4 and the Chitolina gully than for forest Fragments 1, 2 and 3 (Figure 4).

Table 2 Similarity indices comparing between different forest fragment patches and Chitolina gully

Comparison	Jaccard
Fragment 01 x Fragment 02	0.39
Fragment 01 x Fragment 03	0.31
Fragment 01 x Fragment 04	0.19
Fragment 01 x Chitolina	0.09
Fragment 02 x Fragment 03	0.53
Fragment 02 x Fragment 04	0.23
Fragment 02 x Chitolina	0.06
Fragment 03 x Fragment 04	0.26
Fragment 03 x Chitolina	0.05
Fragment 04 x Chitolina	0.24

Figure 3 Jaccard Floristic Similarity under different sites

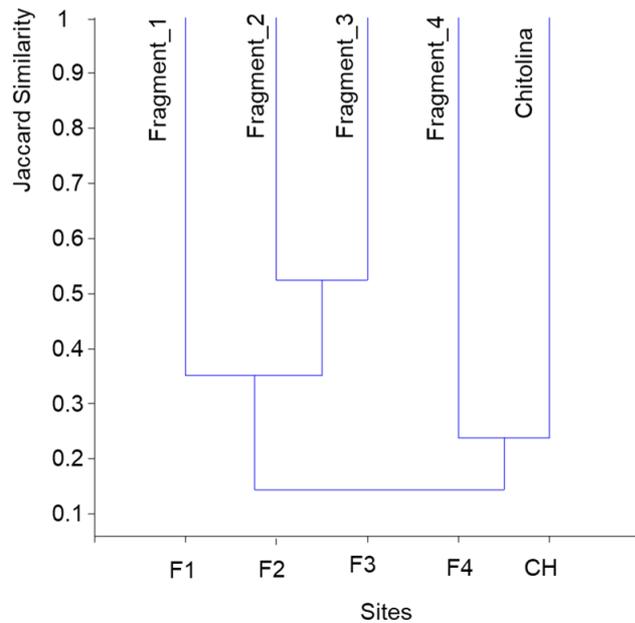
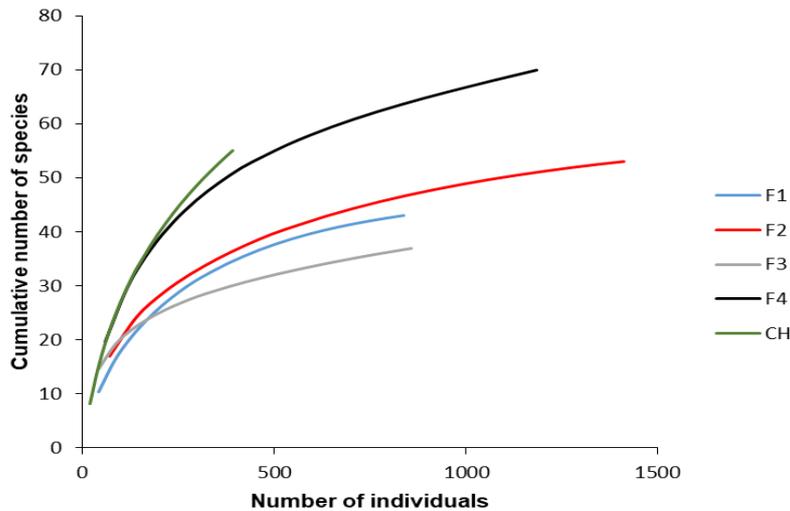


Figure 4 - Species accumulation curves against cumulative number of individuals sampled for floristic composition survey four forest fragments and Chitolina (Santos, 2014).



#### IV. CONCLUSION

The floristic parameters found in the present study are consistent with the results normally found for Cerrado vegetation in Brazil. Those results confirm the high heterogeneity of Cerrado vegetation as well as high diversity and a large variation in species distribution and composition.

It is expected that as natural regeneration continues to advance, floristic similarity among plots will increase and similarity to the forest fragments will also increase. This study can be used as an indicator of ecological restoration, where time is



an important factor. The study shows that the floristic composition can be used as an indicator of degradation or regeneration stage of a degraded area.

Despite the high diversity of trees in the remnant forest fragments, these species are unable to colonize the disturbed area of Chitolina gully rapidly, except by human intervention.

## V. REFERENCES

COLWELL, R.K. **EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples**. Version 7.5. 2006. Persistent URL [purl.oclc.org/estimates](http://purl.oclc.org/estimates)

FELFILI, J.M. Dynamics of the natural regeneration in the Gama gallery forest in central Brazil. **Forest Ecology and Management**. 91 (2-3), 1997, p. 235-245.

HAMMER, Ø., HARPER, D.A.T., and RYAN, P. D. (2001) **PAST: Paleontologica/ Statistics Software Package for Education and Data Analysis**. Palaeontologia Electronica.

IBM corp. **IBM SPSS Statistics for Windows**. Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp. 2013.

JACOBSON, A.P. et al. Global areas of low human impact ('Low Impact Areas') and fragmentation of the natural world. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1-13, 2019.

MARTINEZ-RAMOS, M. AND SOTO-CASTRO, A. Seed rain and advanced regeneration in a tropical rain forest', **Vegetatio**. 107-108(1). 1993, p. 299-318.

MCCUNE, B. AND M. J. MEFFORD. **PC-ORD: Multivariate Analysis of Ecological Data**. Version 5.10. Gleneden Beach (Oregon): MjM Software, 2006

MUELLER-DOMBOIS, D. AND ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Wiley and Sons, 1974.

MYERS, N., MITTERMEIER, R.A., MITTERMEIER, C.G., FONSECA, G.A.B. and KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, 403(6772), 2000, p. 853-858.

RATTER, J. A., RIBEIRO, J.F., AND BRIDGEWATER, S. The Brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, 80(3), 1997, p. 223-230.

SANTOS, G.A. **Overcoming barriers to plant succession in degraded cerrado vegetation in Brazil**. Tese (PhD in Forestry). University of Aberdeen. Aberdeen (UK). 2014. 236p

## VI. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thanks the Alban Programme (EEUU), Centro Universitário de Mineiros and University of Aberdeen for supporting the research

## VII. COPYRIGHT

The authors are the only ones responsible for the material included in the article.

## Área: Ciências Exatas e Engenharias

1-6	<p><b>EFEITO DA PROFUNDIDADE DA COLUNA D'ÁGUA EM PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA NA UHE DE SAMUEL-RO</b></p> <p><b>EFFECT OF WATER COLUMN DEPTH ON WATER QUALITY PARAMETERS AT SAMUEL-RO HPP</b></p> <p>Hemilton Cardoso da Costa; Simone de Fátima Pinheiro Pereira; Poliana Clara Tavares da Cruz; Rafael Tsuyoshi Lins Kawagoe</p>
1-6	<p><b>ESTUDO DE PARÂMETROS EUTROFIZANTES NO RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA DE SAMUEL-RO</b></p> <p><b>STUDY OF EUTROFIZING PARAMETERS IN THE SAMUEL-RO HYDROELECTRIC PLANT RESERVOIR</b></p> <p>Hemilton Cardoso da Costa; Simone de Fátima Pinheiro Pereira; Rafael Tsuyoshi Lins Kawagoe; Poliana Clara Tavares da Cruz</p>
3-1	<p><b>A TERRA COMO ALTERNATIVA DE MATERIAL NO CONTEXTO DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS</b></p> <p><b>SOIL AS AN ALTERNATIVE MATERIAL IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE BUILDINGS</b></p> <p>Jaqueline Arice Gaudencio da Silva; Teófilo Miguel de Souza</p>
3-1	<p><b>COMPARAÇÃO ENTRE O DESEMPENHO DE CLASSIFICADORES BASEADOS EM RNA APLICADOS A COMPONENTES PRINCIPAIS E INDICADORES ESTATÍSTICOS NA IDENTIFICAÇÃO DE ESTADOS DE CONSERVAÇÃO DE ESTRUTURAS</b></p> <p><b>COMPARISON BETWEEN THE PERFORMANCE OF ANN-BASED CLASSIFIERS APPLIED TO PCA AND STATISTICAL INDICATORS FOR SHM</b></p> <p>Cássio de Castro Motta; Clayton Felício da Silva; Lucas Vieira Resende; Matheus Júnior Silveira Dalcin; Flávio de Souza Barbosa</p>
3-1	<p><b>DESEMPENHO ESTRUTURAL DE TRELIÇAS DE BAMBÚ CONSTRUÍDAS COM TRÊS DIFERENTES LIGAÇÕES</b></p> <p><b>STRUCTURAL PERFORMANCE OF BAMBOO TRUSSES BUILT WITH THREE DIFFERENT JOINING SYSTEMS</b></p> <p>Tiago Radaskievicz; Pierre Luis Alves</p>
3-5	<p><b>COMPARAÇÃO DE APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS DE PEQUENO PORTES TAIS COMO BOMBA-SOLAR, EÓLICO E RODA D'ÁGUA COMO ENERGIA ALTERNATIVA PARA FINS DE BOMBEAMENTO D'ÁGUA</b></p> <p><b>COMPARISON OF SMALL-SIZED APPLICATIONS OF TECHNOLOGIES SUCH AS SOLAR-PUMP; WIND AND WATER-WHEEL AS ALTERNATIVE ENERGY DESTINED TO WATER PUMP</b></p> <p>Andrei Testi; Teófilo Miguel de Souza; Isabel Cristina Trannin</p>

3-5	<p><b>DETECÇÃO DE VÃOS LIVRES EM DUTOS RÍGIDOS SUBMARINOS UTILIZANDO VISÃO COMPUTACIONAL E APRENDIZADO PROFUNDO</b></p> <p><b>FREE SPAN DETECTION IN SUBMARINE RIGID PIPELINE USING COMPUTER VISION AND DEEP LEARNING</b></p> <p>Afonso Brizon Portugal; Shirley Peroni Cani; Mariana Rampinelli Fernandes</p>
3-5	<p><b>ESTRUTURA MÓVEL DE RASTREAMENTO SOLAR COM DILATAÇÃO METÁLICA</b></p> <p><b>MOBILE STRUCTURE FOR SOLAR TRACKING WITH METALLIC EXPANSION</b></p> <p>Rafael Soares de Souza; Natasha Martins Rodrigues de Jesus; Thais Santos Castro; Teófilo Miguel de Souza</p>
3-5	<p><b>REDUÇÃO NO CONSUMO DE GÁS NATURAL EM FORNOS SIDERÚRGICOS DE REAQUECIMENTO CONTÍNUO</b></p> <p><b>REDUCTION IN NATURAL GAS CONSUMPTION IN CONTINUOUS REHEATING STEEL FURNACES</b></p> <p>Fernando Henrique Mayworm de Araujo; Leila Ribeiro dos Santos; João Andrade de Carvalho Junior</p>
3-8	<p><b>COM AHP MULTICRITERIA PARA APOIAR O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÕES: APLICAÇÃO EM UMA INDÚSTRIA METAL-MECÂNICA</b></p> <p><b>MATURITY INDEX ASSESSMENT COMBINED WITH AHP MULTICRITERIA TO SUPPORT THE DECISION-MAKING PROCESS: APPLICATION IN A METAL-MECHANIC INDUSTRY</b></p> <p>Tainá da Rocha; Anderson Luis Szejka; Eduardo de Freitas Rocha Loures; Osiris Canciglieri Junior</p>
3-8	<p><b>MELHORES PRÁTICAS EM ECOSSISTEMAS DE INOVAÇÃO EM UNIVERSIDADES: REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA</b></p> <p><b>BEST PRACTICES IN UNIVERSITIES INNOVATION ECOSYSTEMS: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW</b></p> <p>Lucas Sydorak Lessa; Michele Marcos de Oliveira; Osiris Canciglieri Júnior</p>
3-8	<p><b>PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DE PRODUTOS: DESAFIOS PARA GARANTIR A SATISFAÇÃO DO USUÁRIO DE PRÓTESES DE MEMBRO SUPERIOR</b></p> <p><b>INTEGRATED PRODUCT DEVELOPMENT PROCESS: CHALLENGES TO ENSURE UPPER LIMB PROSTHESIS USER SATISFACTION</b></p> <p>Kelulin Good Rogeski; Osiris Canciglieri Junior; Adriana de Paula Santos; Amanda Lacerda Santos</p>
3-8	<p><b>REQUISITOS PARA MELHOR EFETIVIDADE DE PRÓTESES DO MEMBRO SUPERIOR</b></p> <p><b>REQUIREMENTS FOR BETTER EFFECTIVENESS OF UPPER LIMB PROSTHESES</b></p> <p>Amanda Lacerda Santos; Osiris Canciglieri Junior; Adriana de Paula Santos; Kelulin Good Rogeski</p>

## **EFEITO DA PROFUNDIDADE DA COLUNA D'ÁGUA EM PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA NA UHE DE SAMUEL-RO**

### ***EFFECT OF WATER COLUMN DEPTH ON WATER QUALITY PARAMETERS AT SAMUEL-RO HPP***

Hemilton Cardoso da Costa<sup>1</sup>  
Simone de Fátima Pinheiro Pereira<sup>2</sup>  
Poliana Clara Tavares da Cruz<sup>3</sup>  
Rafael Tsuyoshi Lins Kawagoe<sup>3</sup>

**Resumo** - O objetivo deste estudo foi verificar qual o efeito da profundidade sobre os resultados dos parâmetros medidos na UHE de Samuel-RO. Foi realizada coleta de amostras em 11 estações, em três profundidades. O pH, Eh, OD, TDS, temperatura e condutividade foram medidos com um multiparâmetros a turbidez medida com um turbidímetro. Cor aparente e verdadeira foi analisada em laboratório com um colorímetro. Através da análise do boxplot foi possível verificar que os parâmetros com maior variação em função da profundidade foram o Eh e a cor aparente e os que apresentaram a menor variação foram o pH e a temperatura. Os resultados encontrados mostraram que a profundidade altera os parâmetros avaliados em diferentes graus. A médias do parâmetro temperatura aparente diferiu significativamente levando em consideração a análise por profundidade pelo cálculo Anova simples fator mostrando a influência da variável.

**Palavras-chave:** Rio. hidrelétrica. Amazônia.

**Abstract** - The objective of this study was to verify the effect of depth on the results of the parameters measured at the Samuel-RO HPP. Sampling was carried out at 11 stations, at three depths. pH, Eh, OD, TDS, temperature, and conductivity were measured with a multiparameter, and turbidity was measured with a turbidimeter. Apparent and true color was analyzed in the laboratory with a colorimeter. Through the analysis of the boxplot, it was possible to verify that the parameters with the greatest variation in function of the depth were the Eh and the apparent color and those that presented the smallest variation were the pH and the temperature. The results found showed that the depth alters the evaluated parameters to different degrees. The mean of the apparent temperature parameter differed significantly taking into account the analysis by depth by calculating simple Anova factor showing the influence of the variable.

**Keywords:** River. hydroelectric. Amazon

<sup>1</sup>Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Química (PPGQ) - Universidade Federal do Pará - Cidade Universitária - Belém-PA. Contato: hemiltoncosta@yahoo.com.br.

<sup>2</sup>Doutora em Química, Profa. Titular do Instituto de Ciências Exatas e Naturais - Universidade Federal do Pará - Cidade Universitária - Belém-PA. Contato: simonefp@ufpa.br.

<sup>3</sup>Discentes da Faculdade de Química - Universidade Federal do Pará - Cidade Universitária - Belém-PA. Contato: Polianacruz1998@gmail.com; tsuyoshi836@gmail.com.

## I. INTRODUÇÃO

A saúde dos ecossistemas aquáticos depende das proporções corretas e da sucessão necessária dos principais parâmetros de qualidade da água. Essa junção adequada de parâmetros garante o status da qualidade da água em qualquer ecossistema e fornece informações significativas sobre a disponibilidade e uso dos recursos hídricos para sustentar a vida (COSTA et al., 2020).

A criação de uma barragem de grande escala e seu reservatório tem sido associado muitas vezes a impactos negativos significativos sobre o sistema hidrológico, processos biológicos e químicos do reservatório, a montante, e a jusante da barragem. Para avaliar se a construção de barragens ocasionou alterações em sistemas aquáticos deve-se caracterizar a qualidade da água e acompanhar o estado dos recursos hídricos e, assim verificar se as características físicas e químicas foram modificadas (BUZELLI e CUNHA-SANTINHO, 2013).

As características físicas e químicas de qualquer reservatório sob condições naturais são influenciadas por uma série de fatores, incluindo a profundidade da coluna d'água, variabilidade climática (sazonalidade), topografia, geologia, interações água/rocha etc. (SANTOS, 2010).

Os sistemas lacustres também são influenciados por fatores antropogênicos, tais como à presença humana residente na área da bacia; perturbação devida à poluição, onde o escoamento agrícola é uma fonte importante de poluentes nas bacias hidrográficas e outras interferências humanas dando origem a problemas específicos que se correlacionam com as mudanças da qualidade da água. Além disso, as características inerentes a cada reservatório possibilitam verificar quais parâmetros de fato são afetados pela variação da profundidade de cada reservatório (LEMOS, NETO, e DIAS, 2010).

A deterioração da qualidade da água é um problema comum em reservatórios cercados por atividades antrópicas que recebem altas cargas de sólidos em suspensão, matéria orgânica, nutrientes e outros poluentes. Os estudos que mostram estas variações são de grande importância para a saúde dos reservatórios trazendo esclarecimento e norteando as ações necessárias para garantir a qualidade da água destes recursos hídricos (SANTOS, 1995).

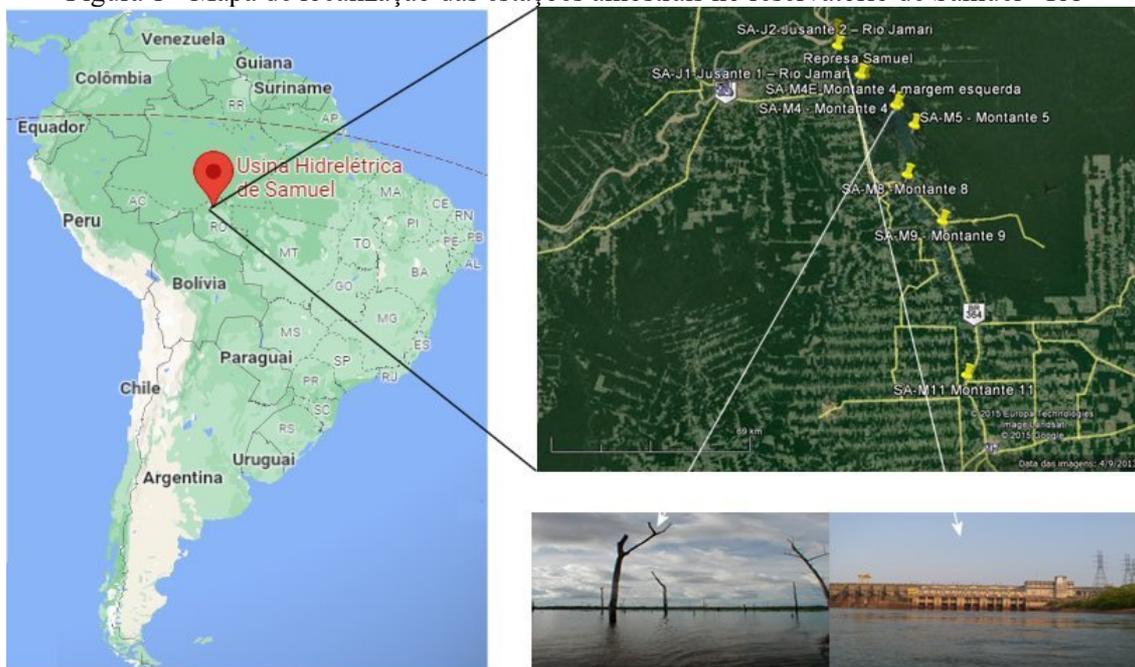
A hidrelétrica de Samuel foi construída de 1982 a 1989 no rio Jamari, primeiro afluente da margem direita do rio Madeira, a 56 km de Porto Velho-RO (SANTOS, 1995). A qualidade da água do reservatório provavelmente está mudando à medida que o reservatório está recebendo cargas de poluentes de atividades antrópicas adjacentes durante sua operação (FEARNSIDE, 2005). O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da profundidade da coluna d'água sobre nove parâmetros de qualidade da água na área da UHE de Samuel-RO.

## II. METODOLOGIA

A barragem de Samuel está situada no Rio Jamari na Cachoeira de Samuel (8° 45' S 63° 25' W) (Figura 1). A bacia hidrográfica de 15.280 km<sup>2</sup> é relativamente pequena, apenas 24 vezes maior que a área do próprio reservatório. A vazão do Rio Jamari está, conseqüentemente, limitada, com um fluxo anual médio de 366 m<sup>3</sup>/s. A usina tem 216 MW de capacidade instalada (ANEEL, 2023).

Para avaliar a qualidade da água foram escolhidas 11 estações de coleta, em três profundidades (superfície, meio e fundo) no período de estiagem amazônica ao longo do rio Jamari e no reservatório da UHE de Samuel.

Figura 1 - Mapa de localização das estações amostrais no reservatório de Samuel - RO



Fonte: Google earth e google maps com adaptações dos autores, 2023.

As coletas foram realizadas utilizando barcos tipo voadeira e feitas através de garrafa Hale vertical 5 litros, obedecendo aos critérios preconizados pela CETESB (2011). Para o acondicionamento das amostras para a análise de cor foi utilizado frascos de polietileno de 1 L descontaminados com solução de HNO<sub>3</sub> 10 %. As estações de coleta foram georeferenciadas através de um sistema de posicionamento global (GPS) de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Estações de coleta na UHE Samuel

Nome da estação de coleta	Código	Latitude (S)	Longitude (O)
Montante 1	SA-M1	08° 45' 02,0"	63° 26' 26,5"
Montante 4	SA-M4	08° 50' 48,8"	63° 19' 56,8"
Montante 4 margem esquerda	SA-M4E	08° 51' 17,9"	63° 20' 25,6"
Montante 5	SA-M5	08° 55' 09,2"	63° 16' 51,8"
Montante 8	SA-M8	09° 04' 46,4"	63° 18' 15,7"
Montante 9	SA-M9	09° 13' 51,5"	63° 11' 34,9"
Montante 11	SA-M11	9° 42' 57,92"	63° 7' 18,12"
Jusante 1 - Rio Jamari	SA-J1	08° 45' 04,4"	63° 27' 20,0"
Jusante 2 - Rio Jamari	SA-J2	08° 39' 14,6"	63° 31' 46,2"
Jusante 3 - Rio Candeias	SA-J3	08° 38' 06,8"	63° 32' 14,7"
Jusante 4 - Rio Jamari	SA-J4	08° 37' 39,6"	63° 31' 17,7"

S:Sul; O:Oeste

Fonte: Próprios autores, 2023.

Foram avaliados no local os parâmetros temperatura, pH, Eh, OD, turbidez, sólidos totais dissolvidos (TDS) e condutividade, através de sonda mutiparâmetro marca Hanna. Após a coleta e transporte, as amostras foram filtradas em membranas tipo GFF (Millipore 0,45 µm) utilizando sistema de filtração a vácuo para a análise da cor

verdadeira. A cor verdadeira e cor aparente foram avaliadas por colorimetria com equipamentos da marca Hanna no Laboratório de apoio.

Os resultados foram tratados utilizando-se estatística descritiva com o auxílio do programa Statistica e cálculos da análise de variância (ANOVA) além dos gráficos de variabilidade (box-plot) da profundidade.

### III. RESULTADOS

Os resultados dos parâmetros avaliados na UHE Samuel-RO estão apresentados na Tabela 2, o comportamento dos parâmetros frente à profundidade está mostrado na Figura 2. Na comparação dos resultados com a Resolução 357/05 foi utilizado o preconizado na resolução para rios de classe 1 já que a maior parte da água dos corpos hídricos é consumida sem tratamento convencional pelas comunidades ribeirinhas locais. A correlação entre os parâmetros por profundidade está mostrada na Tabela 3.

Tabela 2 - Estatística descritiva dos parâmetros avaliados na UHE Samuel por profundidade

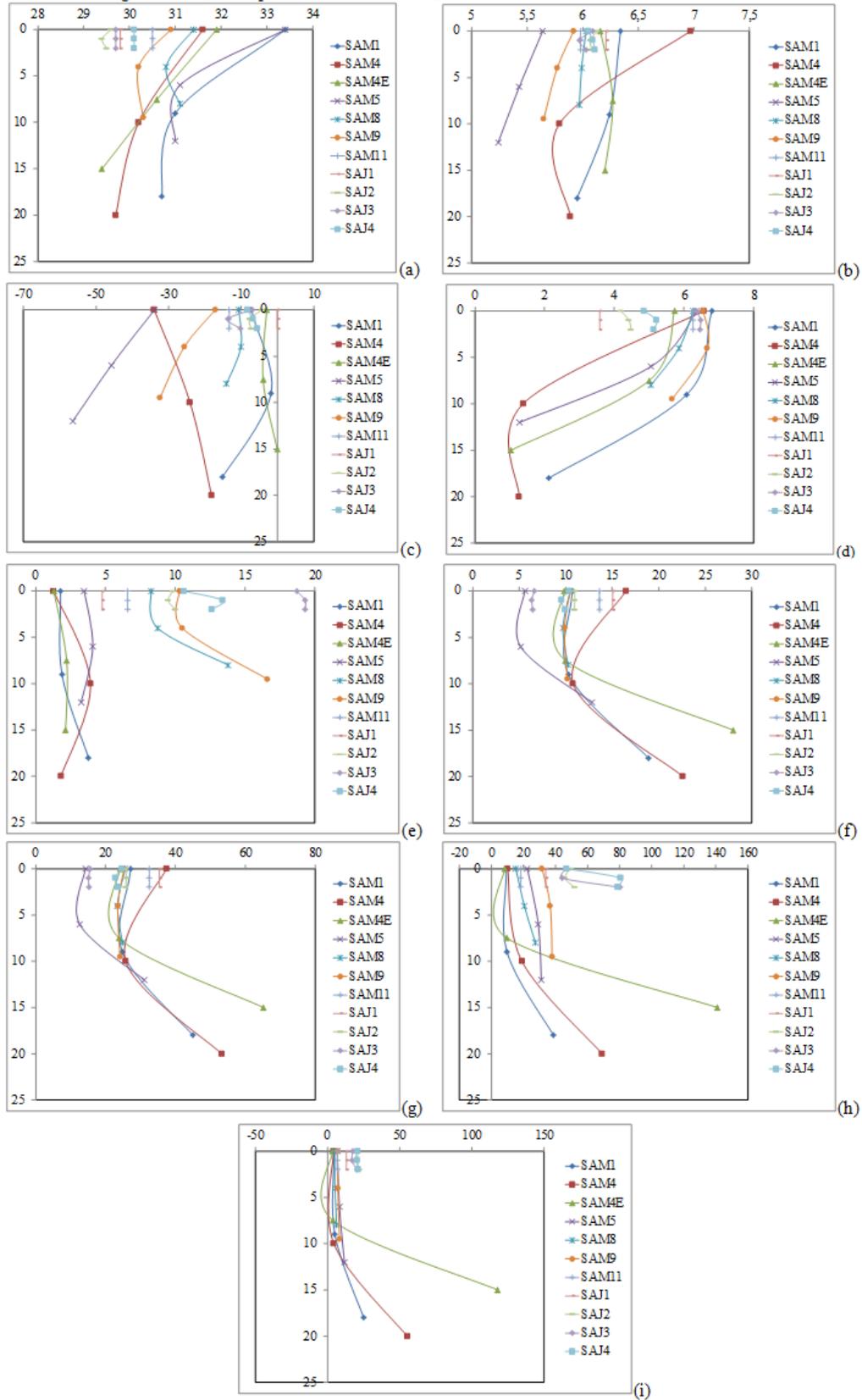
	Temp.1	Temp.2	Temp.3	pH 1	pH 2	pH 3
Média	31,14	30,29	30,13	6,16	5,98	5,93
Mínimo	29,60	29,40	29,40	5,64	5,43	5,24
Máximo	33,40	31,10	31,10	6,97	6,27	6,21
	Eh 1	Eh 2	Eh 3	OD 1	OD 2	OD 3
Média	-12,16	-13,98	-15,95	5,70	4,97	3,61
Mínimo	-34,00	-45,80	-56,40	3,58	1,38	1,03
Máximo	-0,10	-0,10	-0,10	6,80	6,67	6,46
	Turb.1	Turb.2	Turb.3	TDS 1	TDS 2	TDS 3
Média	6,65	7,83	8,80	10,98	9,77	14,51
Mínimo	1,28	1,88	1,80	5,61	5,15	6,44
Máximo	18,70	19,30	19,30	16,47	15,05	28,00
	Cond.1	Cond.2	Cond.3	CA 1	CA 2	CA 3
Média	26,25	23,28	34,32	26,03	32,91	58,97
Mínimo	14,23	12,56	15,21	8,20	9,70	27,40
Máximo	37,40	35,40	65,20	49,40	80,50	141
	CV 1	CV 2	CV 3			
Média	10,12	10,39	30,04			
DP	6,96	6,67	33,84			
Mínimo	3,50	3,70	6,20			
Máximo	20,90	20,60	118			

1:Superfície; 2:Meio; 3:Fundo; DP: Desvio Padrão; Temp.: Temperatura (°C); Eh: (mv); OD: Oxigênio Dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>); Turb.: Turbidez (UNT); TDS: Sólidos Totais Dissolvidos (mg.L<sup>-1</sup>); Cond.: Condutividade (µS/cm); CA: Cor Aparente (mg Pt.L<sup>-1</sup>); CV: Cor Verdadeira (mg Pt.L<sup>-1</sup>)

Fonte: Próprios autores, 2023.

Não há valor limitante para a temperatura na legislação brasileira. Provavelmente devido a incidência da radiação solar sobre os corpos hídricos avaliados, as maiores variações de temperatura foram obtidas na superfície, com diminuição à medida que se aproximavam do fundo do reservatório. A maior temperatura foi encontrada nas estações SAM1 e SAM5 com o mesmo valor de 33,4 °C, ambas na superfície e o menor valor de 29,4 °C no fundo da estação SAM4E e meio da SAJ2.

Figura 2 - Efeito da profundidade sobre os parâmetros avaliados na UHE Samuel-RO



(a):Temperatura; (b):pH; (c):Eh; (d):OD; (e):Turbidez; (f):TDS; (g):Condutividade; (h):Cor aparente; (i):Cor verdadeira

Fonte: Próprios autores, 2023.



Tabela 3. Correlação e significância entre os parâmetros - UHE Samuel por profundidade

	Temp. P1	pH P1	Eh P1	OD P1	Turb. P1	TDS P1	Cond. P1	CA. P1	CV P1
Temp. P1	1,000								
significância	-								
pH P1	-0,027	1,000							
significância	p=0,940	-							
Eh P1	-0,509	-0,161	1,000						
significância	p=0,133	p=0,657	-						
OD P1	<b>0,648</b>	0,109	-0,542	1,000					
significância	<b>p=0,043</b>	p=0,764	p=0,106	-					
Turb. P1	<b>-0,677</b>	-0,315	0,331	-0,141	1,000				
significância	<b>p=0,032</b>	p=0,375	p=0,350	p=0,698	-				
TDS P1	-0,259	<b>0,713</b>	0,014	-0,264	-0,412	1,000			
significância	p=0,470	<b>p=0,021</b>	p=0,970	p=0,460	p=0,237	-			
Cond. P1	-0,206	<b>0,688</b>	0,047	-0,247	-0,456	<b>0,995</b>	1,000		
significância	p=0,569	<b>p=0,028</b>	p=0,897	p=0,492	p=0,185	<b>p=0,000</b>	-		
CA. P1	<b>-0,749</b>	-0,301	0,354	-0,613	<b>0,788</b>	-0,253	-0,304	1,000	
significância	<b>p=0,013</b>	p=0,399	p=0,315	p=0,059	<b>p=0,007</b>	p=0,481	p=0,394	-	
CV P1	<b>-0,751</b>	-0,219	0,403	<b>-0,637</b>	<b>0,742</b>	-0,184	-0,230	<b>0,985</b>	1,000
significância	<b>p=0,012</b>	p=0,543	p=0,249	<b>p=0,048</b>	<b>p=0,014</b>	p=0,612	p=0,523	<b>p=0,000</b>	-
	Temp. P2	pH P2	Eh P2	OD P2	Turb. P2	TDS P2	Cond. P2	CA. P2	CV P2
Temp. P2	1,000								
significância	-								
pH P2	-0,252	1,000							
significância	p=0,482	-							
Eh P2	-0,330	<b>0,984</b>	1,000						
significância	p=0,352	<b>p=0,000</b>	-						
OD P2	0,212	0,062	0,053	1,000					
significância	p=0,557	p=0,865	p=0,885	-					
Turb. P2	-0,566	-0,076	0,019	0,435	1,000				
significância	p=0,088	p=0,836	p=0,959	p=0,210	-				
TDS P2	-0,366	0,620	<b>0,656</b>	-0,437	-0,342	1,000			
significância	p=0,298	p=0,056	<b>p=0,040</b>	p=0,206	p=0,333	-			
Cond. P2	-0,343	0,620	<b>0,656</b>	-0,435	-0,358	<b>1,000</b>	1,000		
significância	p=0,332	p=0,056	<b>p=0,040</b>	p=0,209	p=0,310	<b>p=0,000</b>	-		
CA. P2	-0,549	-0,051	0,034	0,128	<b>0,707</b>	-0,084	-0,098	1,000	
significância	p=0,100	p=0,890	p=0,926	p=0,724	<b>p=0,022</b>	p=0,819	p=0,787	-	
CV P2	<b>-0,732</b>	0,140	0,222	0,091	<b>0,681</b>	0,001	-0,018	<b>0,877</b>	1,000
significância	<b>p=0,016</b>	p=0,700	p=0,537	p=0,804	<b>p=0,030</b>	p=0,997	p=0,960	<b>p=0,001</b>	-
	Temp. P3	pH P3	Eh P3	OD P3	Turb. P3	TDS P3	Cond. P3	CA. P3	CV P3
Temp. P3	1,000								
significância	-								
pH P3	-0,619	1,000							
significância	p=0,056	-							
Eh P3	-0,626	<b>1,000</b>	1,000						
significância	p=0,053	<b>p=0,000</b>	-						
OD P3	-0,005	0,212	0,209	1,000					
significância	p=0,990	p=0,556	p=0,562	-					
Turb. P3	0,064	0,059	0,058	<b>0,962</b>	1,000				
significância	p=0,861	p=0,871	p=0,874	<b>p=0,000</b>	-				
TDS P3	-0,306	0,204	0,209	<b>-0,850</b>	<b>-0,825</b>	1,000			
significância	p=0,389	p=0,572	p=0,563	<b>p=0,002</b>	<b>p=0,003</b>	-			
Cond. P3	-0,285	0,188	0,193	<b>-0,859</b>	<b>-0,833</b>	<b>1,000</b>	1,000		
significância	p=0,424	p=0,603	p=0,594	<b>p=0,001</b>	<b>p=0,003</b>	<b>p=0,000</b>	-		
CA. P3	<b>-0,673</b>	0,464	0,473	-0,225	-0,144	0,533	0,518	1,000	
significância	<b>p=0,033</b>	p=0,176	p=0,167	p=0,531	p=0,691	p=0,113	p=0,126	-	
CV P3	-0,559	0,358	0,366	-0,585	-0,507	<b>0,848</b>	<b>0,839</b>	<b>0,884</b>	1,000
significância	p=0,093	p=0,310	p=0,299	p=0,076	p=0,135	<b>p=0,002</b>	<b>p=0,002</b>	<b>p=0,001</b>	-

Em negrito as correlações com significância &lt;0,05

Fonte: Próprios autores, 2023.

Estes valores estão acima dos encontrados por Zan et al. (2012) no rio Jamari-RO (intervalo de 25 a 27 °C).

O pH esteve não conforme com a resolução 357/05 do CONAMA (Valor Máximo Permitido (VMP)=6-9) nas estações SAJ3 (meio), SAM1 (fundo), SAM4 e SAM8 (meio e fundo) e em todas as profundidades das estações SAM5 e SAM9. O maior pH foi encontrado na estação SAM4 (6,97) na superfície e o menor pH na SAM5 (5,24) no fundo. Estes valores estão relativamente de acordo com os encontrados por Miranda et al. (2009) no rio Tapajós-PA (intervalo de 6,6 a 7,8).

Os corpos hídricos da área estudada apresentaram-se com características redutoras (Eh negativo). A estação com característica mais redutora foi a SAM5 no fundo (-56,40 mv) a menos redutora foi a SAJ1 com Eh de -0,1 mv. Os valores encontrados neste estudo divergem dos encontrados por Horbe e Oliveira (2008), que determinaram uma característica oxidante (Eh positivo variando de 206 a 272 mv) para o rio Amazonas-AM, este resultado já era esperado já que o Rio Jamari tem características bem diversas do rio Amazonas.

O Eh esteve diretamente correlacionado com o pH com excelentes correlações no meio e fundo. As equações obtidas para esses dois extratos podem servir para prever os valores de um parâmetro em relação a outro. Eh e pH também definem as espécies químicas elementares presentes na água de um corpo hídrico, através do diagramas de fase pode-se fazer a especiação química nos corpos hídricos da área da pesquisa.

O OD esteve em não conformidade com a resolução 357/05 do CONAMA (VMP= não inferior a 6 mg.L<sup>-1</sup> O<sub>2</sub> para rios de classe 1) na estação SAM1 e SAM9 (fundo), SAM4, SAM5 e SAM8 (meio e fundo), SAM4E, SAJ1, SAJ2 e SAJ4 (em todas as profundidades). A menor concentração de OD foi encontrada no fundo da SAM4E (1,03 mg.L<sup>-1</sup>) e a maior concentração na SAM1 na superfície (6,8 mg.L<sup>-1</sup>).

A diminuição do OD em determinadas estações pode estar correlacionada com o aumento da temperatura, principalmente na superfície com correlações significativas diretas entre os dois parâmetros. Alguns valores encontrados neste estudo estão abaixo do intervalo encontrado por Miranda et al. (2009) no rio Tapajós-PA (intervalo de 4,5 a 6,1 mg.L<sup>-1</sup>).

A turbidez esteve conforme com a resolução (VMP=até 40 UNT) em todas as estações avaliadas. A menor turbidez foi encontrada na estação SAM4 (1,28 UNT) superfície e a maior no meio e fundo da SAJ3 (19,30 UNT). Estes valores estão abaixo dos encontrados por Miranda et al. (2009) no rio Tapajós-PA (intervalo de 70 a 85 UNT).

Uma correlação inversa foi encontrada entre a turbidez e a temperatura somente na superfície. Uma explicação para o fato pode estar correlacionado com o aparecimento de chuva ocasional diminuindo a temperatura que pode estar influenciando a turbidez devido o aumento do escoamento superficial transportando material do solo para o reservatório. A turbidez também se correlacionou diretamente com o OD no fundo.

O TDS esteve conforme com a resolução (VMP=500 mg.L<sup>-1</sup>) em todas as estações avaliadas. O menor TDS foi encontrado na estação SAM5 meio (5,15 mg.L<sup>-1</sup>) e o maior na SAM4E fundo (28 mg.L<sup>-1</sup>). Estes valores estão abaixo dos encontrados por Pereira et al. (2010) no estudo da qualidade da água na Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) Mamirauá - AM (intervalo de 65 a 346 mg.L<sup>-1</sup>).

O TDS se correlacionou positivamente com o pH na superfície, com o Eh no meio e negativamente com o OD e turbidez no fundo.

Não há referência a um VMP para a condutividade na legislação brasileira. A menor condutividade foi encontrada na estação SAM5 meio (12,56 µS.cm<sup>-1</sup>) e a maior na SAM4E fundo (65,2 µS.cm<sup>-1</sup>). Estes valores estão, na sua maioria, abaixo dos encontrados por Zan et al. (2012) no rio Jamari-RO (intervalo de 50 a 76 µS.cm<sup>-1</sup>).

A condutividade se correlacionou positivamente com o pH e TDS na superfície, com o Eh e TDS no meio com excelente correlação com o TDS e negativamente com o OD, turbidez e TDS no fundo com excelente correlação com o TDS.

Na legislação brasileira não há VMP em relação à cor aparente. A menor cor aparente foi encontrada na estação SAM1 superfície (9,30 mg Pt.L<sup>-1</sup>) e a maior na SAM4E (141 mg Pt.L<sup>-1</sup>) no fundo. Estes valores estão relativamente em concordância aos encontrados por Vasconcelos e Souza (2011) no Manancial Utinga (Belém-PA) (intervalo de 32,5 a 111,63 mg Pt.L<sup>-1</sup>).

A cor aparente se correlacionou positivamente com a turbidez e negativamente com a temperatura na superfície, com a turbidez no meio e negativamente com a temperatura no fundo.

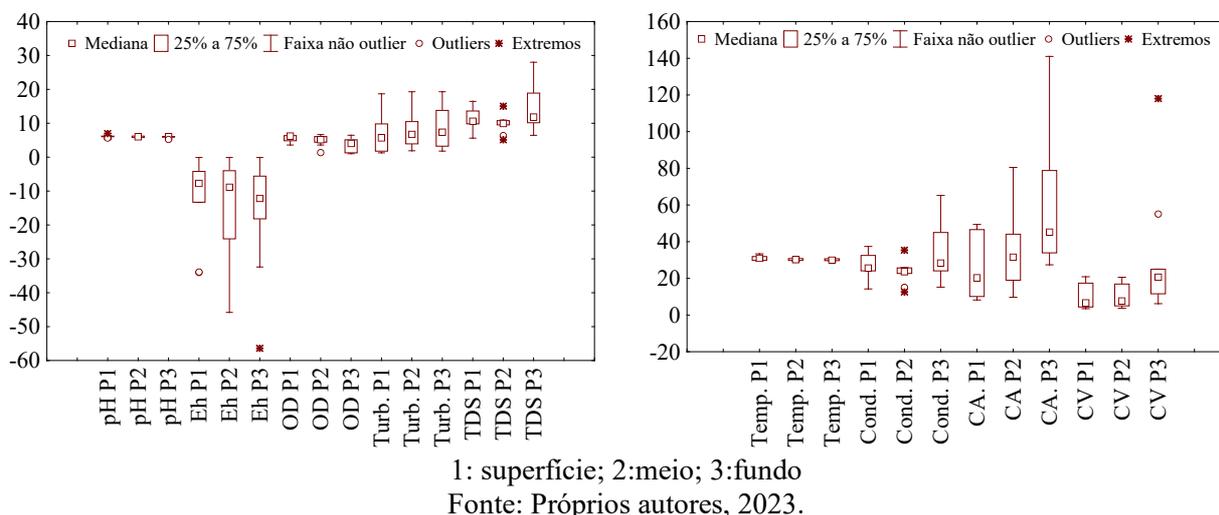
Na legislação brasileira não há VMP para a cor verdadeira para rios de classe 1 apenas uma recomendação de que a cor verdadeira apresente um nível de cor natural do corpo de água em mg Pt.L<sup>-1</sup>. A menor cor verdadeira foi encontrada na estação SAM4E superfície (3,5 mg Pt.L<sup>-1</sup>) e a maior na mesma estação (118,0 mg Pt.L<sup>-1</sup>) no fundo. Estes valores estão abaixo dos encontrados por Kimura (2011) em seu estudo na Lagoa da Francesa (Parintins- AM) (intervalo de 86,57-139,7 mg Pt.L<sup>-1</sup>).

A cor verdadeira se correlacionou na superfície positivamente com a turbidez e com a cor aparente e negativamente com a temperatura e com o OD. Também se correlacionou positivamente no meio com a turbidez e com a cor aparente e negativamente com a temperatura e no fundo se correlacionou positivamente com o TDS, condutividade e cor aparente.

As excelentes correlações encontradas neste estudo, tendo em vista a variação da profundidade mostraram que esta variável influencia as interações nos compartimentos hídricos influenciando os processos químicos que ocorrem no interior dos corpos hídricos avaliados.

Através da análise do boxplot (Figura 3) foi possível verificar que os parâmetros com maior variabilidade (maior tamanho da caixa) em função da profundidade foram o Eh e a cor aparente e os que apresentaram a menor variação (menor tamanho de caixa) foram o pH e a temperatura. Resultados *outliers* foram encontrados para o Eh na superfície, OD, TDS e condutividade no meio e pH e cor verdadeira no fundo

Figura 3 - Variabilidade dos parâmetros avaliados na UHE Samuel por profundidade.



As médias dos parâmetros temperatura, OD e cor aparente diferiram significativamente levando em consideração a análise por profundidade pelo cálculo

Anova simples fator conforme demonstrado na Tabela 4 ( $F_{\text{calculado}} > F_{\text{crítico}}$ ). Este cálculo demonstrou que os parâmetros citados são altamente dependentes da profundidade.

Tabela 4 - Cálculo Anova simples fator

Parâmetros	$F_{\text{calculado}}$	valor-p	$F_{\text{crítico}}$	Parâmetros	$F_{\text{calculado}}$	valor-p	$F_{\text{crítico}}$
Temperatura	3,478	0,045	3,354	Turbidez	0,228	0,797	3,354
Oxigênio Dissolvido	4,392	0,022	3,354	TDS	3,030	0,065	3,354
Cor aparente	4,406	0,022	3,354	Condutividade	3,063	0,063	3,354
pH	1,489	0,244	3,354	Cor verdadeira	3,159	0,059	3,354
Eh	0,137	0,872	3,354				

Fonte: Próprios autores, 2023.

#### IV. CONCLUSÃO

Ficou demonstrado que a profundidade é uma variável que altera a qualidade da água tendo influenciado diversos parâmetros como a temperatura, o oxigênio dissolvido e a cor aparente. Algumas hipóteses levantadas no início do trabalho como a que o pH em maiores profundidades seriam bem diferentes daquelas encontradas na superfície não ficou confirmada. O pH embora com resultados mais ácidos no fundo dos corpos hídricos avaliados apresentou médias que não variaram significativamente com a profundidade. Mesmo comportamento foi verificado para o Eh, turbidez, TDS, condutividade e cor verdadeira.

#### V. REFERÊNCIAS

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Sistemas de Informações de Geração da ANEEL**. Disponível em <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtZkdNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOiR9>. Acesso em 10/04/2023.

APHA - American Public Health Association, AWWA - American Water Works Association and WEF - Water Environment Federation. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 23th ed.; United States, Washington DC, 2017,

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINHO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.8, n.1, p.186-205, 2013. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>.

CETESB/ANA- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e Agência Nacional de Águas. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras. Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos**. Organizadores: Carlos Jesus Brandão et al. São Paulo, 2011. 327 p. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/Guia-nacional-de-coleta-e-preservacao-de-amostras-2012.pdf> Acesso em 20/04/2023.

CONAMA. **Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente, nº 357 de 17 de março de 2005**, 2005, p: 9-24. <http://www.mma.gov.br/conama>.

COSTA, H. C.; PEREIRA, S. F. P.; SANTOS, L. P.; OLIVEIRA, A. F. S.; SILVA, T. M.; SILVA, C. S.; ROCHA, R. M.; FREITAS, K. H. G.; SANTOS, D. C.; CRUZ, E. S. Chemometrics Applied in the Development of a Water Quality Indicator System for the

Brazilian Amazon. **ACS Omega**, v.5, p.32899-32906, 2020. <https://dx.doi.org/10.1021/acsomega.0c03430>.

FEARNSIDE, P. M. Brazil's Samuel Dam: Lessons for hydroelectric development policy and the environment in Amazonia. **Environmental Management**, v.35, n.1, p.1-19, 2005. <https://dx.doi.org/10.1007/s00267-004-0100-3>.

HORBE, A. M. C.; OLIVEIRA, L. G. S. Química de igarapés de água preta do nordeste do Amazonas - Brasil. **Acta Amazônica**, v.38, n.4, p.753-760, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000400020>.

KIMURA, S. P. R. **Caracterização de carga poluente na lagoa da Francesa no município de Parintins/AM**. Dissertação (mestrado) apresentada à Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química. 2011, 82 p. <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2011.804314>.

LEMOS, M.; FERRERIA NETO, M.; DIAS, N. S. Sazonalidade e variabilidade espacial da qualidade da água na Lagoa do Apodi, RN. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, p.155-164, 2010. <https://doi.org/10.5433/1679-0367.2014v35n2p11>.

MIRANDA, R. G.; PEREIRA, S. F. P.; ALVES, D. T. V. & OLIVEIRA, G. R. F. Qualidade dos recursos hídricos da Amazônia - Rio Tapajós: avaliação de caso em relação aos elementos e parâmetros físico-químicos. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.4, n.2, p.75-92, 2009. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.88>.

PEREIRA, S. F. P.; OLIVEIRA, J. S.; SILVA, C. S.; MIRANDA, R. G.; GOMES, T. L. D. Características Físicas, Químicas e Físico-Químicas dos Recursos Hídricos da Reserva de Mamirauá-AM-Brasil. Safety, Health and Environment World Congress, v.1, p.488-492, 2010. Disponível em <https://proceedings.copec.eu/index.php/shewc/article/view/1929> Acesso em 11/04/2023.

SANTOS, G. M. Impactos da hidrelétrica Samuel sobre as comunidades de peixes do rio Jamari (Rondônia - Brasil). **Acta Amazônica**, v.25, p.247-280. 1995.

SANTOS, D. C. **Estudo sobre a influência da sazonalidade e da altura da coluna d'água na distribuição dos metais Al, Fe, Ba, Zn, Mn e Cd presentes no reservatório de Tucuruí- Rio Tocantins-PA**. Dissertação (Mestrado em Química). Belém: Instituto de Ciências Exatas e Naturais/Universidade Federal do Pará, 2010, 131 p.

VASCONCELOS, V. M. M.; SOUZA, C. F. Caracterização dos parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga, Belém, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.6, n.2, p.305-324, 2011. <https://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.202>

ZAN, R. A.; ANDRÉ, A. P. A.; COUTINHO, A. P. M.; BARBOSA, N. V.; BRONDANI, F. M. M.; MENEGUETTI, D. U. DE O. Avaliação da qualidade das águas superficiais do rio Jamari na região da construção de uma PCH no município de Monte Negro-Rondônia, Amazônia Ocidental. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.8, n.8, p.1876-1888, 2012. <http://dx.doi.org/10.5902/223611707295>

## VI. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a ANEEL pelo financiamento do projeto, setor administrativo da Eletronorte, Brasília, a FINEP, CNPq e CAPES, ao Centro de Tecnologia da Eletronorte de Miramar, ao Laboratório do Centro de Proteção Ambiental da Eletronorte (CPA-ELN) em Tucuruí, Laboratório de Samuel, e o Laboratório de Química Analítica e Ambiental da UFPA.

## VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

## ESTUDO DE PARÂMETROS EUTROFIZANTES NO RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA DE SAMUEL- RO

### *STUDY OF EUTROFIZING PARAMETERS IN THE SAMUEL- RO HYDROELECTRIC PLANT RESERVOIR*

Hemilton Cardoso da Costa<sup>1</sup>  
Simone de Fátima Pinheiro Pereira<sup>2</sup>  
Rafael Tsuyoshi Lins Kawagoe<sup>3</sup>  
Poliana Clara Tavares da Cruz<sup>3</sup>

**Resumo** - A eutrofização de reservatórios de hidrelétricas é um fenômeno de deterioração da qualidade da água, principalmente devido o aumento de nutrientes. O objetivo desse trabalho foi o estudo dos parâmetros eutrofizantes no reservatório da UHE de Samuel -RO. As amostras foram coletadas em onze estações ao longo da área da represa no período de estiagem e em três profundidades. A clorofila a foi determinada por espectrofotometria UV-VIS, nitrato e fosfato por colorimetria e a transparência pelo disco de Secchi. A transparência variou de 0,70 a 3,60 m, nitrato variou de 1 a 46,61  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , fosfato variou de 1,05 a 50,02  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , clorofila a variou de 1,87 a 17,37  $\mu\text{g.L}^{-1}$ . Todos os resultados avaliados apresentaram-se em conformidade com a resolução 375/05 do CONAMA, com a exceção da clorofila a que apresentou resultados fora do limite máximo permitido com indícios que já existe um processo de eutrofização em andamento no reservatório.

**Palavras-chave:** Eutrofização. Nutrientes. Lagos.

**Abstract** - The eutrophication of hydroelectric reservoirs is a phenomenon of water quality deterioration, mainly due to the increase of nutrients. The objective was to study the eutrophication parameters in the UHE de Samuel -RO reservoir. Samples were collected at eleven stations along the dam area during the dry season and at three depths. Chlorophyll a was determined by UV-VIS spectrophotometry, nitrate, and phosphate by colorimetry and transparency by Secchi disk. Transparency ranged from 0.70 to 3.60 m nitrate ranged from 1 to 46.61  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , phosphate ranged from 1.05 to 50.02  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , chlorophyll a ranged from 1.87 to 17.37  $\mu\text{g.L}^{-1}$ . All the evaluated results were by CONAMA resolution 375/05, except chlorophyll a, which presented results outside the maximum permitted limit, indicating that there is already an ongoing eutrophication process in the reservoir.

**Keywords:** Eutrophication. Nutrients. lakes

<sup>1</sup>Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Química (PPGQ) - Universidade Federal do Pará - Cidade Universitária - Belém-PA. Contato: hemiltoncosta@yahoo.com.br.

<sup>2</sup>Doutora em Química, Profa. Titular do Instituto de Ciências Exatas e Naturais - Universidade Federal do Pará - Cidade Universitária - Belém-PA. Contato: simonefp@ufpa.br.

<sup>3</sup>Discentes da Faculdade de Química - Universidade Federal do Pará - Cidade Universitária - Belém-PA. Contato: tsuyoshi836@gmail.com; polianacruz1998@gmail.com.

## I. INTRODUÇÃO

A eutrofização é um fenômeno que altera a qualidade da água, devido ao aumento de algas, plantas aquáticas e microorganismos que se alimentam de nutrientes como o nitrato e o fosfato que são aportados nos rios e lagos do planeta através do lançamento de esgotos não tratados, efluentes industriais, atividade agrícola, etc. (LYU et al., 2022). Este processo está frequentemente associado à rápida produção de fitoplâncton e outros microorganismos, que têm impactos importantes na ecologia aquática e no funcionamento normal de corpos d'água (SHI et al., 2019). Este processo também altera as propriedades ópticas da coluna de água, incluindo mudanças na concentração de clorofila a e transparência (ZHANG et al., 2018).

No Brasil, mais especificamente na região amazônica há uma grande disponibilidade hídrica que torna a região, com seus rios caudalosos, propícia ao uso da água para fins energéticos. O plano estratégico do governo brasileiro buscou, nos fins da década de 80, ratificar as diretrizes em relação ao uso do potencial das usinas hidrelétricas. Para isso, construiu duas grandes usinas na região amazônica. A UHE de Balbina (AM) em 1987 e a UHE de Samuel (RO) em 1988. Nenhuma delas estaria destinada a suprir demandas da região (BORGES, 2021).

A energia é de um dos insumos básicos para o crescimento econômico de um país e abrange um grande número de complexos impactos ao meio ambiente, indo desde impactos locais até problemas de ordem global (FEARNSIDE, 2015).

A pesquisa da qualidade da água tornou-se cada vez mais importante para gerenciar recursos hídricos devido a sua escassez, para assegurar a segurança da água potável e a sustentabilidade ecológica dos sistemas aquáticos (KULSHRESHTHA e SHANMUGAM, 2018).

A proliferação das macrófitas aquáticas influencia negativamente na produção de energia hidrelétrica quando seu nível de infestação aumenta, devido a sua entrada nas tomadas d'água, prejudicando a produção de energia (CAMARGO et al., 2003).

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o fenômeno da eutrofização no reservatório da UHE de Samuel-RO através da análise dos parâmetros eutrofizantes transparência, nitrato, clorofila a e fosfato.

## II. METODOLOGIA

A UHE de Samuel tem 216 MW de capacidade instalada, localiza-se no Rio Jamari, a 52 km da cidade de Porto Velho, Rondônia (ANEEL, 2016).

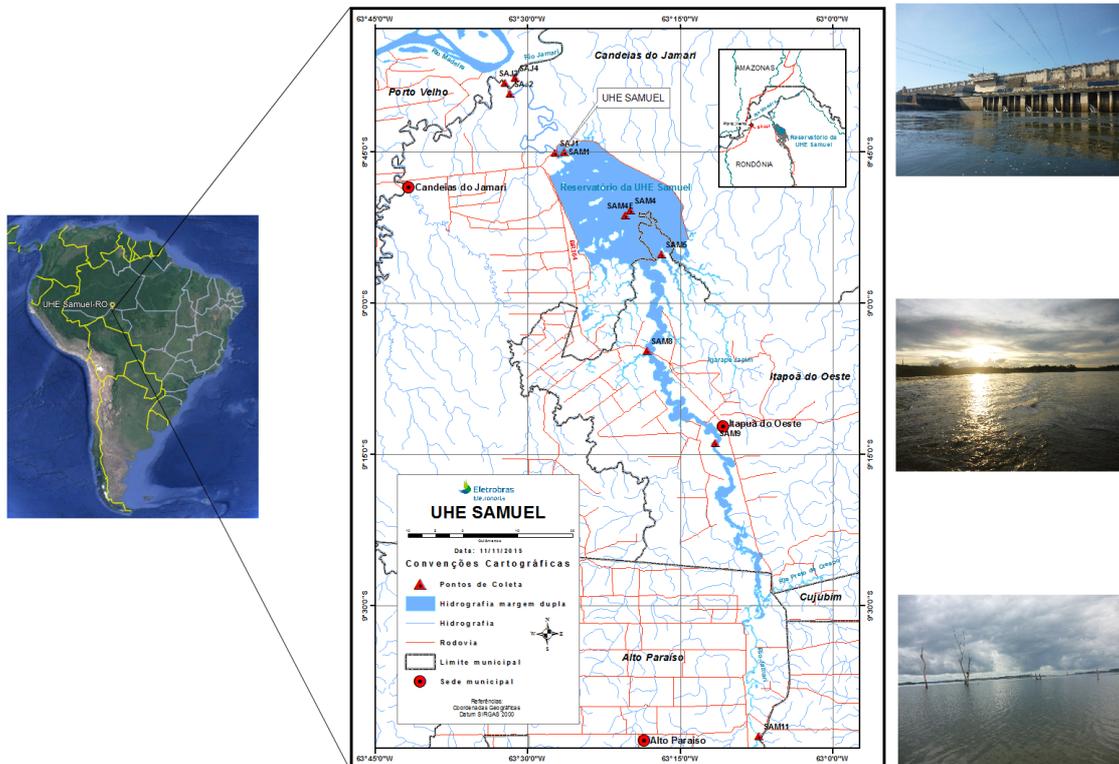
Com a finalidade de analisar a qualidade da água, 11 estações de coleta foram selecionadas em três profundidades (superfície, meio e fundo) no período de estiagem, a montante e a jusante do barramento conforme apresentadas na Figura 1.

Para a coleta das amostras foi utilizada a garrafa Hale vertical de 5 litros, conforme recomendado pela CETESB/ANA (2011). As estações de coleta foram georeferenciadas mediante um sistema de posicionamento global, o GPS (Global Positioning System). A latitude e a longitude das estações estão mostradas na Tabela 1 assim como a descrição do local.

Depois de coletadas, as amostras foram armazenadas com gelo gel em caixas de poliestireno expandido (EPS) para mantê-las a cerca de 4 °C. Após a coleta as amostras foram transportadas para os Laboratórios e armazenadas em refrigeradores para posteriormente serem avaliadas. O tratamento das amostras em laboratório consistiu de filtração usando um sistema de filtração à vácuo com auxílio de membranas do tipo GFF da Millipore com porosidade de 0,45 µm.



Figura 1 - Mapa da área em estudo com estações amostrais na UHE Samuel - RO



Fonte: Google earth, Eletronorte com adaptações dos autores, 2023.

Foram avaliados os seguintes parâmetros: transparência (feita no local através do disco de Secchi) clorofila a (através do espectrofotômetro UV - Vis), fosfato e nitrato (por meio de colorímetro da marca Hanna). A metodologia de análise dos parâmetros obedeceu o preconizado pelo *Standard Methods* (APHA et al., 2017).

Os resultados obtidos na avaliação dos parâmetros foram tratados utilizando estatística descritiva e multivariada como ferramenta auxiliar e os programas Microsoft Office Excel e os softwares Minitab, Qgis e Surfer nos cálculos e criação de gráficos para melhor visualização dos resultados.

### III. RESULTADOS

Na Tabela 2 é apresentada a estatística descritiva dos resultados dos parâmetros avaliados na UHE de Samuel-RO e na Figura 2 é apresentada a variabilidade dos parâmetros frente à profundidade (m). Os resultados foram comparados com os valores máximos estabelecidos na resolução 357/05 do Conselho Nacional de meio ambiente (CONAMA) e com as médias encontradas por outros autores (Tabela 3).

Na Figura 3 é ilustrada a variação da transparência (m). A Resolução do CONAMA nº 357/05 não especifica limites mínimo e máximo para a transparência em águas doces de classe 2. A transparência média foi de  $1,89 \pm 0,97$  m.

A maior transparência foi registrada na estação SAM1, localizada a 3,60 m de profundidade, enquanto a menor transparência foi observada na estação SAJ3, a uma profundidade de 0,70 m.

Não há critérios na legislação brasileira para definir intervalos ou valores mínimos e máximos para esse parâmetro. De acordo com Albanez e Matos (2007), a transparência da água pode ser modificada em função da existência de sólidos em suspensão, como "partículas de solo e substâncias orgânicas, as quais comumente

penetram no corpo hídrico em virtude da erosão do solo. Além de detritos orgânicos e inorgânicos decorrentes do lançamento de esgoto doméstico ou industrial na água, e a presença de fitoplâncton e pequenos seres vivos".

Tabela 1. Descrição das estações de coleta no reservatório de Samuel - RO

<b>Estação amostral</b>	<b>Descrição do Local</b>
Montante 1 (SA-M1) 08° 45' 02,0" S 63° 26' 26,5" O	A estação está localizada diante da barragem, com águas claras e suas margens cobertas por vegetação de tamanho pequeno e médio.
Montante 4 (SA-M4) 08° 50' 48,8" S 63° 19' 56,8" O	A estação de coleta está localizada entre os <i>paliteiros</i> . Suas margens são moderadamente afastadas da estação de coleta e são constituídas principalmente por plantas aquáticas.
Montante 4 margem esquerda (SA-M4E) 08° 51' 17,9" S 63° 20' 25,6" O	A estação de coleta está localizada entre os <i>paliteiros</i> , próxima a estação de coleta SA-M4 e próxima a margem esquerda, onde há existência de plantas aquáticas.
Montante 5 (SA-M5) 08° 55' 09,2" S 63° 16' 51,8" O	A estação de coleta está localizada entre os <i>paliteiros</i> e suas margens cobertas por vegetação de baixo porte ao redor.
Montante 8 (SA-M8) 09° 04' 46,4" S 63° 18' 15,7" O	A estação de coleta está situada na ponte do rio Jamari.
Montante 9 (SA-M9) 09° 13' 51,5" S 63° 11' 34,9" O	A estação de coleta está localizada perto dos <i>paliteiros</i> , no meio do canal principal e suas margens cobertas por vegetação de médio porte.
Montante 11 (SA-M11) 9° 42' 57,92" S 63° 7' 18,12" O	A estação de coleta está situada no rio Jamari, a 140 km de Porto Velho. Apesar de estar situada a montante, a estação possui aspectos típicos de um rio.
Jusante 1 rio Jamari (SA-J1) 08° 45' 04,4" S 63° 27' 20,0" O	A estação de coleta localiza-se no canal de fuga da UHE Samuel em frente à barragem com águas mais turvas que a água das estações mais afastadas a montante, suas margens são conservadas por vegetação de tamanho médio e grande.
Jusante 2 rio Jamari (SA-J2) 08° 39' 14,6" S 63° 31' 46,2" O	A estação de coleta possui águas com pouca transparência e suas margens são cobertas por vegetação de tamanho médio e grande.
Jusante 3 rio Candeias (SA-J3) 08° 38' 06,8" S 63° 32' 14,7" O	A estação de coleta possui águas com pouca transparência e suas margens são cobertas por vegetação de tamanho médio e grande.
Jusante 4 rio Jamari (SA-J4) 08° 37' 39,6" S 63° 31' 17,7" O	A estação de coleta possui águas com pouca transparência e suas margens são cobertas por vegetação de tamanho médio e grande.

O nitrato, clorofila *a* e fosfato, mostraram valores fora dos limites da caixa (box) em todas as profundidades. O coeficiente de variação para o nitrato, clorofila *a* e fosfato foi respectivamente, 119,93 %, 61,23 % e 167,42 %, mostrando alta variabilidade do parâmetro em relação à profundidade.

Para o nitrato se obteve as maiores variabilidades nas profundidades de superfície e meio, sem apresentar nenhum resultado anômalo. O nitrato variou de <LD (Menor concentração - LD=1 µg/L) nas estações SAM1, SAM4, SAM5 e SA-J1 em todas as profundidades, SAM4E (7,5 e 15 m) e SAM8 (4 m) a 46,61 µg/L (maior concentração) na estação SAM9 (4 m) com uma média de 12,24±14,68 µg/L.

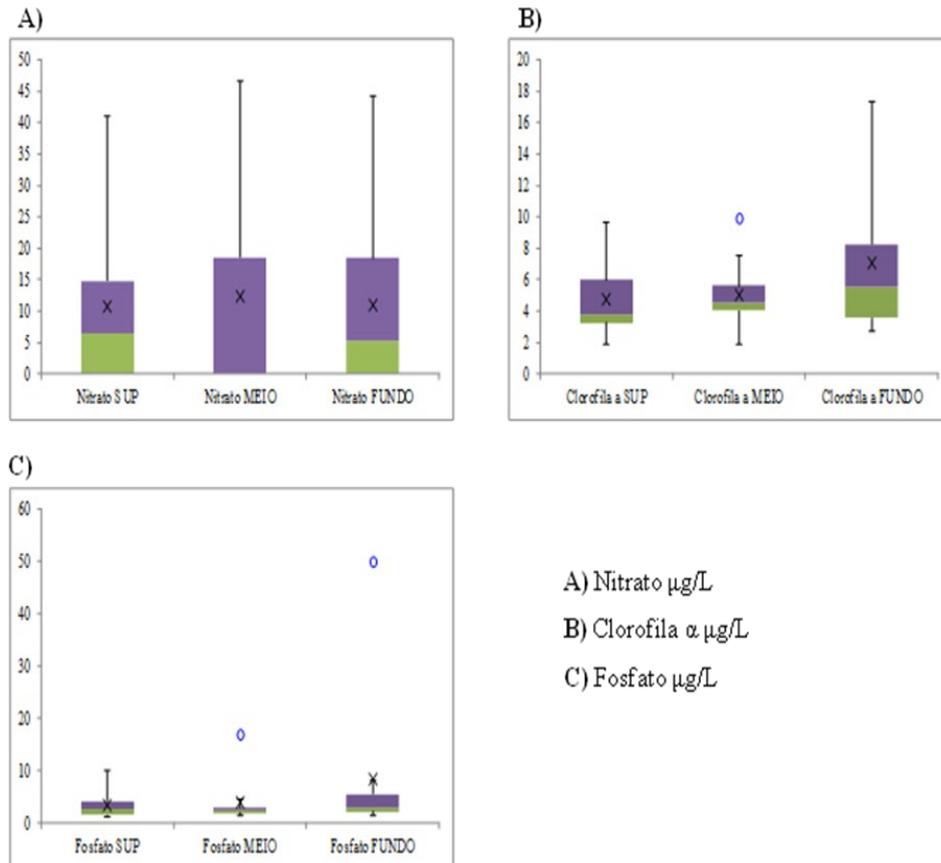
Tabela 2. Estatística descritiva dos resultados dos parâmetros eutrofizantes na UHE Samuel-RO

	Transp. (m)	Nitrato ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Clorofila a ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Fosfato ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )
<b>Superfície</b>				
Média	1,89	15,73	4,64	4,01
Mediana	1,70	11,42	3,74	2,90
DP	0,97	11,02	2,32	3,43
Mínimo	0,70	1,26	1,87	1,05
Máximo	3,60	40,92	9,62	11,06
<b>Meio</b>				
Média	1,89	17,44	4,97	3,98
Mediana	1,65	10,00	4,54	2,53
DP	1,01	14,70	2,32	4,65
Mínimo	0,70	1,00	1,87	1,42
Máximo	3,60	46,61	9,89	17,00
<b>Fundo</b>				
Média	1,89	14,92	7,03	8,24
Mediana	1,65	10,22	5,48	2,90
DP	1,01	11,80	4,77	14,82
Mínimo	0,70	1,00	2,67	1,42
Máximo	3,60	44,14	<b>17,37</b>	50,02

DP:Desvio Padrão; Transp.:Transparência; Em negrito valores em não conformidade.

Fonte: Autores, 2023

Figura 2 - Variabilidade dos parâmetros nitrato, clorofila a e fosfato, avaliados na UHE Samuel por profundidade (m).



Sup.:Superfície

Fonte: Próprios autores, 2023.

Segundo Oliveira et al. (2010), o íon nitrato pode ser um nutriente crucial para a vida aquática, mas se presente em excesso pode indicar a possibilidade de eutrofização do corpo hídrico. Esse excesso pode causar a proliferação excessiva de algas ou vegetação aquática, que, ao se decompor, aumenta a demanda bioquímica de oxigênio, o que leva à degradação da qualidade do corpo d'água. Entretanto, os resultados indicaram que este parâmetro estava dentro dos limites permitidos, o que sugere uma boa qualidade da água.

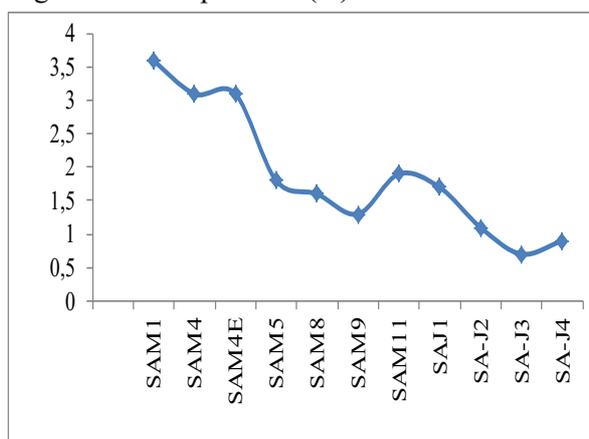
Tabela 3 - Resultado dos parâmetros encontrados por outros autores na Amazônia

Parâmetros	Intervalo	Local	Referência
Nitrato	0,0001 - 0,01 µg/L	UHE de Curuá-Una, Santarém - PA	Costa et al., 2020.
Clorofila a	0,13 - 12,83 µg/L	A bacia hidrográfica do rio Urupá - RO	Pereira et al., 2020.
Fosfato	0,61 - 24,4 µg/L	Lago verde, Santarém - PA	Sousa et al., 2018

Fonte: Vários autores, 2023; M: Média; DP: Desvio Padrão

Para a clorofila *a*, a maior variabilidade foi no fundo (maior tamanho da caixa). No entanto, apresentou um resultado anômalo na profundidade de 4 m (meio) na estação SAM9.

Figura 3 - Transparência (m) na UHE Samuel-RO



Fonte: Autores, 2023

A clorofila *a* variou de 1,87 µg/L (menor concentração na estação SAJ3 superfície e no meio a 1 m de profundidade) a 17,37 µg/L (maior concentração na estação SAM5 fundo a 12 m de profundidade) com uma média de  $5,52 \pm 3,38$  µg/L.

Os resultados deste estudo revelaram valores semelhantes aos de Santos (2014), que estudou as águas do Rio Araguari-Amazônia Oriental-Brasil e observou que as concentrações de clorofila *a* variaram de 1,68 a 10,49 µg/L. Esses resultados também estão em conformidade com pesquisas anteriores semelhantes conduzidas a jusante do local deste estudo, como Cunha e Pascoaloto (2006) e Brito (2011).

O parâmetro fosfato apresentou maior variabilidade em relação à profundidade no fundo com resultados anômalos na profundidade superfície (estação SAM11 e SAJ3, ambas com 0 m de profundidade), meio (estação SAM4E, profundidade 7,5 m) e no fundo (estação SAM4E profundidade 15 m).

O fosfato apresentou uma média de  $1,75 \pm 2,93$  µg/L. A maior concentração de fosfato (16,34 µg/L) foi encontrada no fundo da estação SAM4E com 15 m de

profundidade e a menor concentração de fosfato (0,34 µg/L) foi encontrada na superfície nas estações SAM4 e SAM4E. Entretanto, segundo a resolução 375/05 do CONAMA, o limite estabelecido para nitrato, clorofila *a* e fosfato são respectivamente, 10 mg/L, 10 µg/L e 0,1 mg/L. Logo, pode-se afirmar que o único parâmetro em não conformidade é a clorofila *a* com amostras encontrada na estação SAM5 (17,37µg/L) e fundo da estação SAM4E em 15 m de profundidade (12,83 µg/L), ultrapassando o limite estabelecido.

O fosfato total presente nos esgotos é composto por fosfatos orgânicos e inorgânicos. A fração orgânica é de origem regulatória, enquanto a inorgânica provém de detergentes e produtos químicos utilizados na limpeza doméstica. Além disso, o fosfato total pode estar associado à representação da matéria orgânica e à mistura de compostos presentes no solo (METCALF e EDDY, 2003). Segundo Esteves (1998), em muitos casos, o fosfato precipitado não retorna ao ambiente límico.

#### IV. CONCLUSÃO

Os parâmetros que foram avaliados na Usina Hidrelétrica de Samuel demonstraram um processo de enriquecimento de nutrientes, provavelmente causado pela atividade humana como a agricultura e lançamento de esgoto. O aumento da presença humana na área de estudo poderia estar contribuindo para a diminuição da qualidade da água, mas este aumento ainda é limitado. As águas que formam a bacia do Rio Jamari, onde a UHE de Samuel está instalada apresentaram valores médios dos parâmetros analisados em conformidade com a Resolução nº 375/05 do CONAMA na maioria das estações de coleta. Diante desses resultados, pode-se observar que as águas do reservatório de Samuel estão relativamente conservadas, no entanto pelos resultados de clorofila *a* há a necessidade de um monitoramento mais efetivo da origem de fontes de compostos eutróficos que podem estar alterando este parâmetro.

#### V. REFERÊNCIAS

ALBANEZ, J. R.; MATOS, A. T. **Aquicultura**. In: MACEDO, J. A. B. *Águas & águas*. v. 3. n. 12, Belo Horizonte: CRQ - MG, 2007, p. 1095-1146.

**ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA**. <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em 02/02/23.

**APHA, AWWA, WEF - American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation**. Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. 23<sup>o</sup>. Edition, 2017, 1504 p.

BORGES, F. Q. Análise histórica do setor elétrico brasileiro: uma revisão de literatura. **Revista Observatorio de las Ciencias Sociales en Iberoamérica**, v.2, n.10, p.151-167, 2021.

BRITO, S. L.; MAIA-BARBOSA, P. M.; PINTO-COELHO, R. M. Zooplankton as an indicator of trophic conditions in two large reservoirs in Brazil. **Lakes & Reservoirs: Res. & Manag.**, v. 16, p. 253-264, 2011.

CAMARGO, A. F. M.; PEZZATO, M. M.; HENRY-SILVA, G. G. **Fatores limitantes à produção primária de macrófitas aquáticas** in THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. (Eds.). *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas*. Eduem, Maringá, p. 59-84, 2003.

CETESB/ANA- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo/Agência Nacional de Águas. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras. Água, Sedimento,**

**Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos.** Organizadores: Brandão, C. J. ... [et al.]. São Paulo, Brasília, 2011, 327 p.

CONAMA. **Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente, nº 357 de 17 de março de 2005**, p: 9-24, 2005. Disponível em [http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO\\_CONAMA\\_n\\_357.pdf](http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf). Acesso em 22/04/2023.

CUNHA, H. B.; PASCOALOTO, D. **Hidroquímica dos Rios da Amazônia.** ELETRONORTE - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A. Mapas geofigura da represa de Samuel-RO, 2006, 147 p.

COSTA, H. C.; PEREIRA, S. F. P.; SANTOS, L. P.; OLIVEIRA, A. F. S.; SILVA, T. M.; SILVA, C. S.; ROCHA, R. M.; FREITAS, K. H. G.; SANTOS, D. C.; CRUZ, E. S. Chemometrics Applied in the Development of a Water Quality Indicator System for the Brazilian Amazon. **ACS Omega**, v.5, p.32899-32906, 2020. <https://dx.doi.org/10.1021/acsomega.0c03430>.

ESTEVEZ, F.A. **Fundamentos de Limnologia.** Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1998, 574 p.

FEARNSIDE, P.M. A hidrelétrica de Samuel: Lições para a política de desenvolvimento hidrelétrico e o meio-ambiente na Amazônia. 2015, pp. 9-33. In: P.M. Fearnside (ed.) **Hidrelétricas na Amazônia: Impactos Ambientais e Sociais na Tomada de Decisões sobre Grandes Obras.** Vol. 2. Editora do INPA, Manaus. 297 p.

KULSHRESHTHA, A.; SHANMUGAM, P. Assessment of trophic state and water quality of coastal-inland lakes based on Fuzzy Inference System. **J. Great Lakes Res.**, 44(5):1010-1025, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2018.07.015>

LYU, L.; SONG, K.; WEN, Z.; LIU, G.; SHANG, Y.; LI, S.; TAO, H.; WANG, X.; HOU, J. Estimation of the lake trophic state index (IET) using hyperspectral remote sensing in Northeast China. **Optics Express**, v. 30, n. 7, p. 1-17, 2022.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.** 4th Edition, McGraw-Hill, New York. 2003.

OLIVEIRA, C. N.; CAMPOS, V. P.; MEDEIROS, Y. Avaliação e identificação de parâmetros importantes para a qualidade de corpos d'água no semi-árido baiano. Estudo de caso: bacia hidrográfica do Rio Salitre. **Química Nova**, v. 33, p. 1059-1066, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000500010>

PEREIRA, E. S.; SOUZA, R. A.; SILVA, N. R.; WEBLER, A. D.; HURTADO, F. B.. Eutrofização e mudanças no regime hidrológico: um risco na bacia do Rio Urupá, Amazônia brasileira. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.11, n.7, p.557-568, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0043>

SANTOS, L. P. **Avaliação Espacial e Sazonal da Qualidade da Água Superficial da Microbacia do Rio Peixeboi Usando Quimiometria e Redes Bayesianas.** Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Pará, 2014, 183 pp.

SHI, K.; ZHANG, Y.; SONG, K.; LIU, M.; ZHOU, Y.; ZHANG, Y.; LI, Y.; ZHU, G.; QIN, B. A semi-analytical approach for remote sensing of trophic state in inland waters: Bio-optical mechanism and application. **Remote Sens. Environ.**, v. 232, n. 111349, p. 1-12, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111349>

SOUSA, B. L. M.; PELEJA, J. R. P.; SOUSA, B. L. M.; GOCH, Y. G. F.; RIBEIRO, J. S.; PEREIRA, B. S.; LIMA, F. C. C.; LEMOS, E. J. S.. Índice de Estado Trófico de

Lagos de Águas Claras Associados ao Baixo Rio Tapajós, Amazônia, Brasil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.7, p.76-89, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.007.0008>

ZHANG, Y.; ZHOU, Y.; SHI, K.; QIN, B.; YAO, X.; ZHANG, Y. Optical properties and composition changes in chromophoric dissolved organic matter along trophic gradients: Implications for monitoring and assessing lake eutrophication. **Water Res.**, v. 131, p. 255-263, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.051>

## VI. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a ANEEL pelo financiamento do projeto, setor administrativo da Eletronorte, Brasília, a FINEP, CNPq e CAPES, ao Centro de Tecnologia da Eletronorte de Miramar, ao Laboratório do Centro de Proteção Ambiental da Eletronorte (CPA-ELN) em Tucuruí, Laboratório de Samuel, e o Laboratório de Química Analítica e Ambiental da UFPA.

## VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

## **A TERRA COMO ALTERNATIVA DE MATERIAL NO CONTEXTO DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS**

### ***SOIL AS AN ALTERNATIVE MATERIAL IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE BUILDINGS***

Jaqueline Arice Gaudencio da Silva <sup>1</sup>  
Teófilo Miguel de Souza <sup>2</sup>

**Resumo** – *A construção civil é um dos principais setores responsáveis pelas altas emissões de CO<sub>2</sub> e consumo de energia e recursos naturais, além de ser um grande gerador de resíduos sólidos. Assim, em razão dos graves problemas ambientais e da escassez de matérias-primas em nível global, a construção utilizando terra surge como uma alternativa para a essa indústria. O solo é uma matéria-prima renovável, abundante, não tóxica e gera impactos ambientais significativamente menores do que os provocados pela forma predominante de construção atual. Sendo então o objetivo deste artigo fornecer uma visão geral sobre a importância da utilização da terra como material e recurso que visa contribuir para práticas mais sustentáveis no setor, e o desenvolvimento e disseminação do conhecimento de técnicas construtivas para o seu resgate na atualidade.*

**Palavras-chave:** *Solo. Sustentabilidade. Técnicas Construtivas.*

**Abstract** - *Civil construction is one of the main sectors responsible for high CO<sub>2</sub> emissions and consumption of energy and natural resources, in addition to being a major generator of solid waste. Thus, due to serious environmental problems and the scarcity of raw materials on a global level, construction using earth emerges as an alternative to this industry. Soil is a renewable, abundant, non-toxic raw material and generates significantly lower environmental impacts than those caused by the predominant form of construction today. Therefore, the objective of this article is to provide an overview of the importance of using earth as a material and resource that aims to contribute to more sustainable practices in the sector, and the development and dissemination of knowledge of construction techniques for its rescue today.*

**Keywords:** *Soil. Sustainability. Constructive Techniques.*

<sup>1</sup> Mestranda em Engenharias (FEG/UNESP/Guaratinguetá-SP); Bacharel em Engenharia Civil - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Engenharia - Campus de Guaratinguetá – SP – Brasil. Contato: [jaqueline.arice@unesp.br](mailto:jaqueline.arice@unesp.br).

<sup>2</sup> Doutor em Eng. de Materiais-EEL-USP, Pós-Doutor em Materiais e Metalurgia - Université Paris XIII e Livre-Docência em Materiais Elétricos - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Engenharia - Campus de Guaratinguetá – SP – Brasil. Contato: [teofilo.souza@unesp.br](mailto:teofilo.souza@unesp.br).



## I. INTRODUÇÃO

De acordo com dados do Relatório do United Nations Environment Programme (UNEP, 2022a), é crucial para o setor da construção civil, alcançar a redução das emissões de carbono até 2050 para enfrentar a tripla crise planetária de mudanças climáticas, de perda de biodiversidade, de poluição e geração de resíduos. Sendo a produção dos materiais convencionalmente utilizados na construção de edifícios, um dos processos industriais que mais consomem energia e geram emissões de CO<sub>2</sub>.

As emissões da fabricação de concreto, aço e o alumínio utilizados na construção civil representam mais 6 % (cerca de 2,3 GtCO<sub>2</sub>) das emissões globais. Já a indústria de edifícios e construção em sua totalidade representa cerca de 37% da energia operacional global e das emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas com o processo (UNEP, 2022a). Ainda de acordo com o esse relatório, prevê-se que o uso de recursos naturais duplique até 2060.

Além das altas emissões de CO<sub>2</sub> e consumo de energia e recursos naturais, em 2021 foram coletadas 48 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) no território brasileiro, cerca de 64% de todo o resíduo sólido urbano coletado no país, com uma coleta per capita de 227 kg hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, ou seja, cerca de 0,622 kg hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> de RCD (ABRELPE, 2022).

Esses dados enfatizam a importância de minimizar o volume de materiais utilizados e descartados no setor e procurar substituir materiais de construção convencionais por materiais alternativos que minimizem a demanda de energia e de emissões durante as várias fases de sua cadeia produtiva (UNEP, 2022b).

Assim, em razão dos graves problemas ambientais e da escassez de matérias-primas em nível global, a construção utilizando terra surge como uma alternativa para a indústria da construção civil. Sendo então o objetivo deste artigo fornecer uma visão geral sobre a importância da utilização da terra como material e recurso que visa contribuir para práticas mais sustentáveis no setor da construção.

## II. METODOLOGIA

O seguinte trabalho foi realizado através de uma pesquisa qualitativa, na qual os dados foram coletados por meio de uma análise bibliográfica exploratória e seletiva sobre a relação entre a terra como material de construção civil e a sustentabilidade.

Para isso, foi realizada uma revisão sistemática da literatura buscando trazer diferentes conceitos envolvidos no assunto por meio de consultas aos bancos de dados do Google Scholar, Scopus (Elsevier) e livros consagrados que abordassem o tema de construção com terra e sustentabilidade.

O critério de inclusão ou exclusão dos artigos se deu a partir do título, resumo e as palavras-chave e os artigos gerados foram lidos e selecionados conforme se correlacionavam com o tema do presente artigo.

## III. RESULTADOS

Caso seja necessário utilizar subtítulos, estes devem ser numerados da seguinte forma: Primeiro número da seção e segundo número do subtítulo, por exemplo:

### *3.1 – O Solo como Material de Construção*

O solo é uma matéria-prima historicamente importante no setor da construção civil, sendo utilizado desde 6000 a.C. como material de construção nas civilizações dos povos mesopotâmicos, tibetanos e andinos, nos vales férteis da China e Tebas no Egito (HANAFI, 2021).

As construções em terra atravessam diferentes épocas, sendo empregadas desde tempos antigos até a atualidade. Diversos locais ao redor do mundo apresentam vestígios arqueológicos, desde a pré-história até a antiguidade, que contêm estruturas construídas com terra (GIRALDELLI et al., 2020).

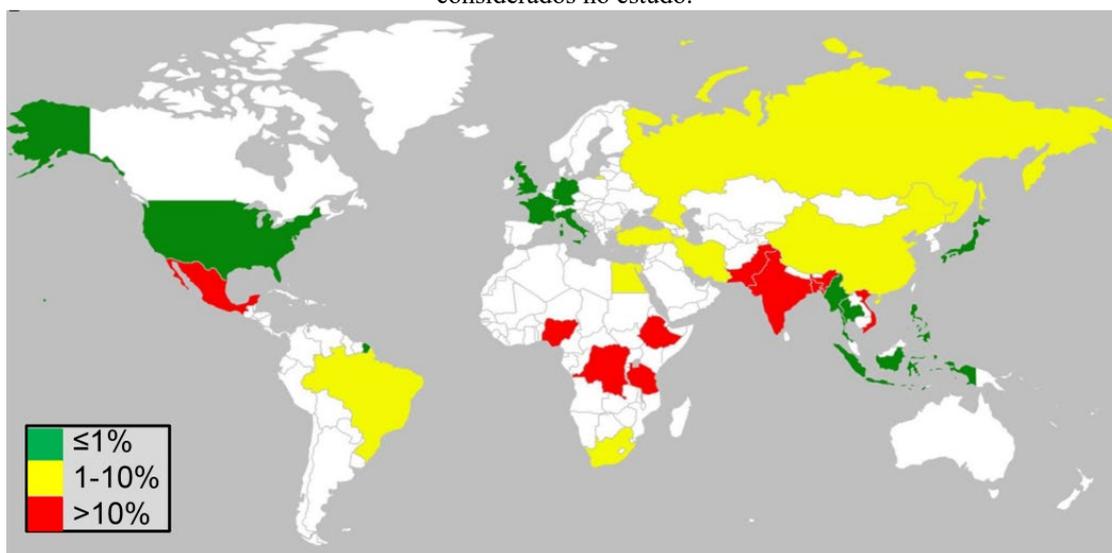
Exemplos dessas construções, abordadas por Cordeiro et al. (2019), são presentes em monumentos e conjuntos arquitetônicos importantes ao redor do mundo e compõem 10% da "Lista do Patrimônio Cultural da Humanidade" da UNESCO, que abrange exemplos notáveis como a aldeia de Ait-Bem-Haddou, em Marrocos, a cidadela de Chan Chan, no Peru, a mesquita de Djenné, no Mali e a cidade antiga de Shibam, no Iêmen.

No Brasil, segundo Santos e Bessa (2020), os sistemas construtivos à base de terra foram introduzidos e amplamente empregados no país durante o período colonial entre os séculos XVII e XVIII. Isso se deu devido à influência da arquitetura característica de Portugal na época, bem como pela influência dos povos africanos escravizados, sendo atualmente, ainda possível encontrar construções com terra remanescentes da herança colonial portuguesa em várias regiões do país.

Dados atuais e globais foram apresentados no trabalho Marsh e Kulshreshtha (2021) que utilizou conjuntos de dados demográficos para examinar a distribuição e tendências em relação a habitações construída com terra em todo o mundo. Os dados foram coletados e analisados para os 26 países mais populosos, que representam juntos mais de 75% da população global. Estimou-se que a proporção de famílias que vivem em habitações de terra em todo o mundo seja de 8 a 10%, e a média nos países em desenvolvimento seja de 20 a 25%.

Observa-se no mapa da Figura 1, que a habitações construídas com terra está em declínio em comparação com outras formas de construção, que segundo o trabalho, é impulsionado principalmente por mudanças demográficas e percepções negativas desses materiais nos países em desenvolvimento.

Figura 1 - Mapa global com código de cores indicando a proporção de construções de terra nos países considerados no estudo.



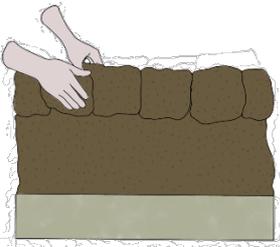
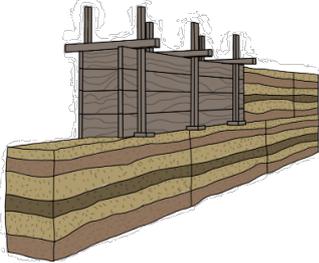
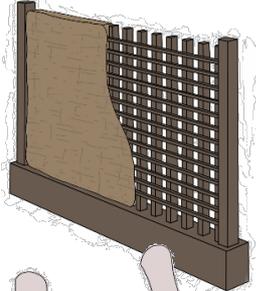
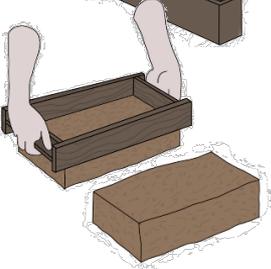
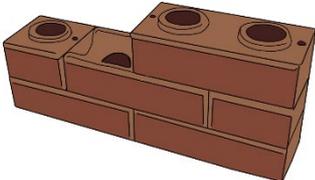
Fonte: Marsh e Kulshreshtha (2021).

### 3.2 – Técnicas Construtivas

Sistematizadas pelo Centro Internacional de Construções com Terra (CRATerre) e descritas por Gonçalves e Gomes (2012), há inúmeras soluções construtivas de terra dentre técnicas tradicionais e modernas.

Fazendo uma síntese das principais técnicas que empregam o solo como matéria prima, uma breve descrição é apresentada abaixo na Tabela 1:

Tabela 1 – Principais técnicas construtivas utilizando solo como material.

Técnica	Descrição	Representação
COB	Técnica que emergiu no começo do período Neolítico, consiste em empilhar porções de terra em estado plástico, geralmente fibroso, camada por camada, para construir uma parede monolítica. Esta técnica é muito utilizada na África, Índia e Arábia Saudita (MOREL et al., 2021; VYNCKE et al., 2018).	
TAIPA	Conhecida no Brasil e em Portugal como “taipa-de-pilão”, utiliza uma mistura de solo úmido (estabilizado ou não), compactado dentro de uma forma (tradicionalmente feita de madeira, mas atualmente também podendo ser feita de aço). Por consequência da compactação por camadas, as construções de taipa são caracterizadas por um padrão listrado horizontalmente. Inicialmente, a compactação era realizada manualmente, mas no século XX, surgiram compactadores elétricos e pneumáticos (ARDUIN et al., 2022; VYNCKE et al., 2018).	
PAU-A-PIQUE	Também chamada de taipa de mão ou taipa de sebe e sendo bastante conhecida, esta técnica é feita utilizando uma estrutura de madeira ou bambu, preenchida por mistura de fibras e solo em estado plástico (MOREL et al., 2021).	
ADOBE	Uma das mais antigas e amplamente utilizadas técnicas, surgiu durante o começo do período Neolítico. Consiste em uma mistura plástica de água e solo, muitas vezes contendo palha cortada, colocada em moldes de madeira em forma de tijolos, sem compactação e secas ao sol (MOREL et al., 2021; VYNCKE et al., 2018).	
TIJOLO SOLO-CIMENTO	Também conhecido como tijolo ecológico, essa técnica moderna foi desenvolvida em meados do século XIX, consistindo em compactar a mistura de solo e cimento, em seu teor ótimo de umidade, dentro de uma forma, usando uma prensa manual, hidráulica ou mecânica. Com sua utilização, tornou-se possível trabalhar com menor teor de água na mistura de solo em comparação aos blocos de adobe, além dos tijolos de solo-cimento poderem ser empilhados imediatamente após a produção. Atualmente, existem prensas industriais de grande porte para produzir os tijolos, porém a prensa manual continua sendo muito popular (MOREL et al., 2021; VYNCKE et al., 2018).	

### 3.3 – Sustentabilidade e Construções em Terra

Utilizar a terra como recurso de construção é uma opção para construir edificações mais ecologicamente sustentáveis, porém, sua utilização foi estigmatizada e substituída por materiais convencionais que não possuem os mesmos benefícios (SANTOS et al., 2020).

O solo é uma matéria-prima renovável, abundante, não tóxica e gera impactos ambientais significativamente menores do que os provocados pela forma predominante de construção atual (BRAGA; ROCHETA, 2008). Quando cimento ou outros produtos industrializados são usados como estabilizantes, os custos ambientais aumentam devido ao processo de fabricação e à distância de transporte (ÁVILA; PUERTAS; GALLEGU, 2022).

Assim, construções em terra oferecem vantagens sustentáveis citadas por Santos et al. (2020) e Ávila et al. (2022), tais como:

- baixa energia incorporada, pois necessita de pouco ou nenhum processamento industrial, reduzindo o consumo de recursos e energia, a poluição e a geração de resíduos;
- fácil acesso, sendo o solo um material abundante;
- possibilidade de extração no próprio local da construção, dispensando transporte de materiais;
- total reutilização, por ser um material natural.

## IV. CONCLUSÃO

Atualmente, é imprescindível investir na pesquisa e disseminação de tecnologias construtivas sustentáveis, visto que a construção civil é um dos principais setores responsáveis pelas altas emissões de CO<sub>2</sub> e consumo de energia e recursos naturais, além de ser um grande gerador de resíduos sólidos. Torna-se também essencial procurar alternativas que substituam materiais poluentes como concreto, aço e alumínio, por opções mais limpas e naturais que minimizem os impactos ambientais.

O solo extraído em seu estado bruto da natureza, possui características que se tornam aliadas ao meio ambiente e ao ser humano, tendo técnicas construtivas com a sua utilização empregadas na construção civil durante séculos. Assim, o desenvolvimento e disseminação do conhecimento dessas técnicas tornam-se fundamentais para o seu resgate na atualidade.

As vantagens da implementação da terra como material de construção, apresentadas neste estudo, revelam uma clara conexão entre a utilização deste recurso e práticas mais sustentáveis no setor da construção, formando um conjunto de fatores favoráveis para impulsionar o contínuo uso e desenvolvimento das técnicas de construção com terra.

## V. REFERÊNCIAS

ARDUIN, D.; CALDAS, L. R.; PAIVA, R. de L. M.; ROCHA, F. **Life Cycle Assessment (LCA) in Earth Construction: A Systematic Literature Review Considering Five Construction Techniques**. [S. l.]: MDPI, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2022**. 2022. 59p.

ÁVILA, F.; PUERTAS, E.; GALLEGO, R. **Characterization of the mechanical and physical properties of stabilized rammed earth: A review**. Construction and Building Materials Elsevier Ltd. 28 mar. 2022.

BRAGA, A. M. G. S.; ROCHETA, V. L. S. **A construção em terra e a sustentabilidade**. In: 5º SEMINÁRIO DE ARQUITECTURA EM TERRA EM PORTUGAL, 2007, Aveiro. Seminário. Faro: Aveiro, 2008. p. 1 - 8.

CORDEIRO, C. C. M.; BRANDÃO, D. Q.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. **Construções vernáculas em terra: perspectiva histórica, técnica e contemporânea da taipa de mão**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 10, p. e019006, jan. 2019. ISSN 1980-6809. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8651212>.

GIRALDELLI, M. A. et al. **Construção com Terra: Breve Histórico e Técnicas**. Ensaios e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde, v. 24, n. 4, p. 357–364, 2 dez. 2020.

GONÇALVES, T. D.; GOMES, M. I. **Construção de terra crua: potencialidades e questões em aberto**. Jornadas LNEC, Lisboa, v. 18, 2012.

HANAFI, W. H. H. **Compressed stabilized earth block: environmentally sustainable alternative for villages housing**. Journal of Engineering and Applied Science, [s. l.], v. 68, n. 1, 2021.

MARSH, A. T. M.; KULSHRESHTHA, Y. **The state of earthen housing worldwide: how development affects attitudes and adoption**. Building Research & Information, [s.l.], v. 49, n. 8, p. 960-970, 2021. DOI: 10.1080/09613218.2021.1953369.

MOREL, J. C.; CHAREF, R.; HAMARD, E.; FABBRI, A.; BECKETT, C.; BUI, Q. B. **Earth as construction material in the circular economy context: Practitioner perspectives on barriers to overcome**. [S. l.]: Royal Society Publishing, 2021.

SANTOS, A. A., RODRIGUES, M. D., & de OLIVEIRA, T. A. **Estudo da potencialidade da construção com terra visando a sustentabilidade em Sergipe**. Caderno De Graduação - Ciências Humanas E Sociais - UNIT - SERGIPE, 6(1), 79, 2020.

SANTOS, D.P.; BESSA, S.A.L. **O uso do Adobe no Brasil: uma revisão de literatura**. Mix Sustentável, v.6, n.1, p. 53-66, 2020. DOI: 10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n1.53-66

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP. 2022a. **Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector**. Nairobi. 2022. 100p.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP. 2022b. **Emissions Gap Report 2022: The Closing Window — Climate crisis calls for rapid transformation of societies**. Nairobi. 2022. 101p.

VYNCKE, J.; KUPERS, L.; DENIES, N. **Earth as Building Material – an overview of RILEM activities and recent Innovations in Geotechnics**. MATEC Web of Conferences, v. 149, 02001, 2018. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814902001>.

## VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de mestrado possibilitando financiamento parcial deste trabalho.

## VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

---

**COMPARAÇÃO ENTRE O DESEMPENHO DE  
CLASSIFICADORES BASEADOS EM RNA APLICADOS A  
COMPONENTES PRINCIPAIS E INDICADORES  
ESTATÍSTICOS NA IDENTIFICAÇÃO DE ESTADOS DE  
CONSERVAÇÃO DE ESTRUTURAS**

***COMPARISON BETWEEN THE PERFORMANCE OF ANN-  
BASED CLASSIFIERS APPLIED TO PCA AND STATISTICAL  
INDICATORS FOR SHM***

Cássio de Castro Motta<sup>1</sup>  
Clayton Felício da Silva<sup>2</sup>  
Lucas Vieira Resende<sup>3</sup>  
Matheus Júnior Silveira Dalcin<sup>4</sup>  
Flávio de Souza Barbosa<sup>5</sup>

**Resumo** – *O presente estudo visa detectar o estado de dano de uma estrutura a partir de medições dinâmicas por meio da aplicação de técnicas associadas a indicadores estatísticos, análise de componentes principais (PCA) e classificadores baseados em redes neurais artificiais (RNA). Para validação da metodologia, um pórtico foi ensaiado dinamicamente em laboratório e submetido a 5 condições de dano controladas. Suas respostas dinâmicas em cada estado de dano foram usadas como dados de entrada dos algoritmos para a análise de desempenho dos mesmos. Observou-se que o PCA proporcionou taxas de acerto superiores na identificação do estado de dano estrutural.*

**Palavras-chave:** *Monitoramento da Integridade de Estruturas (SHM). Redes Neurais Artificiais (RNA). Análise de Componentes Principais (PCA). Inteligência Artificial (IA).*

**Abstract** - *This research aims to assess the damage state of a structure from dynamic measurements by the application of techniques associated with statistical indicators, Principal Component Analysis (PCA) and classifiers based on Artificial Neural Networks (ANN). A flat porch was submitted to five controlled damage conditions and dynamically tested in the laboratory to validate the methodology. The dynamic responses in each damage state were*

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Civil na UFJF. Bolsista de iniciação científica no Laboratório de Imagens e Sinais (UFJF). Contato: [cassio.motta@engenharia.ufjf.br](mailto:cassio.motta@engenharia.ufjf.br)

<sup>2</sup> Doutorando em Geotecnia na Universidade de Brasília. Mestre em Engenharia Civil pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFJF. Contato: [felicio.clayton@engenharia.ufjf.br](mailto:felicio.clayton@engenharia.ufjf.br)

<sup>3</sup> Graduando em Engenharia Civil na UFJF. Bolsista de iniciação científica no Laboratório de Imagens e Sinais (UFJF). Contato: [resende.lucas@engenharia.ufjf.br](mailto:resende.lucas@engenharia.ufjf.br)

<sup>4</sup> Mestrando em Engenharia Civil pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFJF. Contato: [matheus.dalcin@engenharia.ufjf.br](mailto:matheus.dalcin@engenharia.ufjf.br)

<sup>5</sup> Doutor em Engenharia Civil. Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFJF. Contato: [flavio.barbosa@ufjf.br](mailto:flavio.barbosa@ufjf.br)

*introduced as inputs in the algorithms to analyze those performances. The results showed that the PCA provided higher hit rates identifying the structural damage state.*

**Keywords:** *Structural Health Monitoring (SHM). Artificial Neural Network (ANN). Principal Component Analysis (PCA). Artificial Intelligence (AI).*

## I. INTRODUÇÃO

Grandes esforços têm sido direcionados para o campo do monitoramento da integridade de estruturas, visando a segurança, a economia na manutenção e a previsibilidade de patologias. Nesse contexto, seguindo os avanços de capacidade computacional (GORDAN *et al.*, 2022), uma das vertentes de estudo está voltada para o desenvolvimento de algoritmos de inteligência artificial (IA) capazes de avaliar o estado de preservação de estruturas a partir de respostas dinâmicas a vibrações provocadas por perturbações controladas (ALVES, *et al.*, 2015.) e (NEVES *et al.*, 2017).

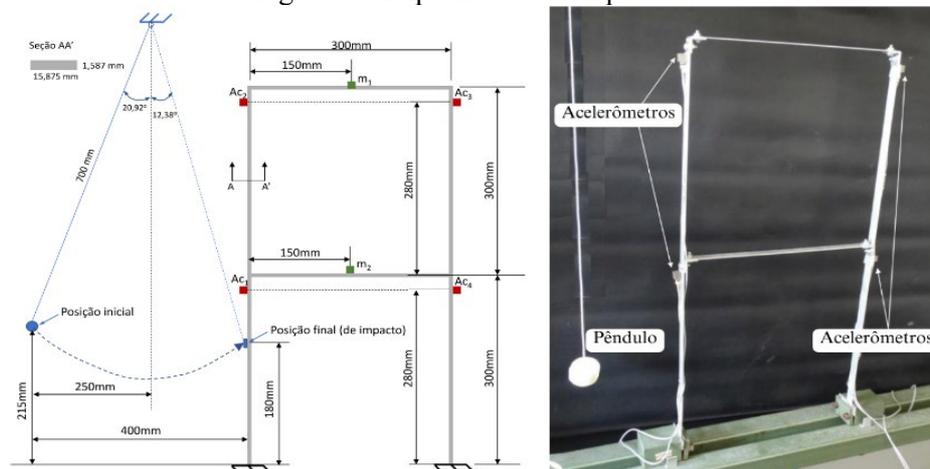
No contexto da análise de vibrações em estruturas, o uso de análise de componentes principais, do inglês *Principal Component Analysis* (PCA) e indicadores estatísticos podem ser técnicas úteis para extrair parâmetros de uma amostra de dados e identificar padrões de vibração (FINOTTI, CURY e BARBOSA, 2019) e (NGUYEN, KOO e LEE, 2005). A partir disso, tem-se um vetor com dimensionalidade reduzida e representativo da amostra, conferindo maior eficiência para os algoritmos de classificação.

Nesse sentido, a motivação inicial deste estudo foi buscar melhorias na extração dos traços principais das vibrações para treinar redes neurais artificiais (RNA), o que proporciona maior precisão na identificação e na classificação do estado de dano. No caso de resultados favoráveis, os métodos utilizados poderiam ser incorporados em algoritmos similares.

## II. METODOLOGIA

Visando a validação dos métodos de processamento propostos, utilizou-se uma base de dados gerada a partir de ensaios dinâmicos realizados no Laboratório de Imagens e Sinais da UFJF. Nessa etapa, um pórtico plano foi submetido a ensaios vibracionais sob cinco condições de dano controladas e as vibrações dessa estrutura foram coletadas por 4 acelerômetros acoplados. A excitação da estrutura consistiu na colisão de um pêndulo de massa igual a 14 g liberado de uma distância de 400 mm da estrutura, conforme indicado na Figura 1.

Figura 1 - Esquema e foto do pórtico.



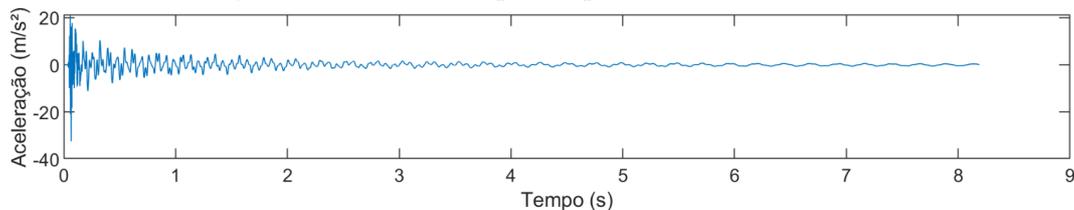
Fonte: Amaral, 2022.



O pórtico ensaiado é uma estrutura de alumínio composta por 6 barras chatas de 300 mm de comprimento cada e seção 15,875 mm × 1,587 mm, fixadas entre si por parafusos, arruelas e porcas. Os estágios de danos foram simulados pela adição de massas posicionadas na região central da estrutura, como indicado na Figura 1.

Sob cada condição de dano, foram executados 300 ensaios, totalizando 1500 ensaios, nos quais cada acelerômetro registrava 4096 sinais diferidos no tempo sob uma frequência de aquisição de 500 Hz, totalizando 8,19 segundos, conforme o exemplo mostrado na Figura 2, mais detalhes acerca dos ensaios realizados na construção da base de dados podem ser vistos em Amaral (2022).

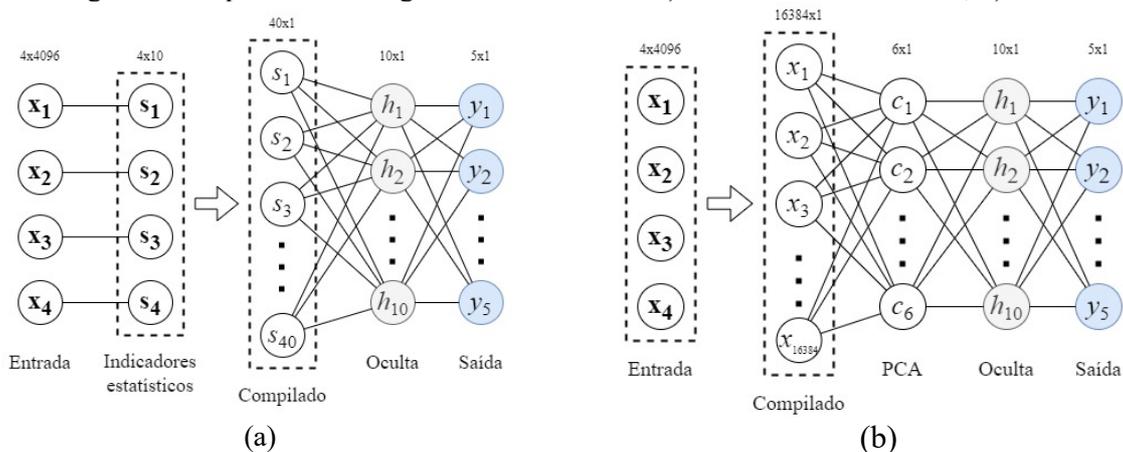
Figura 2 - Gráfico de resposta típica de um acelerômetro.



Fonte: Autores, 2023.

Durante o processamento dos dados, foram empregadas duas estratégias de redução de dimensionalidade: indicadores estatísticos e PCA. Em seguida, os parâmetros obtidos foram utilizados como entradas de uma RNA *feedforward* classificadora construída utilizando a IDE MATLAB® com 10 neurônios na camada oculta e 5 na camada de saída, visando classificar a estrutura entre os 5 estados de conservação experimentados. As arquiteturas dos algoritmos desenvolvidos estão representadas na Figura 3.

Figura 3 - Arquitetura dos algoritmos elaborados: a) Indicadores Estatísticos, b) PCA.



Fonte: Autores, 2023.

### 2.1 – Indicadores estatísticos

Indicadores estatísticos são medidas numéricas que resumem e descrevem o comportamento dos dados (FARRAR e WORDEN, 2012), caracterizando de maneira mais concisa a distribuição da estrutura do que os sinais de aceleração. Os indicadores estatísticos foram escolhidos com base em Finotti, Cury e Barbosa (2019) e estão explicitados na Tabela 1, juntamente com as equações para cálculo dos tais.

Tabela 1 – Indicadores estatísticos utilizados.

Pico	Média quadrática	Variância	Assimetria	Fator de crista
$x_p = \max x $	$x_{sq} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2$	$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$	$S = \frac{\sigma^{-3}}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3$	$Cf = \frac{x_p}{rms}$
Média	Raiz da média quadrática	Desvio padrão	Curtose	Fator K
$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	$rms = \sqrt{x_{sq}}$	$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$	$k = \frac{\sigma^{-4}}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4$	$Kf = x_p \cdot rms$

A partir dos dados de cada ensaio, os 10 indicadores relativos aos sinais de cada acelerômetro foram calculados e compilados em vetores de 40 dimensões, como mostrado na Figura 3.

### 2.2 – Análise de componentes principais (PCA)

De acordo com Farrar e Worden (2012), PCA é um método que busca representar um grupo de informações em um novo conjunto de coordenadas cartesianas com menor dimensionalidade. Por meio de uma transformação linear, são formadas novas variáveis a partir das originais, maximizando a variância dos dados e apresentando-os de maneira mais simples. Esse procedimento é descrito detalhadamente por Sharma (1996).

Utilizando esse método, foram testadas algumas abordagens na extração de componentes principais, onde os dados provenientes dos experimentos foram organizados de formas distintas para a extração. A abordagem que proporcionou melhores resultados foi a exemplificada na Figura 3, onde os vetores de acelerações foram compilados gerando um único vetor por ensaio, para então extraírem-se 6 componentes principais. O número de componentes foi definido através de uma busca exaustiva, testando diferentes valores e avaliando os resultados.

### 2.3 – Redes neurais artificiais (RNA)

Uma RNA é um modelo preditivo inspirado no funcionamento e na estrutura do cérebro humano. Esse modelo é composto por camadas de células (neurônios) interconectadas que processam informações através de uma série de operações matemáticas (PRINCIPE, EULIANO e LEFEBVRE, 1999).

Para aprender a manipular um certo tipo de dado, a rede passa por uma fase chamada de treinamento, onde ela processa uma base de dados inserida com entradas e saídas conhecidas. As operações são executadas com constantes (pesos e vieses) inicialmente aleatórias e, a cada ciclo, esses valores são ajustados pela própria máquina em sentido oposto aos erros aferidos na saída, procedimento chamado de retropropagação. Dessa maneira, o erro é reduzido ao longo de seu treinamento até que a rede aprenda a classificar os dados de maneira satisfatória. Após treinada, espera-se que ela seja capaz de processar com eficiência dados externos àqueles entregues para treinamento.

No caso deste estudo, as redes recebiam como entrada os indicadores estatísticos ou os parâmetros obtidos por PCA, enquanto os valores de saída eram os diferentes estados de conservação da estrutura, como representado na Figura 3.

### III. RESULTADOS

As redes treinadas seguindo as duas estratégias de redução de dimensionalidade apresentaram erros pequenos de classificação, como mostram as matrizes de confusão na Figura 4. Pode-se observar, porém, que os erros médios apresentaram diferenças significativas entre si: 0,1% no caso do PCA e 0,5% no caso dos indicadores estatísticos.

Figura 4 - Matrizes de confusão das RNA associadas a PCA e indicadores estatísticos.

		PCA					Indicadores Estatísticos						
Real	1	45140 20.1%	20 0.0%	8 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	99.9%	44990 20.0%	46 0.0%	135 0.1%	2 0.0%	2 0.0%	99.6%
	2	1 0.0%	44894 20.0%	161 0.1%	0 0.0%	0 0.0%	99.6%	26 0.0%	44323 19.7%	122 0.1%	74 0.0%	13 0.0%	99.5%
	3	0 0.0%	32 0.0%	44766 19.9%	14 0.0%	0 0.0%	99.9%	4 0.0%	204 0.1%	44867 19.9%	4 0.0%	0 0.0%	99.5%
	4	4 0.0%	16 0.0%	6 0.0%	45165 20.1%	0 0.0%	99.9%	0 0.0%	237 0.1%	1 0.0%	44807 19.9%	24 0.0%	99.4%
	5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	4 0.0%	44769 19.9%	100.0%	12 0.0%	36 0.0%	43 0.0%	83 0.0%	44945 20.0%	99.6%
			100.0% 0.0%	99.8% 0.2%	99.6% 0.4%	100.0% 0.0%	100% 0.0%	99.9% 0.1%	99.9% 0.1%	98.8% 1.2%	99.3% 0.7%	99.6% 0.4%	99.9% 0.1%
		Previsto					Previsto						

Fonte: Autores, 2023.

As matrizes apresentadas foram elaboradas com os resultados compilados de validação e teste de 500 redes treinadas para cada método, visando a obtenção de valores representativos de performance. A Tabela 2 apresenta uma avaliação das taxas de acerto obtidas durante essas execuções em termos de média e dispersão. Também são apresentadas as taxas de acerto máximas e mínimas atingidas pelo emprego de cada metodologia de redução de dimensionalidade.

Tabela 2 – Análise das taxas de acerto.

	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo
PCA	99,88%	0,20%	100,00%	98,00%
Indicadores estatísticos	99,53%	0,36%	100,00%	97,33%

Em termos de custo computacional, o algoritmo com uso de indicadores estatísticos demorou em média 8% mais tempo em comparação com o algoritmo com uso de PCA.

### IV. CONCLUSÃO

Nesse estudo, foram comparados dois métodos de redução de dimensionalidade (PCA e indicadores estatísticos) para o desenvolvimento de um algoritmo de classificação de estruturas em termos de estágios de dano. Para isso, um pórtico plano com acelerômetros acoplados foi submetido a colisões controladas sob diferentes condições de dano. Em seguida, os sinais coletados foram utilizados como entradas dos algoritmos e suas performances foram comparadas.

Ambos os métodos proporcionaram taxas de erro baixas, aceitáveis para aplicação na vasta maioria dos problemas de engenharia. Ainda assim, a redução de dimensionalidade por PCA ocasionou taxas consideravelmente menores, de 0,1% contra 0,5% do método concorrente, o que caracteriza uma probabilidade de erro reduzida em

80%. Outra diferença observada entre os algoritmos testados foi o tempo de execução, onde aquele com indicadores estatísticos também apresentou uma ligeira desvantagem.

Conclui-se, portanto, que a utilização de PCA culmina em resultados mais confiáveis e menor custo computacional, fator que pode ser relevante em problemas de maior escala, com utilização de maiores amostras de dados.

## V. REFERÊNCIAS

AMARAL, Rafaelle Piazzaroli Finotti. **Inteligência artificial aplicada ao monitoramento de estruturas: detecção de alterações mecânico-estruturais baseada no uso de redes neurais autocodificadoras esparsas para a caracterização de respostas dinâmicas**. Tese (Doutorado em Modelagem Computacional) - Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional, Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, p. 167. 2022.

ALVES, Vinicius et al. Structural modification assessment using supervised learning methods applied to vibration data. **Engineering Structures**, v. 99, p. 439-448, 2015.

FARRAR, Charles R.; WORDEN, Keith. **Structural health monitoring: a machine learning perspective**. John Wiley & Sons, 2012.

FINOTTI, Rafaelle Piazzaroli; CURY, Alexandre Abrahão; BARBOSA, Flávio de Souza. An SHM approach using machine learning and statistical indicators extracted from raw dynamic measurements. **Latin American Journal of Solids and Structures**, v. 16, 2019.

GORDAN, Meisam et al. State-of-the-art review on advancements of data mining in structural health monitoring. **Measurement**, p. 110939, 2022.

NEVES, Ana C. et al. Structural health monitoring of bridges: a model-free ANN-based approach to damage detection. **Journal of Civil Structural Health Monitoring**, v. 7, p. 689-702, 2017.

NGUYEN, T. N.; KOO, K. Y.; LEE, H. M. Application of principal component analysis and artificial neural networks for structural damage detection. **Engineering Structures**, v. 27, n. 12, p. 1821-1832, 2005.

PRINCIPE, Jose C.; EULIANO, Neil R.; LEFEBVRE, W. Curt. **Neural and adaptive systems: fundamentals through simulations**. John Wiley & Sons, Inc., 1999.

SHARMA, Subhash. **Applied Multivariate Techniques**. John Wiley & Sons. Inc, New York, 1996.

## VI. AGRADECIMENTOS

Os autores do presente artigo agradecem às agências: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) projetos: 407256/2022-9, 308008/2021-9, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) e Universidade de Brasília (UnB) pelo fomento fornecido.

## VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

## DESEMPENHO ESTRUTURAL DE TRELIÇAS DE BAMBÚ CONSTRUÍDAS COM TRÊS DIFERENTES LIGAÇÕES

### ***STRUCTURAL PERFORMANCE OF BAMBOO TRUSSES BUILT WITH THREE DIFFERENT JOINING SYSTEMS***

Tiago Radaskievicz<sup>1</sup>  
Pierre Luis Alves<sup>2</sup>

**Resumo** – O bambu é um material compósito natural com excelentes propriedades físicas, geométricas e mecânicas. Em ensaios com a espécie bambu Moso (*Phyllostachys Pubescens*) foram obtidos resultados de 41 MPa na resistência a compressão e 146 MPa à tração. Estas propriedades, alinhadas as características sustentáveis como o rápido crescimento e a capacidade de sequestrar carbono da atmosfera, fazem do bambu um material adequado para aplicação em estruturas solicitadas axialmente, como as treliças. Este estudo buscou avaliar o desempenho estrutural de treliças planas confeccionadas com bambu Moso através da medição das tensões e deslocamento vertical no meio do vão livre no momento do colapso. Os resultados demonstraram que o colapso da estrutura iniciou sempre nas ligações, mostrando que um sistema inadequado de junção entre as barras pode afetar o real potencial do bambu como um material de construção para fins estruturais.

**Palavras-chave:** Estruturas em bambu. Treliças. Ligações.

**Abstract** - Bamboo is a natural composite material with great physical, geometrical and mechanical properties. The specie Moso bamboo (*Phyllostachys Pubescens*) presents results of 41 MPa for compressive strength and 146 MPa for tensile strength. These properties, along with its sustainable characteristics, such as fast growing and carbon dioxide sequestration from the atmosphere, make bamboo a suitable material for application in structures loaded axially, such as trusses. This research aimed to evaluate the structural performance of plane trusses made of Moso bamboo by measuring the stresses on bars and the displacement in the middle of the free span up to the moment when the structure collapses. The results pointed out that the structural collapse always started in the joints, showing that an inadequate joining system may affect the real mechanical potential of bamboo as a structural building material.

**Keywords:** Bamboo structures. Truss. Joints.

<sup>1</sup> Mestre em engenharia civil (UTFPR/Curitiba-PR); Engenheiro Civil no IFPR. Contato: [tiago.radaskievicz@ifpr.edu.br](mailto:tiago.radaskievicz@ifpr.edu.br).

<sup>2</sup> Mestre em engenharia civil (UTFPR/Curitiba-PR); Engenheiro Civil no IFPR. Contato: [pierre.alves@ifpr.edu.br](mailto:pierre.alves@ifpr.edu.br).

## I. INTRODUCTION

Natural materials generally have notable efficiency, as they resist the complex loads caused by nature to living beings using minimum material. Furthermore, most of them are intrinsically sustainable, recyclable and sometimes biodegradable. A truss with nodal loads and consequently axially loaded bars tends to be efficient to large spans with low self-weight and reduced bar sections (PRADHAN, PARASKEVA, DIMITRAKOPOULOS, 2022).

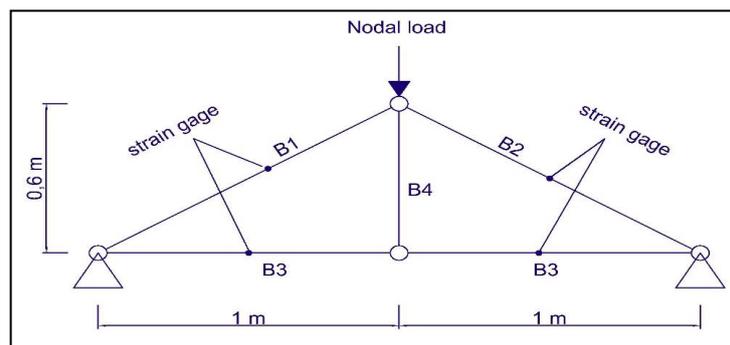
Bamboo is renewable in the short term and widely available around the world. It is largely used as a structural element in buildings in some Asian countries such as China and Indonesia as well as in Central and South America, in Equator, Peru, Costa Rica and mainly Colombia (YADAV, MATHUR, 2021). Its rounded and hollow geometry and preponderant axial disposition of fibers grant bamboo great physical and mechanical properties. Tests performed using Moso bamboo (*Phyllostachys Pubescens*) showed a specific mass of 573 kg/m<sup>3</sup>, modulus of elasticity of 9000 MPa, and compressive and tensile strengths of 41 MPa and 146 MPa, respectively. On the other hand, its disposition of fibers causes shear strength of only 16 MPa (NIE *et al*, 2021).

These characteristics make bamboo a great material for building trusses, demanding special care in the conception of the joining systems, which are usually the weak point of the structure. Furthermore, the reliability of tests for determining mechanical behavior may be decisive for the standardization of building codes and dissemination of bamboo as a structural material (HONG *et al*, 2020).

## II. MATERIALS AND METHODS

In order to analyze the influence of the joining system on the structural performance of bamboo trusses, 9 models were built, 3 of each type of joint, exploring different forms of load transmission. All models were made of Moso bamboo (*Phyllostachys Pubescens*) and consisted of a plane truss with a 2 m free span, with a concentrated load at the top node.

Figure 1: Truss structural model



Source: Authors (2023)

Based on previous values obtained in accordance with ISO 22157 for compressive strength (41 MPa), tensile strength (146 MPa), average section area (2473 mm<sup>2</sup>), modulus of elasticity (9000 MPa), as well as admitting the nodes as hinges, a structural collapse in the diagonal compressed bars was expected, whereas the tensioned bottom bar would remain intact and the central vertical bar would not be loaded.

The joining system type 1 was inspired on a topology widely used by the Colombian architect Simon Velez. This joining system consists of steel threaded bars transpassing two or more bamboo culms, as close as possible to the culm nodes. Usually, the internode where the bars are inserted is filled by mortar in order to increase the resistance of the joint. Even though bamboo presents low shear strength due to its parallel fibers, this system did not include that filling technique. Thus, the load transmission should occur by the contact on the notches and by the steel bars with the culm walls. These bars have a diameter of 1 cm and are made of SAE 1010 ( $E = 145$  GPa;  $f_y = 180$  MPa;  $f_u = 325$  MPa).

The topology used in the joining system type 2 was very similar to that used in the type-1 model, but including a composite made of fiberglass tissue impregnated with a polymeric resin around the joint. It has been demonstrated that the use of a similar composite on bamboo trusses increases their shear strength close to the cavities where the steel bars are inserted, in addition to providing better stiffness to the whole structure (CORREAL *et al*, 2021).

The addition of this composite, disposed in three layers at each joint, provided an additional way of transmitting the stresses: by friction on the outer layer of the culm. This type of transmission is named as group 3, according to a classification of bamboo joint types (WIDYOWIJATNOKO, 2012).

The construction of the joining system type 3 consists of inserting wood dowels in culm extremities and connecting these dowels by using wood structure techniques. This approach has the advantage of not using bolts or steel bars crossing the culm wall and also of increasing the section area due to the insertion of wood dowels, what helps to avoid the collapse by shearing and crushing, respectively.

Once bamboo has conic geometry and the wood dowels must have a uniform diameter, it was necessary to adapt the dowels inside the culms by making small cuts on their extremities.

This joining system transmits the loads by friction in the inner layer of the culm, so in order to increase the friction, wood glue was applied over the dowel surface and also on the metallic clamps around the culm end. The dowels were made of *Pinus elliottii* wood ( $f_{co} = 31,5$  MPa;  $E = 8846$  MPa) and were connected by 3 mm thick steel plates and bolts with a diameter of 1 cm.

Figure 2: The three joining systems models



Source: Authors (2023)

Nine tests were performed, three on each type of joining system. Trusses were positioned within a closed reaction frame over metal hinge supports and loaded on the top node, in order to simulate the parameters of the structural model. In order to obtain strains and consequent stresses, strain gages linked to a data logger machine were attached to the diagonal and bottom bars.

Initially, a deflectometer was positioned under the central node of the bottom bar in order to record the displacement at the instant when structural collapse takes place, however, just as the tests began, it was observed that the displacement was bigger than the device's capacity, so the value was obtained by using a laser distance meter.

### III. RESULTS AND DISCUSSION

The bar B3 was the most stressed in all trusses tested, even when much below the average tensile strength obtained on characterization tests (146 MPa). The tension on these bars varied from approximately 1/3 of this value (on trusses with the type-1 joining system) to very small values (on those built with type-3 joints).

On compressed diagonal bars, the stresses consisted of around 10 % of the compressive strength (41 MPa), probably due to the low stiffness of the joints. The nodal load at the moment of collapse, which varied between 4,1 kN (type-2 trusses) and 8,2 kN (type-1 trusses), was a consequence of this low stiffness.

Table 1 shows a general view of the results obtained for maximum compressive and tensile stresses " $\sigma$ ", nodal load "F" and vertical displacement of the central bottom node " $\delta$ ".

Table 1 - Truss test results

Joining system	Type-1				Type-2				Type-3			
	Truss	T1	T2	T3	$\mu$	T4	T5	T6	$\mu$	T7	T8	T9
$\sigma$ B1 (MPa)	3,84	0,70	2,22	2,25	0,20	0,25	0,15	0,20	0,51	0,33	0,27	0,37
$\sigma$ B2 (MPa)	2,70	4,40	3,16	3,42	2,80	4,10	2,83	3,24	6,03	10,49	10,70	9,07
$\sigma$ B3 (MPa)	55,20	65,40	71,20	63,93	27,40	47,26	43,50	39,39	1,51	4,24	2,10	2,62
$\delta$ (mm)	91,00	79,00	65,00	78,33	49,00	52,00	63,00	54,67	115,0	89,00	95,00	99,7
F (kN)	7,40	9,80	7,50	8,23	3,60	3,40	5,30	4,10	7,60	5,40	7,00	6,67

In the trusses built with the type-1 joining system the collapse started by shear close to the place where the threaded bars were inserted and then spread along the culm as the load was increased. This behavior can be explained by the anatomy of the bamboo, which has paralell fiber bundles that cause low shear strength.

In these tests there were large displacements of the node constituted by the vertical and the bottom bars. At the moment of rupture, the vertical displacement of this node was 78 mm ( $\sim L/25$ ). The maximum nodal load for this type was, on average, 8,2 kN. The stress was 2,9 MPa on compressed bars and 38,2 MPa on tensioned bars, showing that the collapse was due to the low stiffness of the joints and not to the resistance capacity of the bars.

Some mitigating measures could be taken in order to increase stiffness when using this joining system, such as adopting threaded bars with a larger diameter and filling the internode with mortar or similar material.

In the system which the joint area was reinforced with fiberglass tissue composite, the collapse also started by shear close to the bars. The ultimate nodal load



was, on average, 4,1 kN and there was a decrease in the displacement of the central bottom node of 54,7 mm.

In the structural model, the vertical bar is a zero bar (unstressed), however, in a real structure, in which the nodes are not perfect hinges, there are compression forces acting on this bar. They are transferred as a punctual load to the center of the bottom bar, as on a beam. The decrease in the central node displacement, when compared to those on a type-1 joining system, can be explained by the fact that the reinforcement increases the local tensile strength and, consequently, the structure's bending strength.

The building process of type 3 demonstrated that this kind of joint is simultaneously complex and handcrafted, once it involves several inputs as wood dowels, wood glue, metal plates, bolts and metallic clamps. The higher the number of inputs, the higher the number of variables that interfere in joint stiffness and the more difficult it is to standardize the process.

The highest displacements of the central bottom node were observed in these tests with an average value of 98,3 mm under a maximum load of 8,3 kN. This situation led to a different kind of collapse from that of the structures built with joining systems types 1 and 2, starting with rotation close to the supports followed by the rupture of the culm in the same region.

#### IV. CONCLUSIONS

Despite having sustainable features, bamboo has great physical and mechanical properties that make it a material with great potential to be used as a structural element in buildings.

Truss tests showed that the axial stresses on the bars at the moment of collapse were much below the bamboo limits for compressive and tensile strengths, what shows an underutilization of the structural material, once the collapse always started in the joints.

Considering the results obtained and the construction limitations, the joining system using threaded steel bars seems to be the most viable among the three systems tested for construction standardization. Even though this construction system has the complication of shear forces, it allows the adoption of procedures to increase its stiffness, such as filling the internode with mortar or even reinforcing the region with fiberglass tissue composite.

Therefore, further studies on the development of joining systems for bamboo structures are needed in order to better use their anatomical properties (tubular geometry and parallel fiber bundles) and mechanical properties (suitable axial strengths). This will allow the conception of structures that support higher loads using less material. Solutions that allow standardization and industrialization could make bamboo as attractive as wood, consolidating it as an ecologic, economic and efficient building material.

#### V. REFERENCES

CORREAL, Juan F.; PRADA, Esteban; SUÁREZ, Ana; MORENO, Daniela. Bearing capacity of bolted-mortar infill connections in bamboo and yield model formulation. **Constructions and Building Materials**. v.305, 2021. ISSN 0950-0618. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124597>

HONG, Chaokun; LI, Haitao; XIONG, Zhenhua; LORENZO, Rodolfo; CORBI, Ileana; CORBI, Ottavia; WEI, Dongdong; YUAN, Conggan; YANG, Dong; ZHANG,

Huizhong. Review of connections for engineered bamboo structures. **Journal of Building Engineering**. v.30, 2020. ISSN 2352-7102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101324>

NIE, Shidong; RAN, Song; WU, Di; CHEN, Jieyu; WANG, Hui; WEI, Qike. Mechanical Properties of Moso Bamboo Connections with External Clamp Steel Plates. **Journal of Renewable Materials**. v.10, 2022. ISSN 2164-6341. DOI: <https://doi.org/10.32604/jrm.2022.017275>

PRADHAN, Nischal P.N; PARASKEVA, Themelina S.; DIMITRAKOPOULOS, Elias G. Simulation and experimental verification of an original full-scale bamboo truss. **Engineering Structures**. v. 256, April/2022. ISSN 0141-0296. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.113965>

WIDYOWIJATNOKO, A. Traditional And Innovative Joints In Bamboo Construction. RWTH Aachen University, Aachen, Germany, 2012

YADAV, Madhura; MATHUR, Arushi. Bamboo as a sustainable material in the construction industry: An overview. **Materials Today: Proceedings**. v.43, part 5, 2021. ISSN 2214-7853. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.125>

## VI. COPYRIGHT

Copyright: The authors are solely responsible for the material included in the paper.

## COMPARAÇÃO DE APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS DE PEQUENO PORTES TAIS COMO BOMBA-SOLAR, EÓLICO E RODA D'ÁGUA COMO ENERGIA ALTERNATIVA PARA FINS DE BOMBEAMENTO D'ÁGUA

### COMPARISON OF SMALL-SIZED APPLICATIONS OF TECHNOLOGIES SUCH AS SOLAR-PUMP; WIND AND WATER-WHEEL AS ALTERNATIVE ENERGY DESTINED TO WATER PUMP

Andrei Testi <sup>1</sup>  
Teófilo Miguel de Souza <sup>2</sup>  
Isabel Cristina Trannin <sup>3</sup>

*Abstract - This study compares solar-pump, wind power, and waterwheel technologies for small-scale water-pumping applications. Brazil's alternative energy sector for pumping water in remote areas without power or tap water is growing. Most of Brazil's land is non-urban or rural, in consequence it is reasonable to research affordable technologies that can be used for basic human needs. The currently available technologies have pros and cons. For example, a solar pump system for water-pumping is more sophisticated and dependent on the power grid to avoid more expensive battery banks, therefore non-urban areas with limited electricity may select alternative options. The straight-bladed vertical axis wind turbine design has been extensively researched which is noted for its simplicity, hybrid capability (mechanical & electrical), and ability to carry out the routine maintenance from the ground. The water-wheel technology is inexpensive and comparable to a vertical-axis wind turbine, but it entirely relies on rivers.*

*Keywords: Wind Power. Pumping. Solar.*

*Resumo – Este estudo compara as tecnologias de bomba solar, energia eólica e roda d'água para aplicações de bombeamento de água em pequena escala. O setor de energia alternativa do Brasil para bombear água em áreas remotas sem energia ou água encanada está crescendo. A maior parte da terra do Brasil não é urbana ou rural, portanto, é razoável*

<sup>1</sup> Estudante de Doutorado em Engenharia Mecânica (UNESP/Guaratinguetá-SP); Pesquisa em sistemas eólicos na UNESP Guaratinguetá-SP. Contato: [andei.testi@unesp.br](mailto:andei.testi@unesp.br).

<sup>2</sup> Professor Titular em Engenharia graduação e pós-graduação na UNESP/Guaratinguetá-SP; Graduado em Eng Elétrica-UFJF (1983), Mestre em Eng de Materiais-EEL-USP(1994), Doutor em Eng de Materiais-EEL-USP (1998), Pós-Doutor em Materiais e Metalurgia - Université Paris XIII (2000) Autor de 30 livros impressos (1 Inglês, 1 Alemão, 2 Francês e 3 em Espanhol) e 30 E-books. Petição de 6 patentes no INPI.: [teofilo.souza@unesp.br](mailto:teofilo.souza@unesp.br).

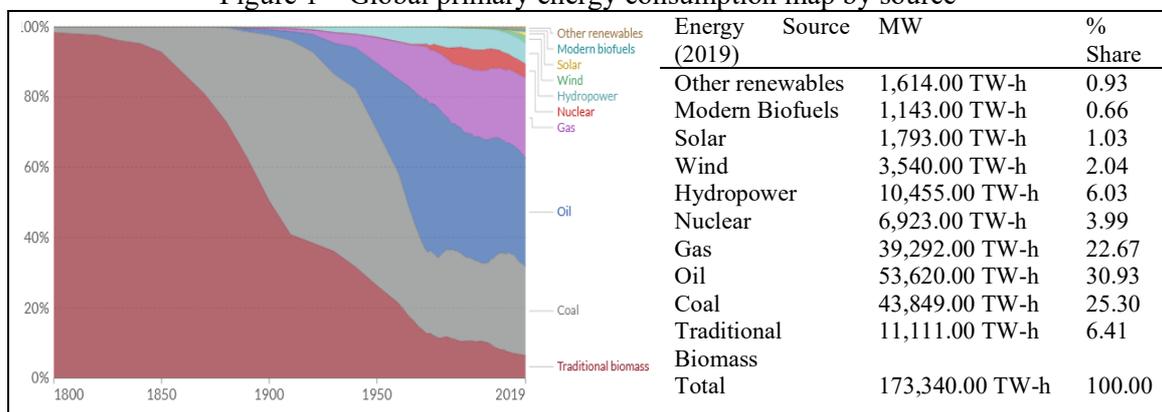
<sup>3</sup> Engenheira Agrônoma, com mestrado (1999) e doutorado (2004) em Agronomia. É membro do Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas - IPABHI (UNITAU) e dos Grupos de Pesquisa em Energia e Análises Ambientais (USP) e Otimização de Sistemas Energéticos: Conservação e Geração (UNESP). Contato: [isabel.c.trannin@unesp.br](mailto:isabel.c.trannin@unesp.br).

*pesquisar tecnologias acessíveis que possam ser usadas para as necessidades humanas básicas. As tecnologias atualmente disponíveis têm prós e contras. O sistema de bomba solar para bombeamento de água é mais sofisticado e dependente da rede elétrica para evitar bancos de baterias mais caros, portanto para as áreas fora das regiões urbanas com eletricidade limitada podem selecionar opções alternativas. O projeto da turbina eólica de eixo vertical de lâmina reta foi extensivamente pesquisado, o que é conhecido por sua simplicidade, capacidade híbrida (mecânica e elétrica) e capacidade de realizar a manutenção de rotina a partir do solo. A tecnologia da roda d'água é barata e comparável a uma turbina eólica de eixo vertical, mas depende dos rios.*  
**Palavras-chave: Eólico. Bombeamento. Solar.**

## I. INTRODUCTION

Many countries have committed to the international agreements, such as Kyoto Protocol and Paris Agreement, to address the issues related to the global climate change (ARANTEGUI & WALDAN, 2018; ZHANG *et al*, 2020). It is remarkable that these countries are striving to comply with their agreements, due to the global consensus towards the need to increase the utilization of the renewable energy sources (FAN & WANG, 2016). Nevertheless, the continuous use of fossil fuels, such as oil and coal, in conjunction with the development of a new and more advanced technologies is one factor that contributes to the deterioration of the natural environment. Due to the resultant irreversible shift in climate, an alternate component is sustainable development, which entails the usage of renewable sources of energy (DUAN, 2017). Since approximately 200 years ago, there has been a demand for fossil fuels to be able to power all the operations that are carried out across the world. This results in the massive emission of CO<sub>2</sub>, whose concentration in the Earth's atmosphere ranges from 280 to over 380 ppm by volume and is steadily rising. As a result, the global average temperature escalation is approaching 3 °C rather than the 1.5 °C limit specified by the Paris Agreement of 2016 (MASSON-DELMOTTE *et al* 2018; WMO, 2019; LATIF *et al*, 2021). Figure 1 demonstrates that the global energy scene has slightly evolved over the past two centuries, indicating that it is still dominated by fossil fuels such as coal, oil, and gas (78,9 %). On the other hand, the low-carbon energy sources, which include: nuclear power (4.3%) and renewables such as hydropower, wind, solar, biofuels, geothermal, and wave & tidal power (11.4 %), are slightly ramping-up as well. The fossil fuel source of energy is comprised by oil (30,93%), gas (22,67%) and coal (25,30%) (WORLD, 2022; SMIL, 2022; MASERA *et al*, 2022; BP, 2022).

Figure 1 – Global primary energy consumption map by source



Source: Adapted from (WORLD, 2022; SMIL, 2022) – Our World in Data).

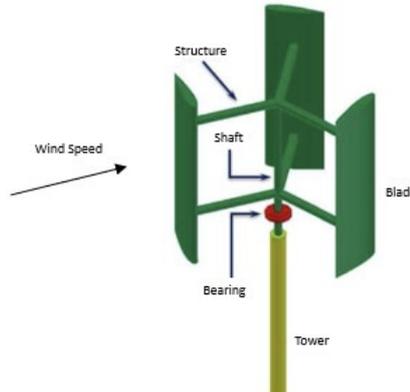
## 1.1 – Wind Energy

Large multi-MW windfarms are driving the clean energy transition by means of wind energy conversion. However, the needs for distributed energy production have arisen the interest in small-scale wind energy conversion technology for residential and urban applications. Vertical axis wind turbines (VAWT) are frequently the best solution for building integration, but they perform unfavorably compared to (HAWT) Horizontal axis wind turbine technology (ELTAYESH, 2023). The classification of the VAWT size is: 1- Small-size output power until 50kW; 2- Medium-size output power from 50 to 1000kW; 3- Large-size output power above 1MW (GEROTO, 2012).

The real power available of a wind energy system is the theoretical power extraction of the wind, which is the same as Equation (1) without  $C_p$ , and this equation accounts for the aerodynamic losses due to the stall characteristics of the profile and the vortices on the tip of the blade. As a result, the real wind power captured by the blade is represented by Equation (1), that is impacted by the factors of blade pitch angle  $\theta$  [°] and blade tip speed ratio  $\lambda$  [adm] (FADIL, SOEDIBYO, ASHARI, 2017; KUMAR and CHATTERJEE, 2016; CHANDRASHEKHAR, MANAGULI and SHASHANK, 2019):

$$P = \frac{1}{2} \rho A m v^3 C_p (\theta \lambda) \text{ [W]} \quad (1)$$

Figure 2 – VAWT System – 3 Blades



Source: Peng, Liu, Yang 2021.

The unpredictable and turbulent character of the wind in urban areas causes a reduction on the wind energy power output, thus the load on the turbines is increased. Therefore, the electrical grid of the system receives a variable and intermittent wind power supply, which makes synchronization more difficult. Current wind energy technologies indicate that VAWTs can outperform HAWTs in urban locations with low-velocity, turbulent wind due to their smaller footprint and greater potential for electricity production (LIU, LIN and ZHANG, 2019; TASNEEM *et al*, 2020; KC, WHALE, and URMEE, 2019; ISLAM, MEKHILEF, and SAIDUR, 2013; SAIDUR *et al*, 2011).

Table 1 – Comparative Data of Urban Wind Turbine Applications. Source: Tasneem *et al* (2020)

	<b>HAWT</b>	<b>VAWT (Lift-based)</b>	<b>VAWT (Drag-based)</b>	<b>H-Rotor</b>
Advantages	Higher efficiency  Most economical Widely used in onshore and offshore applications	Less noise  High Cp Less sensitive to turbulence Lower bending stress	Low cut-in wind speed Self-starting Reduced vibration and noise Reduced lower height High reliability	Better efficiency
Disadvantages	The system does not perform well with: The unpredictable change in the wind direction Low wind speed Turbulent wind flow	Low starting torque  High production cost  Needs external power source	Poor efficiency  Torque varies with blade angle	High Starting torque Expensive to manufacture

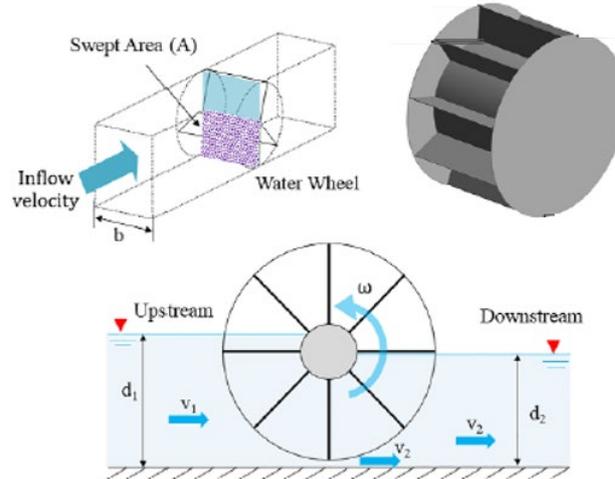
### 1.2 – Water Wheel Turbine

Traditional water wheels, also in the category of the oldest hydraulic machines, were widely used and developed before the 1950s. Most recently, the electric motors have replaced them. Despite its low efficiency, modern hydraulic engineering technology have increased waterwheel power output thus its efficiency. However, nothing is known about the construction, performance, and manufacturing of standardized water wheel designs (NGUYEN, JEONG, YANG, 2017). The authors Nguyen, Jeong, Yang (2017) demonstrated by means of Equation (2) that  $C_p$  is rearranged and calculated in function of the Torque [N.m].

$$C_p = T \omega / \frac{1}{2} \rho A m v^3 \text{ [adm]} \quad (2)$$

Considering the known information that Power [W] is also Torque [N.m] divided by angular velocity  $\omega$  [rad/s], it is possible to rearrange Equation (2) into Equation (1). Figure 1 shows a design for the test model used for the study and the operating theory of the stream wheel.

Figure 3 – Representation of a water wheel turbine and its main parameters



Source: Nguyen, Jeong, Yang, 2017.

### 1.2 – PV Solar-Pump Device

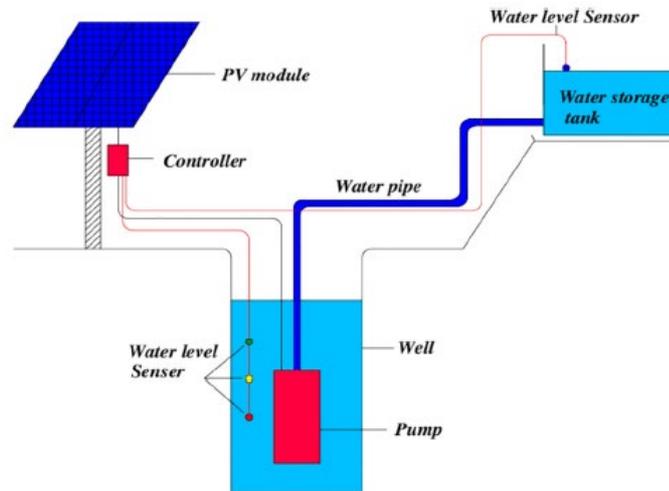
Photovoltaic (PV) panels produce electricity from solar energy, which can power small-scale water pumps. Researchers have been exploring solar-powered water pumping systems for years. Solar-powered water pumping systems have been studied for their efficiency, component efficiency, economic viability, and size optimization (MANSUR, 2018).

The solar radiation ( $G$ ) and the temperature ( $T$ ) are the most important variables that define the power output of a PV module. The power output of a PV module is proportional to solar radiation. During this time, the increase in temperature has a negligible effect on the current of the PV modules. At last, the voltage of the PV modules decreases proportionally to the increase of temperature on the module cells, causing it to reduce the PV module power output. The PV module power output can be represented by the general Equation (3) (HUSSEIN, 2014).

$$P_{PV}(t) = P_{Peak} (G(t)/ G_{Standard}) - \alpha_T [T_C(t) - T_{Standard}] \quad (3)$$

Figure 4 shows a general representation of a Solar-Powered Water Pumping System. This system is comprised of a solar power conversion system, power condition unit, hydraulic water pump, and storage tank. PV panels with a tracking system turn solar energy into electricity. The inverter converts DC output energy to AC to run the pump. Submersible or ground-level water pumps are available. It pumps water from the reservoir to the tank at a height to use gravity flow (VERMA *et al*, 2021).

Figure 4 – Representation of a PV Solar-Panel and its main components

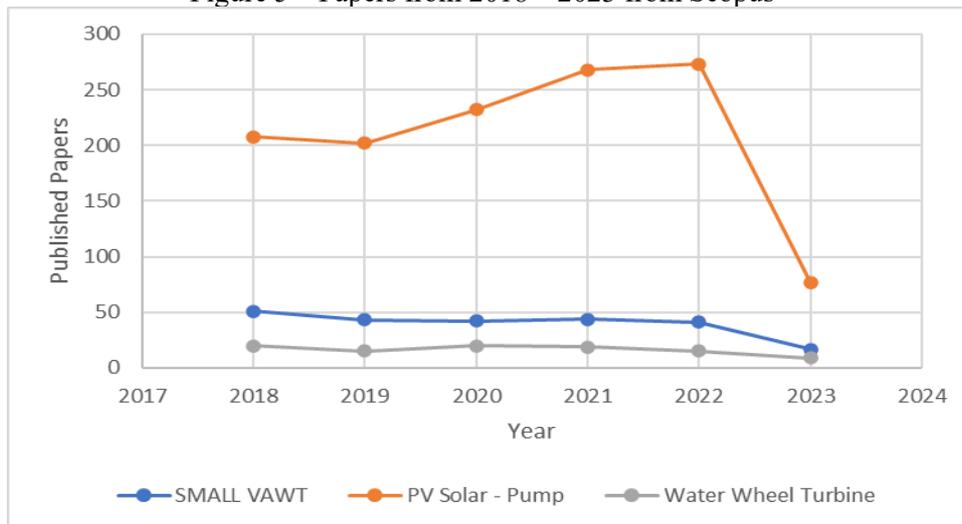


Source: Verma *et al*, 2021.

## II. METHODOLOGY

For the elaboration of this article, a bibliographical research was used based on studies and analyzes of articles as well as documents on renewable energies and alternative energy sources related to the technologies of VAWTs, Water Wheel Turbines and PV Solar-Pump.

Figure 5 – Papers from 2018 – 2023 from Scopus



Source: By Author, 2023.

The source of Figure 1 also presents a list of countries that mostly publish papers for each of these technologies, for instance, the top three ranking: 1- Small VAWTs have China 51, India 25 and Malaysia 23, 2- Water Wheel Turbines have Indonesia 12, China 11 and USA 10, 3- PV Solar-Pumps have India 361, China 141, and Italy 69.

This article also replicated the field test results of the small VAWT system and Water Wheel Turbine, both were independently designed and constructed, in order to obtain information of their performance and price. Figure 6 shows the design of both the VAWT and a Water Wheel Turbine (SOUZA & SOUZA, 2006; GEROTO, 2012).



Figure 6 – (a) Vertical Axis Wind Systems (b) Water Wheel Turbine.



(a) (b)  
 Fonte: (a) Geroto, 2012. (b) Souza & Souza, 2006.

### 2.1 – Reciprocating Piston Pump Calculation

Using empirical equations for a positive piston pump device resulted in a more rapid analysis of water pumping to achieve VAWT output power. Equation (4) shows how to calculate the water volumetric flow, considering the area of the piston [ $m^2$ ], the length of the rod [m] and rotation of the shaft [RPM] (SOUZA, 2016; ROSSATO, 2019).

$$Q_{water} = A_{piston} \cdot L_{course} \cdot RPM/60 \quad (4)$$

Equation (5) shows how to calculate the Delta Pressure required to pump water, considering the water density  $\rho$  [ $kg/m^3$ ], acceleration of the gravity  $g$  [ $m/s^2$ ], Length of Head [m]; Length of Suction [m], Length of the lines [m], and Pressure Drop per meter [Pa/m].

$$\Delta P = \rho g (H_{Head} + H_{Suction}) + (Tube\ Length \times H_{loss}) \quad (4)$$

Equation (6) shows how to calculate Power required to pump water, the Delta Pressure required to pump water, considering the water density  $\rho$  [ $kg/m^3$ ], acceleration of the gravity  $g$  [ $m/s^2$ ].

$$Power_{Pump} = Q_{water} \times \Delta P/\eta \quad (5)$$

### III. RESULTS

Table 2 shows the calculation of the volumetric flow rate of water (liter) per day (5 hours of operation) considering the dimensions of a positive displacement piston pump (Effective chamber area x displacement) and the shaft rotation of the mechanical drive system. The calculation has as inputs, piston diameter [m], area of the piston [m<sup>2</sup>], displacement of the piston [m], rotation of the shaft that activates the pump [RPM], considering a dual action pump. Considerations used for the calculation:  $\rho_{\text{water}} = 1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $\eta_{\text{pump}} = 0,75$ , H Head 200 m, H suction 5 m, Tube Length 1000 m, Pressure Loss (Equivalent) 35 Pa/m, acceleration of gravity 9,81 m/s<sup>2</sup>.

Table 2 – Power required to pump water & Volume available per day. Source: Author (2020)

<b>Pump Diameter</b>	<b>Piston Length</b>	<b>Volume (1)</b>	<b>Volume (2)</b>	<b>Power Required</b>	<b>VAWT Shaft Rotation</b>
<b>mm</b>	<b>mm</b>	<b>liter</b>	<b>liter</b>	<b>W</b>	<b>RPM</b>
38,1	60	811	3892,8	62,2	20
	80	1084	5203,2	82,9	
	100	1360	6528	103,7	
50,8	60	1450	6960	110,6	
	80	1935	9288	147,5	
	100	2420	11616	184,3	
38,1	60	1220	5856	93,31	30
	80	1630	7824	124,4	
	100	2040	9792	155,5	
50,8	60	2175	10440	165,8	
	80	2905	13944	221,2	
	100	3630	17424	276,5	
38,1	60	1622,4	7787,5	124,1	40
	80	2169,7	10414,4	165,9	
	100	2716,9	13041,1	207,4	
50,8	60	2899,3	13916,6	221,2	
	80	3872,2	18586,6	294,9	
	100	4845,1	23256,5	368,6	

(1) The volume in liters was obtained considering operations for 5 hours a day. This could be applied both to VAWT and PV Solar-Pump systems that respectively rely on wind and sun.

(2) The volume in liters was obtained considering operations for 24 hours a day. This is only applied to Water Wheel Turbines.

The above water pumping calculations fit under the category of small-scale systems.

#### 3.1 – Qualitative comparison among technologies

Table 1 shows the acquisition parameters that were measured during the experiment carried out in the city of Guaratinguetá – SP on the UNESP campus (SOUZA & SOUZA, 2006; GEROTO, 2012; ZMBOMBAS, 2023).

Table 3 – Field experiment test results and manufacturer data.

Technology	Manufacturer/Model	Power [W]	Q [l]	Cost [R\$]
VAWT (1)	Independent Design and Construction	82	1000 (5h) (2)	R\$4000,00 (3)
Water-Wheel Turbine	ZM Pump 1P-38 + waterwheel 1,00 x 0,15m	-	164 (1/h) Head 190m	R\$6400,00
Water-Wheel Turbine (4)	Independent Design and Construction (1)	-	4000 l (24h) Head 200m	R\$3000,00
PV Solar-Pump	ZM 4CW2.2-12/80	2200	12000 (1/h) @ 0m – head 50 m	R\$8000,00

- (1) Design and Construction by Geroto (2012), field experiment data: Wind speed 4,6 m/s, shaft rotation 35,2 RPM; Temperature 22,7 C° and Torque 22,5 N.m. This is considered low wind speed condition.
- (2) It was calculated based on the Table 2.
- (3) It does not consider the positive displacement pump and its mechanisms price.
- (4) Design and Construction by Souza & Souza (2006), field experiment data: rotation 40 – 45 RPM that produces 4000 liters per day.

#### IV. CONCLUSION

The technique used in this study is suitable for qualitative comparative analysis to assess the alternative energy technologies of VAWT, Water-Wheel Turbine and PV Solar-Pump. The quantity of academic articles published on PV Solar-Pump leads us to believe that there is a greater investment or government subsidy for the implementation of such systems. This is also fully supported by the supply from the Chinese industry. This article also presents that both mechanical water wheel turbine and VAWT (Vertical Axis Wind Turbine) systems as potential viable solutions to complement the portfolio of sustainable equipment or systems.

None of the VAWT, Water-Wheel Turbine, or PV Solar-Pump solutions is superior to the others due to their unique characteristics, such as: the VAWT can serve as both a water pump and a source of electrical power, the Water-Wheel Turbine can operate continuously for 24 hours, and the PV Solar-Pump, despite being more complex than the others, has become increasingly economically viable.

#### V. REFERENCES

Arantegui, L.R.; Waldau, J.A.; **Photovoltaics and wind status in the European Union after the Paris Agreement, Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Volume 81, Part 2, 2018, Pages 2460-2471, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.052>.

Raw data on energy consumption is sourced from the “BP Statistical Review of World Energy” [accessed 07/10/2022]. Available at: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.

Chandrashekhar, P. K.; Managuli, S. Shashank, A. "**Design of Small Scale Vertical Axis Wind Turbine**," 2019 International Conference on Power Electronics Applications and Technology in Present Energy Scenario (PETPES), 2019, pp. 1-5, <https://doi:10.1109/PETPES47060.2019.9003999>.

Duan, H.; **Emissions and temperature benefits: The role of wind power in China**, *Environmental Research*, Volume 152, 2017, Pages 342-350, ISSN 0013-9351, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.07.016>.

Eltayesh A., Castellani F., Natili F., Burlando M., Khedr A.: **Aerodynamic upgrades of a Darrieus vertical axis small wind turbine** (2023) *Energy for Sustainable Development*, 73, pp. 126 - 143, Cited 1 times. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2023.01.018>.

Fadil, J.; Soedibyo Ashari, M. "**Performance comparison of vertical axis and horizontal axis wind turbines to get optimum power output**," 2017 15th International Conference on Quality in Research (QiR) : International Symposium on Electrical and Computer Engineering, 2017, pp. 429-433, <https://doi:10.1109/QIR.2017.8168524>.

Fan, C.X.; Wang, W. **Spatial patterns and influencing factors of China's wind turbine manufacturing industry: A review**, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 54, 2016, Pages 482-496,ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.020>.

Hussein A. Kazem, A. H.; Khatib,T; Sopian, K; Elmenreich, W.; Performance and feasibility assessment of a 1.4kW roof top grid-connected photovoltaic power system under desertic weather conditions, *Energy and Buildings*, Volume 82, 2014, Pages 123-129, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.048>.

Islam, R.M.; Mekhilef, S.; Saidur, R. "**Progress and recent trends of wind energy technology**," *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , vol. 21. Elsevier, pp. 456–468, May 01, 2013, <https://doi:10.1016/j.rser.2013.01.007>.

KC, A.; Whale, J. and Urmee, T. "**Urban wind conditions and small wind turbines in the built environment: A review**," *Renewable Energy*, vol. 131, pp. 268–283, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.07.050>.

Kumar, D.; Chatterjee, K. **A review of conventional and advanced MPPT algorithms for wind energy systems**, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 55, 2016, Pages 957-970, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.013>.

Latif, A.; S.N.; Chiong, M.S.; Rajoo, S.; Takada, A.; Chun, Y.-Y.; Tahara, K.; Ikegami, Y. **The Trend and Status of Energy Resources and Greenhouse Gas Emissions in the Malaysia Power Generation Mix**. *Energies* 2021, 14, 2200. <https://doi.org/10.3390/en14082200>.

Liu, J.; Lin, H.; Zhang, J. **Review on the technical perspectives and commercial viability of vertical axis wind turbines**, *Ocean Engineering*, Volume 182, 2019, Pages 608-626, ISSN 0029-8018, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.04.086>.

Mansur Aliyu, Ghassan Hassan, Syed A. Said, Muhammad U. Siddiqui, Ali T. Alawami, Ibrahim M. Elamin, **A review of solar-powered water pumping systems**,

Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Pörtner, H.O.; Roberts, D.; Skea, J.; Shukla, P.R.; Pirani, A.; Moufouma-Okia, W.; Péan, C.; Pidcock, R.; et al. IPCC, 2018: Global Warming of 1.5 °C. an IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5

°C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty; Technical Report; IPCC: Geneva, Switzerland, 2018.

Nguyen M H, Jeong H, Yang C.: **A study on flow fields and performance of water wheel turbine using experimental and numerical analyses**. Sci China Tech Sci, 2018, 61: 464–474, <https://doi.org/10.1007/s11431-017-9146-9>.

Our World in Data, Global Primary Energy Consumption by Source. [accessed 07/10/2022]. Available at: <https://ourworldindata.org/energy-mix>.

Peng, Y.H.; Liu, J.H.; Yang, H.J. **A review on the wake aerodynamics of H-rotor vertical axis wind turbines**, Energy, Volume 232, 2021, 121003, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121003>.

Rossato, M.A. **Small Wind Turbines for Electricity and Irrigation Design and Construction**. 2019. Taylor & Francis Group, LLC, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Raton, FL 33487-2742.

Saidur, R.; Rahim, A.N.; Islam, R. M.; Solangi, H.K. “**Environmental impact of wind energy,**” **Renewable and Sustainable Energy Reviews** , vol. 15, no. 5. Elsevier, pp. 2423–2430, Jun. 01, 2011, <https://doi:10.1016/j.rser.2011.02.024>.

Smil, V. (2017). Energy Transitions: Global and National Perspectives. [accessed 07/10/2022]. Available at: <https://ourworldindata.org/energy-mix>.

Souza, M.T. **Energias Renováveis e Aplicações**. 2016; Editora Casa, ISBN: 9788569824084.

Souza, M.T.; Souza, M.H.; **Roda D’água confeccionada em madeira para acionar bomba de água em propriedades rurais**. Sodebras, VOLUME 1 - N° 06 - Junho/2006 ISSN - 1809-3957.

Tasneem, Z.; Al Noman, A.; Das, K.S.; Saha, K. D.; Islam, R.; Ali, F.; Badal, R.F.; Ahamed, H.; Moyeen, I. S.; Alam, F. **An analytical review on the evaluation of wind resource and wind turbine for urban application: Prospect and challenges**, Developments in the Built Environment, Volume 4, 2020, 100033, ISSN 2666-1659, <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100033>.

Zinat Tasneem, Abdullah Al Noman, Sajal K. Das, Dip K. Saha, Md. Robiul Islam, Md. Firoj Ali, Md. Faisal R Badal, Md. Hafiz Ahamed, Sumaya I. Moyeen, Firoz Alam, **An analytical review on the evaluation of wind resource and wind turbine for urban application: Prospect and challenges**, Developments in the Built Environment, Volume 4, 2020, 100033, ISSN 2666-1659, <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100033>.

Verma, S.; Mishra, S.; Chowdhury, S.; Gaur, A.; Mohapatra, S.; Soni, A.; Verma, P; **Solar PV powered water pumping system – A review**, Materials Today: Proceedings, Volume 46, Part 11, 2021, Pages 5601-5606, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.434>.

ZMBOMBAS, Brazilian manufacturer of windmill, solar pump, water-wheel and hydraulic turbine, Available at: <https://zmbombas.com.br/produtos>, Access in: March 2023.

Zhang, S.; Wei, J.; Chen, X.; Zhao, Y. **China in global wind power development: Role, status and impact**, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Volume 127, 2020, 109881, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109881>.

World Meteorological Organization. Statement by WMO Secretary-General Petteri Taalas. 2019. Available online: <https://public.wmo.int/en/media/news/statement-wmo-secretary-general-petteri-taalas> (accessed on 1 June 2020).

## VI. ACKNOWLEDGEMENT

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

## DETECÇÃO DE VÃOS LIVRES EM DUTOS RÍGIDOS SUBMARINOS UTILIZANDO VISÃO COMPUTACIONAL E APRENDIZADO PROFUNDO

### *FREE SPAN DETECTION IN SUBMARINE RIGID PIPELINE USING COMPUTER VISION AND DEEP LEARNING*

Afonso Brizon Portugal<sup>1</sup>  
Shirley Peroni Cani<sup>2</sup>  
Mariana Rampinelli Fernandes<sup>3</sup>

*Resumo – A integridade de dutos submarinos é observada por inspeções frequentes que tem por objetivo identificar falhas e garantir que sua degradação e danos sejam mantidos em níveis aceitáveis. O processo de inspeção é geralmente subcontratado para empresas que utilizam Veículos Operados Remotamente (do inglês ROVs) subaquáticos, lançados a partir de um navio e pilotados sobre o duto. Os ROVs capturam dados de vários sensores/instrumentos e câmeras que são interpretados por operadores, que criam um registro de anotações de eventos (vãos livres, anodos e outros eventos), um processo lento, trabalhoso e custoso. Este artigo apresenta uma ferramenta automática que identifica/classifica vão livre nas imagens de vídeo. A metodologia relatada utiliza a transferência de aprendizado com uma Rede Neural Profunda (Xception), ajustada com um banco de dados representativos de imagens reais de dutos em ambientes subaquáticos desafiadores. A sensibilidade de 90% confirma o potencial do algoritmo para ser a base de ferramenta de suporte em tempo real da inspeção.*

*Palavras-chave: Inspeção visual. Classificação de imagens. Aprendizado profundo.*

*Abstract - To ensure the integrity of submarine pipelines, frequent inspections are carried out to ensure that their degradation and damage are maintained at acceptable levels. The inspection process is usually subcontracted to companies that use underwater Remotely Operated Vehicles (ROVs) launched from a ship and piloted over the pipeline. The ROVs capture data from various sensors/instruments and cameras that are interpreted by operators, who create a record of event annotations (free spans, anodes, and other events), a slow, laborious, and costly process. This article presents an automatic tool that identifies/classifies free spans in video images. The reported methodology uses transfer learning with a Deep Neural Network (Xception), trained with a representative database of real images of pipelines in challenging underwater environments. The 90% sensitivity confirms the algorithm's potential to be the basis for a real-time inspection support tool.*

*Keywords: Visual inspection. Image classification. Deep learning.*

<sup>1</sup> Aluno do Programa de Pós-graduação em Tecnologias Sustentáveis (PPGTECS) do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES)- campus Vitória; Engenheiro de equipamentos na Petróleo Brasileiro SA – Vitória-ES. Contato: [afonsoportugal@petrobras.com.br](mailto:afonsoportugal@petrobras.com.br).

<sup>2</sup> Professora Dra. em Engenharia Elétrica, atuando no curso de Engenharia elétrica e no PPGTECS no IFES – campus Vitória. Contato: [shirleypnc@ifes.edu.br](mailto:shirleypnc@ifes.edu.br).

<sup>3</sup> Professora Dra. em Engenharia Elétrica, atuando no curso de Engenharia elétrica e no PPGTECS no IFES – campus Vitória. Contato: [mariana.rampinelli@ifes.edu.br](mailto:mariana.rampinelli@ifes.edu.br).

## I. INTRODUÇÃO

O petróleo é responsável pela maior contribuição na matriz energética mundial, respondendo por mais 50% da energia consumida. É esperado, ainda, um aumento da demanda energética (Figueredo et al., 2022). Uma vez que o óleo de acesso mais fácil já foi consumido, espera-se que o futuro óleo e gás a ser produzido seja mais profundo, mais difícil de localizar e em ambientes de acesso mais difícil (Perrons, 2014). Atualmente, quase 30% da produção mundial de petróleo é realizada em instalações offshore. Dados da Agência Nacional de Petróleo indicam que quase 97% da produção brasileira de petróleo vem de poços marítimos, sendo 69% destes provenientes do pré-sal. Atualmente, no Brasil há mais de 4 mil dutos submarinos instalados (Figueredo et al., 2022).

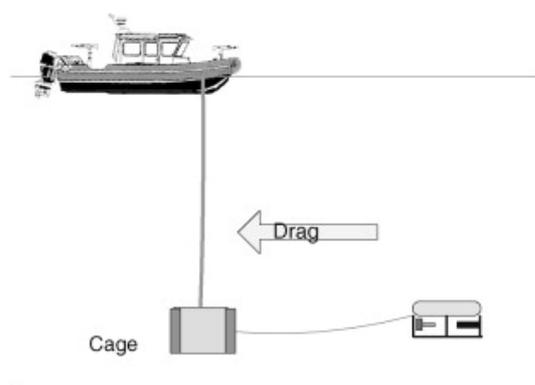
Portanto, na administração de sistemas submarinos de produção, a aplicação de um programa de gerenciamento de integridade (PGI) eficiente torna-se essencial. O PGI define a implementação sistemática de atividades, como inspeções e testes necessários. Essas atividades têm como foco a prevenção de vazamentos e a garantia de disponibilidade operacional (Allen, 2015).

Atualmente, as inspeções são realizadas com uma embarcação com um sistema de veículo operado remotamente. A taxa de uso diária dessa embarcação é na faixa da centena de milhares de dólares. A próxima geração deve procurar o melhor grau de autonomia na interação entre humanos e máquinas de forma a otimizar fatores como eficiência, custo e segurança (Schjøberg et al, 2016).

Vão livre é o segmento do duto que não possui apoio do leito marinho na sua geratriz inferior. Pode ser ocasionado pela movimentação do solo após a instalação ou pelos desníveis do leito marinho durante a instalação. O tamanho do vão (comprimento entre pontos de apoio e altura do leito marinho) são avaliados após o lançamento e a cada inspeção, pois sob a influência das correntes marinhas de fundo podem gerar vibração do duto e essa vibração pode ocasionar falha por fadiga (Bai, 2019). O vão livre é mais fácil de ser identificado pelas câmeras laterais (Stamoulakatos,2020)

Nesse contexto, esse trabalho apresenta uma proposta de ferramenta computacional que auxilie na classificação de vãos livres nas imagens da inspeção de dutos rígidos submarinos. A figura 1 ilustra a estrutura do barco de apoio conectado ao ROV e a figura 2 mostram imagens reais de ROVs.

Figura 1 – Barco de apoio e o seu ROV



Fonte: Molland, 2008.



Figura 2 – ROV padrão e o ROV adaptado para inspeção de dutos rígidos



Fonte: Technologies, 2013.

## II. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a detecção de vãos livres em dutos rígidos submarinos por meio de visão computacional e aprendizado profundo consistiu em duas principais etapas: construção do banco de imagens rotuladas e treinamento de uma rede neural convolucional.

Na primeira etapa, foi construído um banco de imagens rotuladas com um total de 2683 imagens de trechos de filmagens de inspeção de nove diferentes dutos. As inspeções foram realizadas em 2017 e as imagens foram capturadas por três câmeras sincronizadas durante as inspeções. Para esse trabalho, foram utilizadas apenas as câmeras laterais. A seleção dos dutos procurou diferenciar diferentes diâmetros, revestimentos, profundidade de instalação, idade e horário da inspeção além de dutos em ambientes subaquáticos desafiadores, com baixas condições de iluminação, agitação de areia, vida e vegetação marinha. A figura 3 mostra imagens de vãos livres registradas em diferentes dutos rígidos. A construção do banco de imagens foi realizada utilizando a linguagem de programação Python e as bibliotecas OpenCV e Tensorflow. O ambiente de desenvolvimento utilizado foi o JupyterLab (KLUYVER et al., 2016).

Figura 3 – Exemplos de imagens de vãos livres em diferentes dutos rígidos



Fonte: Do autor.

As imagens foram divididas aleatoriamente em três conjuntos distintos: treinamento, validação e teste. A divisão adotada foi de 60% para o conjunto de treinamento, 20% para o conjunto de validação e 20% para o conjunto de teste.

Na segunda etapa, utilizou-se uma rede neural Xception para treinar o banco de imagens rotuladas. O conjunto de treinamento foi utilizado para ajustar os parâmetros da rede neural durante o processo de treinamento, enquanto o conjunto de validação foi utilizado para verificar se a rede neural estava se ajustando de forma adequada aos dados e para realizar ajustes nos hiperparâmetros do modelo. Já o conjunto de teste foi utilizado para avaliar o desempenho final do modelo em dados não vistos durante o treinamento e validação. A escolha dessa arquitetura foi embasada no seu bom desempenho em tarefas de classificação de imagens (Chollet 2017). Para o treinamento, utilizou-se o framework Tensorflow e aplicou-se a técnica de transferência de aprendizado, que permite aproveitar boa extração de características relevantes pela rede neural em outras tarefas. Essa técnica consiste em congelar os pesos de algumas camadas da rede, mantendo-as inalteradas, enquanto outras camadas são reajustadas para o novo conjunto de dados. Isso permite que a rede se adapte mais rapidamente ao novo conjunto de dados, necessitando de menos treinamento.

### III. RESULTADOS

Para avaliar o desempenho de nossa ferramenta, escolhemos a sensibilidade como a métrica principal, pois o custo de um falso negativo é significativamente maior do que o de um falso positivo. Nosso objetivo é garantir que a presença de vãos livres seja identificada e anotada para análise posterior pela equipe de gestão de integridade. Além disso, contamos com a avaliação da equipe operadora para validar os as indicações da ferramenta.

Os resultados mostram que a ferramenta proposta é capaz de classificar frames de vídeo em 20,6 ms, podendo executar efetivamente a classificação em tempo real de fluxos de vídeo a 60 fps (frames por segundo) com uma sensibilidade de 90%. Resultado próximo ao obtido por Stamoulakatos,2020 que com a RESNET-50 obteve uma sensibilidade de 99% com um tempo de inferência de 23,6ms. Os resultados também mostram que a anotação automática de vídeo tem o potencial de aumentar a velocidade da execução das inspeções, aumentar a consistência da anotação e reduzir a demanda por pessoal offshore, beneficiando a saúde e aumentando a segurança. A Tabela 1 e a Figura 4 apresentam os resultados do modelo no conjunto de testes.

Tabela 1 – Resultados do modelo.

<b>Evento</b>	<b>Acurácia</b>	<b>Precisão</b>	<b>Sensibilidade</b>	<b>F1-Score</b>
Vão livre	93,03%	95,82%	90,0%	92,82%

Figura 4 – Matriz confusão.

Prevista \ Real	Vão livre	Duto
Vão livre	126/140 VP = 0,90	14/140 FN = 0,10
Duto	5 /127 FP = 0,0393	122/127 VN = 0,9606

Fonte: Do autor.

### IV. CONCLUSÃO

A identificação automática de eventos em vídeos de inspeção submarina pode ser uma alternativa promissora para a anotação manual de vídeos, permitindo a realização de inspeção de maneira mais rápida e segura. A rede neural proposta neste artigo demonstrou ser capaz de classificar frames de vídeo em tempo real, com uma sensibilidade satisfatória. No futuro, é possível que essa técnica seja aprimorada ainda mais, permitindo uma anotação automática mais precisa e eficiente de vídeos outros eventos de interesse em duto rígidos e outros dutos e equipamentos submarinos.

## V. REFERÊNCIAS

- Allen, E. (2015). Deepwater facility integrity management: A state-of-the-art review. **Society of Petroleum Engineers - SPE/IATMI Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition**, APOGCE 2015.
- Chollet, F. (2017). Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions. **Proceedings - 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition**, CVPR 2017, 2017-January.
- Figueredo, A. K. M., de Souza, M. B., Frutuoso e Melo, P. F. F., Vaz Junior, C. A., & di Domenico, J. (2022). How does subsea processing safety policy impact safety? Lessons learned from the Brazilian experience. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, 74, 104668.
- KLUYVER, T. et al. **Jupyter notebooks—a publishing format for reproducible computational workflows**. In: . [S.l.: s.n.], 2016.
- Perrons, R. K. (2014). How innovation and R&D happen in the upstream oil & gas industry: Insights from a global survey. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, 124.
- Petraglia, F. R., Campos, R., Gomes, J. G. R. C., & Petraglia, M. R. (2017). Pipeline tracking and event classification for an automatic inspection vision system. **2017 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)**, 1–4
- Schjøberg, I., Gjersvik, T. B., Transeth, A. A., & Utne, I. B. (2016). Next Generation Subsea Inspection, Maintenance and Repair Operations. **IFAC-PapersOnLine**, 49(23).
- Stamoulakatos, A., Cardona, J., McCaig, C., Murray, D., Filius, H., Atkinson, R., Bellekens, X., Michie, C., Andonovic, I., Lazaridis, P., Hamilton, A., Hossain, M. M., di Caterina, G., & Tachtatzis, C. (2020). **Automatic Annotation of Subsea Pipelines Using Deep Learning**. **Sensors**, 20(3), 674
- TECHNOLOGIES, S. **Seaeeye Panther XT Plus. 2013**. <[https://www.igp.de/uw-fahrzeuge/saab-seaeeye/rov/panther-xtplus/Seaeeye\\_Panther-XT\\_Plus.pdf](https://www.igp.de/uw-fahrzeuge/saab-seaeeye/rov/panther-xtplus/Seaeeye_Panther-XT_Plus.pdf)>. Acesso em: 15/04/2022.

## VI. AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos à Petrobras e ao PPGTECS pela oportunidade e apoio dados na realização deste trabalho.

## VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo material incluído no artigo.

## **ESTRUTURA MÓVEL DE RASTREAMENTO SOLAR COM DILATAÇÃO METÁLICA**

### ***MOBILE STRUCTURE FOR SOLAR TRACKING WITH METALLIC EXPANSION***

Rafael Soares de Souza<sup>1</sup>  
Natasha Martins Rodrigues de Jesus<sup>2</sup>  
Thais Santos Castro<sup>3</sup>  
Teófilo Miguel de Souza<sup>4</sup>

**Resumo** – *A energia solar é considerada uma energia limpa e por esse fator é um considerada uma das principais energias renováveis. Sendo assim, as pesquisas neste setor vêm ganhando força para obter diferentes soluções que forneçam ganhos econômicos. Um sistema que pode apresentar esse ganho desejado é o rastreador solar, que tem como função principal deslocar o painel ao longo do dia a fim de aumentar a irradiação no mesmo. Um dos grupos principais destes rastreadores solares é o grupo dos passivos, onde estes não utilizam fontes de energias externas e ou controladores para realizar o deslocamento do painel ao longo do dia. Este grupo se limita a outra classificação que é a chamada rastreadores de um eixo, com apenas um grau de liberdade. Sendo assim, esta pesquisa visa apresentar um conceito inovador de rastreador solar passivo de um eixo.*

**Palavras-chave:** *Energia solar, rastreador solar e fotovoltaica.*

**Abstract** – *Solar energy is considered a clean energy and for that reason it is considered one of the main renewable energies. Therefore, research in this sector has been gaining strength to obtain different solutions that provide economic earnings. A system that can present this desired gain is the solar tracker, whose main function is to move the panel throughout the day to increase its irradiation. One of the main groups of these solar trackers is the passive group, where they do not use external energy sources or controllers to move the panel throughout the day. This group is limited to another classification, which is called single-axis trackers, with only one degree of freedom. Therefore, this research aims to present an innovative concept of a single-axis passive solar tracker.*

**Keywords:** *Solar energy, solar tracker e fotovoltaic.*

<sup>1</sup> Mestrando em Engenharia (UNESP-FEG); Graduando em Engenharia de Materiais (UNESP-FEG). Contato: [souza.soares@unesp.br](mailto:souza.soares@unesp.br).

<sup>2</sup> Mestranda em Engenharia (UNESP-FEG); Graduanda em Engenharia Mecânica (UNESP-FEG). Contato: [natasha.jesus@unesp.br](mailto:natasha.jesus@unesp.br)

<sup>3</sup> Professora (UNESP-FEG); Contato: [thais.castro@unesp.br](mailto:thais.castro@unesp.br)

<sup>4</sup> Livre-Docente em Materiais Elétricos (UNESP); Professor Titular da UNESP. Contato: [teofilo\\_miguel@yahoo.com.br](mailto:teofilo_miguel@yahoo.com.br).

## I. INTRODUÇÃO

A energia é de vital importância a sociedade devido as necessidades da humanidade e ao desenvolvimento humano. Ela está diretamente ligada à qualidade de vida, ao crescimento econômico e a sustentabilidade ambiental (SCHULTZ; DALLAVECHIA, 2022).

No início do século XXI, o aumento da necessidade de energia elétrica conduziu a sociedade a buscar fontes alternativas de energias que não prejudicassem o meio ambiente (MOREIRA *et al.*, 2022).

Com a constância dos danos causados ao meio ambiente, devido ao aumento da exploração de recursos naturais, a busca por energias renováveis se intensificou e por consequência houve um grande desenvolvimento de pesquisas que auxiliassem na eficiência do ganho delas. Uma das principais fontes de energias renováveis, é a energia solar. No entanto, neste setor, seu uso ainda se caracteriza como limitado por meio da ciência. (SUMATHI *et al.*, 2017).

O calor é a maior forma de consumo de energia na indústria. Com esse fato, há um desafio em relação ao dano causado ao meio ambiente, já que há uma grande queima de combustíveis que por consequência geram emissões nocivas à natureza. Uma possível solução para será o uso da energia solar. Nesse contexto houve muitos estudos para viabilizar o uso de sistemas de aquecimento solar para diferentes áreas industriais (CASCAES, 2019).

De certa forma, todas as fontes de energia, podem ser consideradas formas indiretas de energia solar. A radiação solar ainda pode ser utilizada de forma direta, como energia térmica, para aquecer fluidos, ambientes e para gerar potência mecânica ou elétrica através de alguns materiais específicos, destacando os sistemas termoelétrico e o fotovoltaico. A fonte de energia solar é considerada barata, no entanto, o incentivo financeiro atual não é o suficiente para ampliar o campo de pesquisas dessa área (GÉLIO; CÉSAR, 2021).

Segundo SOUZA *et al.* (2020), que realizou análises e coletas de dados de diferentes fontes de energias renováveis, afirma que o uso delas reduz consideravelmente os impactos negativos sobre o meio ambiente causado por fontes energéticas convencionais.

Dentre as principais fontes renováveis está a energia solar, obtida e armazenada principalmente através de painéis solares com células fotovoltaicas. Para se potencializar o ganho energético desses painéis solares, foram desenvolvidos mecanismos que buscam alinhar a estrutura de forma que as células fotovoltaicas recebam maior incidência dos raios solares.

O rastreador solar é definido como um dispositivo que diretamente relacionado a movimentação de um painel solar, onde sua principal função é deslocá-lo ao longo do dia com o objetivo de aumentar o ganho energético obtido (CARDEÑA & LUQUE, 2018).

O uso de um rastreador solar pode gerar um aumento de até 30% de energia obtida por um painel solar (ABDUNNABI *et al.*, 2018),

A energia obtida com o uso dos sistemas de rastreamento solar é distribuída ao longo do dia de forma uniforme. Existem horários de picos de radiação solar ao longo do dia, nestes horários os sistemas fotovoltaicos são configurados para trabalhar efetivamente. Com a adição dos mecanismos de rastreamento solar, há uma redução da necessidade de armazenamento de energia local, o que pode resultar em um ganho econômico (BRITO *et al.*, 2019).

Queiroz *et al.* (2018), apresentou um trabalho sobre os diferentes mecanismos de rastreadores solares encontrados na literatura, demonstrando suas vantagens e desvantagens e apontando os sistemas que apresentam maior rendimento obtido.

A Figura 1 apresenta a estrutura na fase inicial do projeto, já com suas dimensões definidas para receber um painel solar. Este sistema tem como foco principal a geração de energia elétrica, mas pode ser utilizado como aquecimento de água, secagem de grãos e secagem e desidratação de ervas aromáticas.

Figura 1. Estrutura inovadora com o painel solar acoplado.



Fonte: Autoral (2022)

Com esta configuração, este trabalho tem por finalidade apresentar um novo tipo de rastreador solar, visando seu ineditismo comparado com outros modelos já apresentados na literatura. Seu deslocamento seria realizado pela dilatação de uma espiral metálica.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste trabalho foi a de estudar e demonstrar os principais conceitos de rastreadores solares, suas funcionalidades, suas vantagens e desvantagens para com os painéis solares e com isso validar o ineditismo de um mecanismo de rastreamento solar por dilatação metálica.

As bases de dados utilizadas para busca foram o google acadêmico e o *scopus*.

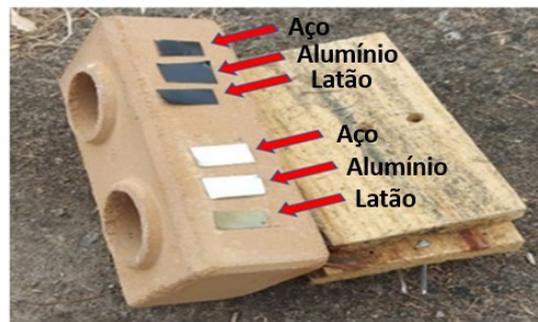
Os materiais escolhidos para a espiral foram o aço e o latão.

O principal conceito utilizado nesta pesquisa foi o da dilatação térmica linear, sendo descrita pela equação (1):

$$\Delta L = \alpha * \Delta T * L_0 \quad (1)$$

Foi realizada a exposição de amostras a luz solar, na cor natural da chapa e pintadas de fosco preto, durante o período das 9hrs às 14hrs em um dia ensolarado para se averiguar quais temperaturas as amostras alcançariam e com esses valores foi possível seguir com verificação do conceito proposto de novo rastreador. Na Figura 2 está uma imagem como foram dispostas as amostras.

Figura 2. Exemplificação do movimento do rastreador de um eixo.



Fonte: Autoral

### III. RESULTADOS

#### 3.1 – Resultados estruturais

A primeira espiral metálica construída foi a com o material latão. Ela tem ao todo 50m de comprimento de material enrolado, com 2cm de largura. O raio obtido desta espiral ao enrolar foi de 8cm. Nesta espiral foram realizados ajustes para que fixação na estrutura se tornasse de fácil manuseio. Na Figura 3 está a imagem desta espiral.

Figura 3. Espiral metálica de latão.



Fonte: Autoral

A outra espiral construída foi a de aço. Ela por sua vez possuiu 60m de comprimento, também com 2 cm de largura e foi alcançado um raio de 10cm de espira. Na Figura 4 está a imagem desta espiral.

Figura 4. Espiral metálica de aço.



Fonte: Autoral



Para acomodar um painel de aplicações simples foi construído uma estrutura de *metal*. Ela foi fixada em um eixo com angulação de 32° pois era a referência da cidade em que foi utilizada para teste. Nela foram feitos ajustes para acoplar as espirais. Na Figura 5 está a imagem da estrutura com a espiral e a indicação onde foi fixada.

Figura 5. Estrutura com a espiral fixada.



Fonte: Autoral

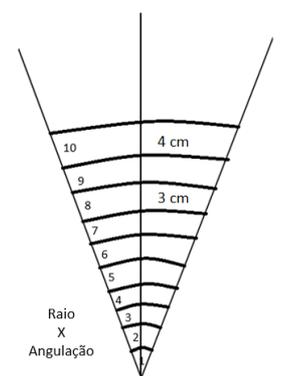
#### 4.2 – Resultados das amostras expostas a luz solar

Os maiores valores obtidos das amostras de aço foram das pintadas de preto fosco. O maior valor registrado foi o de 50,7°C. Os maiores valores obtidos das amostras de latão foram também das pintadas de preto fosco. O maior valor registrado foi o de 51,3°C.

#### 4.3 – Resultado conceitual para o deslocamento da estrutura

Foi estipulado uma angulação inicial para que fosse validar o conceito. Essa angulação estipulada foi a de 10° de deslocamento. Houve uma relação construída entre a angulação desejada e os raios obtidos, para chegar a outro valor importante, o da dilatação necessária para realizar tal movimento. Sendo para a espira de latão de 8cm de raio, ter uma dilatação de 3cm e para a espira de aço de 10cm uma dilatação de 4cm. Na Figura 6 está uma imagem deste conceito construído.

Figura 6. Relação construída entre angulação e raio das espirais.



Fonte: Autoral

Com estes valores e manipulando a equação 1, que é a da dilatação térmica linear temos podemos calcular uma tabela base para alcançar esses deslocamentos possíveis. Na Tabela 1 estão descritos estes trabalhos.

Tabela 1. Cálculo do material para as espirais

<b>Cálculo do material necessário para deslocamento</b>		
$\Delta T$	Aço (m)	Latão (m)
	$\alpha = 1,1 \times 10^{-5} (/^{\circ}C)$	$\alpha = 1,8 \times 10^{-5} (/^{\circ}C)$
<b>10°C</b>	363,63	166,66
<b>20°C</b>	181,81	83,33
<b>30°C</b>	121,21	55,55
<b>40°C</b>	90,9	41,66
<b>50°C</b>	72,72	33,33
<b>60°C</b>	60,6	27,77
<b>70°C</b>	51,94	23,8
<b>80°C</b>	45,45	20,83
	$\Delta L = 0,04 \text{ m}$	$\Delta L = 0,03 \text{ m}$

Fonte: Autoral

#### 4.4 – Resultado conceitual para o possível ângulo alcançado

Relacionando os maiores valores encontrados nas amostras na exposição solar com a circunferência das espirais construídas podemos chegar a possível angulação que a dilatação de cada material irá resultar. Os cálculos estão descritos a seguir.

Variação da temperatura:

- Aço:  $50,7 - 22 = 28,7^{\circ}C$
- Latão:  $51,3 - 22 = 29,3^{\circ}C$

Dilatação térmica:

- Para o aço:  $\Delta L = 1,1 \times 10^{-5} * 60 * 28,7 = 0,018 \text{ m} = 1,8 \text{ cm}$
- Para o latão:  $\Delta L = 1,8 \times 10^{-5} * 50 * 29,3 = 0,026 = 2,6 \text{ cm}$

Circunferência das espirais:

- Aço:  $C = 2 * \pi * 10 = 62,83 \text{ cm}$
- Latão:  $C = 2 * \pi * 8 = 50,26 \text{ cm}$

Dilatações ocorridas

- Aço:  $62,83 / 1,8 = 34,11$
- Latão:  $50,26 / 2,6 = 19,11$

Angulação obtida:

- Aço:  $360 / 34,11 = 10,55^{\circ}$
- Latão:  $360 / 19,11 = 18,33^{\circ}$

#### IV. CONCLUSÃO

A inovação apresentada para o rastreador solar fornece redução de custos nos setores de energias renováveis. Entre os materiais apresentados, latão se apresenta com o melhor resultado para o conceito do mecanismo, pois alcançou um maior ângulo.

#### V. REFERÊNCIAS

ABDUNNABI, M. ABUSALAMA, A. ALGAMIL, M. ALMONTASER, M. **Flat Plate based- Solar System with a tracking system**. Solar Energy and Sustainable Development, Volume 7, 2018.

BRITO, Miguel C. PÓ, José M. PEREIRA, Daniela. SIMÕES, Fernando. RODRIGUES, Roberto. AMADOR, José C. **Passive solar tracker based in the differential thermal expansion of vertical strips**. Journal of Renewable and Sustainable Energy, Volume 11, 2019.

CASCAES, B. P. “**Avaliação de oportunidades do uso de energia solar térmica em aplicações industriais no Brasil**,” *Time*, vol. 6, no. 3, p. 198, 2019.

CARDEÑA, J. R. LUQUE, R. L. **Chapter 9 - Design Principles of Photovoltaic Irrigation Systems. Advances in Renewable Energies and Power Technologies**. Volume 1: Solar and Wind Energies, p. 295-333, 2018.

GÉLIO, L. G.; CÉSAR, F. I. G. *Energia Solar: Um estudo sobre o futuro da geração de energia*. [s. l.], 2021.

MOREIRA, D. C.; DE SOUZA BRASIL, A.; NUNES, M. V. A. Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Techniques in Photovoltaic Arrays. **Revista Virtual de Química**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 14–20, 2022.

QUEIROZ, J. et al. **Classificação de rastreadores solares: uma breve revisão**. [s.l.: s.n.], 2018.77j

SCHULTZ, A.; DALLAVECHIA, G. **RENEWABLE ENERGY AND SUSTAINABILITY: A REVIEW**. [S. l.: s. n.], 2022.

SOUZA, G. B. DE et al. **Energias renováveis e as alternativas das matrizes energéticas sustentáveis**. In: *As múltiplas visões do meio ambiente e os impactos ambientais*. [s.l.] Uniedusul, 2020. p. 7–23.

SUMATHI, Vijayan. JAYAPRAGASH, R. BAKSHI, Abhinav. AKELLA, P. K. **Solar tracking methods to maximize PV system output – A review of the methods adopted in recent decade**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 74, p. 130 – 138, 2017.

#### VI. AGRADECIMENTOS

O autor agradece o suporte financeiro do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), processo 155837/2021-4.

#### VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

## REDUÇÃO NO CONSUMO DE GÁS NATURAL EM FORNOS SIDERÚRGICOS DE REAQUECIMENTO CONTÍNUO

### REDUCTION IN NATURAL GAS CONSUMPTION IN CONTINUOUS REHEATING STEEL FURNACES

Fernando Henrique Mayworm de Araujo <sup>1</sup>

Leila Ribeiro dos Santos <sup>2</sup>

João Andrade de Carvalho Junior <sup>3</sup>

**Resumo** – Neste trabalho é realizada a análise da eficiência de combustão do gás natural em um forno siderúrgico, de soleira fixa, para reaquecimento de tarugos. Os dados de operação do forno foram obtidos de uma indústria siderúrgica, mantida em sigilo neste estudo. A reação de combustão foi modelada no programa computacional Cantera, com base no equilíbrio químico da reação, para uma composição média do gás natural e diversos valores de excesso de ar. Esse modelo foi considerado devido ao grande volume interno do forno, que possibilita um maior tempo de residência dos gases em seu interior, e a elevada temperatura do processo, 1.168 °C. A determinação da eficiência de combustão foi realizada com base na primeira lei da termodinâmica, considerando apenas a fornalha como o volume de controle, sem recuperação de calor. A eficiência de combustão foi calculada pelo balanço de energia no forno. Os resultados obtidos indicam uma eficiência de combustão de 52,8% para 3% de excesso de ar.

**Palavras-chave:** Forno de reaquecimento. Eficiência energética. Gás natural.

**Abstract** - This paper analyzes the efficiency of natural gas combustion in a steel mill furnace, with fixed sill, for billet reheating. The furnace operation data were obtained from a steel industry, which is kept confidential in this study. The combustion reaction was modeled in the Cantera computer program, based on the chemical equilibrium of the reaction, for an average natural gas composition and various values of excess air. This model was considered due to the large internal volume of the furnace, which allows a longer residence time of the gases inside, and the high process temperature, 1,168 °C. The combustion efficiency was determined based on the first law of thermodynamics, considering only the furnace as the control volume, without heat recovery. The combustion efficiency was calculated by the energy balance in the furnace. The results obtained indicate a combustion efficiency of 52.8% for 3% excess air.

**Keywords:** Reheating furnace. Energy efficiency. Natural gas.

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Mecânica (UNESP/FEG/Guaratinguetá-SP); Bolsista de doutorado em Engenharia Mecânica do 34.1 PRH/ANP FEG Guaratinguetá/SP. Contato: fernando.araujo@unesp.br.

<sup>2</sup> Doutora em Química (USP-SP); Pesquisadora do Instituto Tecnológico de Aeronáutica - Divisão de Engenharia Aeronáutica – ITA; Chefe do Laboratório de Combustão Propulsão e Energia - LCPE-ITA. Contato: leila@ita.br.

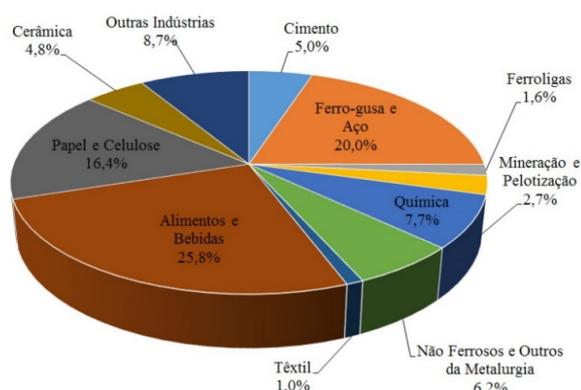
<sup>3</sup> Doutor em Engenharia Aeroespacial (Georgia Institute of Technology); Docente Titular da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Departamento de Energia, Faculdade de Engenharia, Guaratinguetá, SP. Contato: ja.carvalho@unesp.br.

## I. INTRODUÇÃO

A indústria siderúrgica é o segundo maior consumidor de energia no setor industrial mundial, sendo altamente dependente de combustíveis fósseis e eletricidade para sua operação (SUN et al., 2020). Aproximadamente 7% da energia global é consumida pela indústria de ferro e aço, responsável pela emissão de 2,6 giga toneladas de dióxido de carbono (2,6 Gt CO<sub>2</sub>) anualmente (IEA, 2020).

No Brasil, a indústria de ferro gusa e aço representa aproximadamente 20,2% de toda a energia consumida no seu setor industrial, correspondendo a 15.942 toneladas equivalentes de petróleo (tep) (EPE, 2022). Na Figura 1 é apresentada a distribuição do consumo de energia no setor industrial brasileiro no ano de 2019.

Figura 1 - Distribuição do consumo energético no setor industrial brasileiro em 2021.



Fonte: Autoria própria.

Pode ser observado na Figura 1 que a indústria do ferro-gusa e aço é um grande consumidor de energia do país, ficando atrás apenas da de alimentos e bebidas. Em 2021 o consumo de gás natural pela indústria de ferro gusa e aço do Brasil foi de 1.667.082 Nm<sup>3</sup>, representando 14,8% do total de gás natural consumido pelo setor industrial brasileiro (EPE, 2022).

O objetivo deste trabalho é a realização de uma análise de eficiência energética, com relação ao calor produzido pela combustão do gás natural, em um forno contínuo de soleira fixa para reaquecimento de tarugos de aço.

### 1.1 – Fornos de Reaquecimento Contínuos

Os produtos finais da indústria siderúrgica são chapas planas, cilindros e perfis laminados de aço, em diferentes dimensões e formatos. Nessa operação são utilizados fornos de reaquecimento para elevar a temperatura dos lingotes até que atinjam aproximadamente 1.250 °C para serem processados.

Fornos de reaquecimento são os principais equipamentos consumidores de energia nas siderúrgicas. Seu consumo é responsável por aproximadamente 15 a 20% da demanda total e 70% do consumo de energia do processo de laminação (LU et al., 2017). De forma geral, fornos de reaquecimento siderúrgicos podem ser classificados com base no método de geração de calor, a combustão ou elétricos, e com relação à forma de seu carregamento, periódico ou contínuo (ZHAO et al., 2021).

Os fornos de reaquecimento contínuos podem ser classificados, de acordo com sua forma de carregamento, como: soleira fixa, rotativo, vigas móveis (*walking beams*) e forno de rolos. Esses fornos são de queima direta com o combustível podendo ser: gás

natural, gás de coqueria, gás sintético (uma mistura de gás metano, ar e gás de coqueria), gás de alto forno ou óleo combustível.

Diferentes geometrias e disposições de queimadores têm sido utilizadas pelos fornos de reauecimento durante as últimas décadas. Nos equipamentos mais atuais existe a tendência de alongar a zona de pré-aquecimento, utilizando a circulação dos gases quentes para pré-aquecer os lingotes antes da zona de aquecimento, aumento a eficiência térmica do processo conforme a Tabela 1. O calor residual dos gases quentes, que saem a zona de pré-aquecimento, pode ainda ser recuperado para aquecer o ar de combustão, aumentando a eficiência de combustão do processo (CAILLAT, 2017).

Tabela 1 - Evolução dos projetos de fornos de reauecimento contínuo nas últimas décadas.

Ano	Descrição	Diagrama
1970	Soleira fixa, queimadores frontais	
1975-1980	Vigas móveis, queimadores frontais, laterais e no teto da ZE	
1985 - 1990	Vigas móveis, queimadores frontais e no teto da ZA e ZE	
1990-1998	Vigas móveis, queimadores laterais e no teto da ZE	
1995 - Atual	Vigas móveis, queimadores laterais	

Fonte: (CAILLAT, 2017). Modificado pelo autor.

Para a combustão completa do gás natural é necessário manter excesso de ar de combustão na atmosfera no interior do forno. Em alguns casos, como no caso de aços de alto teor de carbono, a atmosfera pode ser ajustada com um excesso de ar muito baixo em certas zonas, a fim de compensar entradas de ar indesejadas. Isso reduzirá a descarbonatação do aço e controlará a formação de incrustações em zonas acima de 900 °C. As seções mais frias devem manter um excesso de ar ligeiramente maior.

## II. METODOLOGIA

Os dados para a realização da análise de eficiência energética, fornecidos por uma indústria siderúrgica, são de um forno contínuo, com soleira fixa, para reauecimento de tarugos de aço com perfil quadrado de 150 mm de arestas e 6,3 m de comprimento. Este equipamento reaproveita o calor contido nos gases de exaustão, por meio de um recuperador, para aquecer o ar de combustão, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Diagrama do forno de reaquecimento de tarugos analisado.



Fonte: Autoria própria.

O forno de reaquecimento utilizado para análise, ilustrado na Figura 2, possui 16,3 m de comprimento e 8,0 m de largura, podendo aquecer os tarugos de aço a uma temperatura máxima de cerca de 1250 °C. Os gases de exaustão auxiliam no pré-aquecimento dos lingotes, e são utilizados para pré-aquecer o ar de combustão a 211 °C por meio de um recuperador. O forno está equipado com 7 queimadores a gás natural na zona de aquecimento e 12 na de encharque. Sua capacidade máxima (nominal) é de 45 tarugos por hora. A composição média do gás natural é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição média do gás natural.

Componente	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
Concentração (%)	88,84	6,28	1,78	0,64	0,18	0,08	1,63	0,57

Fonte: (OLIVEIRA et al., 2014)

O forno trabalha com excesso de ar de combustão ( $\alpha$ ), que pode variar de 1,20 a 1,40 na zona de aquecimento e de 1,10 a 1,30 na zona de encharque. Os valores dos parâmetros de interesse para a análise são apresentados na Tabela 3.

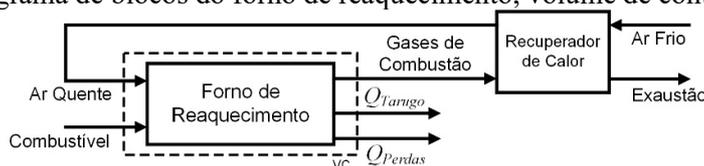
Tabela 3 - Informações do supervisório do forno de reaquecimento.

T <sub>Ar Quente</sub> (°C)	ZA		ZE	
	T <sub>Prod</sub> (°C)	[O <sub>2</sub> ] <sub>bs</sub>	T <sub>Prod</sub> (°C)	[O <sub>2</sub> ] <sub>bs</sub>
211	1.049	2,5%	1.168	6,2%

Fonte: Dados fornecido pela indústria.

A reação de combustão do gás natural foi modelada no programa Cantera (GOODWIN et al., 2021). O modelo utiliza a minimização da energia livre de Gibbs para obter uma estimativa das concentrações das espécies formadas no equilíbrio químico. A eficiência da combustão do gás natural é estimada com base na primeira lei da termodinâmica e na reação de equilíbrio de oxidação do combustível com ar. Na Figura 3 é apresentado o diagrama do sistema para análise, indicando o volume de controle (VC) considerado.

Figura 3 - Diagrama de blocos do forno de reaquecimento, volume de controle da análise.



Fonte: Autoria própria.

Considerando o sistema em regime permanente, desprezando as variações de energia cinética e potencial, e que não há trabalho realizado ou recebido pelo volume de controle, podemos representar o balanço de energia do sistema pela equação (1).

$$-\dot{Q}_{VC} = \dot{m} \cdot (h_{\text{Prod}} - h_{\text{Reag}}) \quad (1)$$

Sendo:  $\dot{Q}_{VC}$  o calor que sai do sistema ( $\dot{Q}_{\text{Tarugo}} + \dot{Q}_{\text{Perdas}}$ );  $\dot{m}$  o fluxo mássico dos gases que entram no forno ( $\dot{m}_{\text{Ar Quente}} + \dot{m}_{\text{Comb}}$ );  $h_{\text{Prod}}$  a entalpia dos gases de combustão e  $h_{\text{Reag}}$  a entalpia dos reagentes.

A eficiência da combustão é definida como a razão entre o calor total produzido e a energia total do combustível, representada pelo produto do fluxo mássico de combustível pelo seu poder calorífico inferior (PCI), equação (2).

$$\eta_{\text{Comb}} = \frac{\dot{Q}_{VC}}{\dot{m}_{\text{Comb}} \cdot \text{PCI}} = \frac{-[(AC+1) \cdot h_{\text{Prod}} - h_{\text{Comb}} - AC \cdot h_{\text{Ar Quente}}]}{\text{PCI}} \quad (2)$$

A equação (2) possibilita também avaliar a redução do consumo de gás natural, por meio do valor da relação entre a eficiência atual do processo e a estimada para as condições desejadas.

### III. RESULTADOS

Para determinar as concentrações dos produtos da combustão foi utilizado o modelo de equilíbrio químico desenvolvido no programa Cantera. Esse modelo possibilitou a obtenção das concentrações de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e CO nos produtos da combustão do gás natural, na temperatura dos gases das zonas consideradas (aquecimento e encharque). Na Tabela 4 são apresentadas as concentrações dos produtos na temperatura dos gases de combustão.

Tabela 4 - Concentração dos produtos de combustão estimados na temperatura dos gases.

$\alpha$	[CO <sub>2</sub> ] <sub>bs</sub> (%)	[O <sub>2</sub> ] <sub>bs</sub> (%)	[CO] <sub>bs</sub> (ppm)	Eficiência (%)
1,00	11,99	0,00	1130	53,9
1,03	11,62	0,66	31	52,8
1,10	10,80	2,08	16	50,2
1,20	9,82	3,79	11	46,5
1,30	9,00	5,22	8	42,8

Pode ser observado na Tabela 4 que, considerando 3% de excesso de ar e a temperatura dos gases de combustão a 1.168 °C, a eficiência de combustão será de 52,8%. Nessas condições, quando o excesso de ar na zona de encharque é reduzido para 3% o consumo de gás natural irá diminuir em aproximadamente 24%.



#### IV. CONCLUSÃO

Devido às dimensões do forno, e a elevada temperatura do processo, o modelo de equilíbrio químico utilizado pode ser utilizado em primeira aproximação para determinar as concentrações de CO nos produtos da combustão do gás natural. A análise da eficiência de combustão pode ser utilizada para prever a redução no consumo de gás natural quando se reduz o excesso de ar de combustão.

#### V. REFERÊNCIAS

CAILLAT, S. Burners in the steel industry: Utilization of by-product combustion gases in reheating furnaces and annealing lines. **Energy Procedia**, [s. l.], v. 120, p. 20–27, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.152>.

EPE. **Balanco Energético Nacional (BEN) 2022: Ano base 2021 - Relatório Final**. Brasília: [s. n.], 2022. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>.

GOODWIN, D. G.; SPETH, R. L.; MOFFAT, H. K.; WEBER, B. W. **Cantera: An object-oriented software toolkit for chemical kinetics, thermodynamics, and transport processes**. Versão 2.5.1. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://www.cantera.org>.

IEA. **Iron and Steel Technology RoadmapEnergy Technology Perspectives**. Paris: [s. n.], 2020. Disponível em: [www.iea.org](http://www.iea.org).

LU, B.; CHEN, D.; CHEN, G.; YU, W. An energy apportionment model for a reheating furnace in a hot rolling mill – A case study. **Applied Thermal Engineering**, [s. l.], v. 112, p. 174–183, OLIVEIRA, F. A. D.; CARVALHO, J. A.; SOBRINHO, P. M.; DE CASTRO, A. Analysis of oxy-fuel combustion as an alternative to combustion with air in metal reheating furnaces. **Energy**, [s. l.], v. 78, p. 290–297, 2014.

SUN, W.; WANG, Q.; ZHOU, Y.; WU, J. Material and energy flows of the iron and steel industry: Status quo, challenges and perspectives. **Applied Energy**, [s. l.], v. 268, n. April, 2020.

ZHAO, J.; MA, L.; ZAYED, M. E.; ELSHEIKH, A. H.; LI, W.; YAN, Q.; WANG, J. Industrial reheating furnaces: A review of energy efficiency assessments, waste heat recovery potentials, heating process characteristics and perspectives for steel industry. **Process Safety and Environmental Protection**, [s. l.], v. 147, p. 1209–1228, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.01.045>.

#### VI. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Este trabalho tem o apoio financeiro da ANP, FINEP e MCTI, através do programa PRH 34.1 FEG/UNESP.

#### VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

## **AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE MATURIDADE COMBINADO COM AHP MULTICRITERIA PARA APOIAR O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÕES: APLICAÇÃO EM UMA INDÚSTRIA METAL-MECÂNICA**

## **MATURITY INDEX ASSESSMENT COMBINED WITH AHP MULTICRITERIA TO SUPPORT THE DECISION-MAKING PROCESS: APPLICATION IN A METAL-MECHANIC INDUSTRY**

Tainá da Rocha<sup>1</sup>  
Anderson Luis Szejka<sup>2</sup>  
Eduardo de Freitas Rocha Loures<sup>3</sup>  
Osiris Canciglieri Junior<sup>4</sup>

*Resumo – A indústria manufatureira atual deve ser flexível, multidisciplinar, com baixo custo e alta qualidade. Para atender a todos esses requisitos, esse processo não é trivial e requer uma análise profunda no processo produtivo, na estrutura organizacional e na cultura das empresas. O Índice de Maturidade Indústria 4.0 da acatech (AI4MI) é um modelo de maturidade de seis estágios que analisa as capacidades em 4 áreas para um ambiente industrial digitalizado. No entanto, o diagnóstico AI4MI é complexo e deve estar alinhado com as metas de desempenho organizacional e operacional. Esta pesquisa propõe a integração do AI4MI com o método multicritério Analytic Hierarchy Process (AHP). A abordagem AI4MI+AHP organiza as dimensões e requisitos de avaliação, dando o suporte mais adequado ao diagnóstico da organização, relativamente aos requisitos evidenciados. O AI4MI+AHP foi aplicado em uma indústria metalmeccânica avaliando os pontos fracos e fortes. Os resultados apresentam a relevância e os benefícios do AI4MI+AHP para aumentar a competitividade global da empresa, reduzindo custos de produção, tempo e desperdício.*

*Palavras-chave: Índice de Maturidade. Roteiro da Indústria 4.0. Tomada de Decisão Multicritério. AHP.*

*Abstract - The current manufacturing industry must be flexible, multidisciplinary, low-cost, and high-quality. This process is not trivial to achieve all these requirements, and it requires a*

<sup>1</sup>Doutoranda em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS/PUCPR), Curitiba, Brasil. Contato: [taina.rocha@pucpr.edu.br](mailto:taina.rocha@pucpr.edu.br).

<sup>2</sup>Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS/PUCPR) e Doutor em Automatique, Traitement du Signal et des Images, Génie Informatique (UL/França). Docente na Pontifícia Universidade Católica do Paraná/PR. Contato: [anderson.szejka@pucpr.br](mailto:anderson.szejka@pucpr.br)

<sup>3</sup>Doutor em Systèmes Industriels (LAAS/França). Docente na Pontifícia Universidade Católica do Paraná/PR.. Contato: [eduardo.loures@pucpr.br](mailto:eduardo.loures@pucpr.br)

<sup>4</sup>Doutor em Automação da Manufatura (LU/Inglaterra). Docente na Pontifícia Universidade Católica do Paraná/PR. Contato: [osiris.canciglieri@pucpr.br](mailto:osiris.canciglieri@pucpr.br).

*deep analysis of the production process, organisational structure, and company culture. The Acatech Industry 4.0 Maturity Index (AI4MI) is a six-stage maturity model which analyses the capabilities in 4 areas for a digitalised industrial environment. However, the AI4MI diagnostic is complex and must be aligned with organizational and operational performance goals. This research proposes to integrate AI4MI with Analytic Hierarchy Process (AHP) multicriteria method. The AI4MI+AHP approach organizes the dimensions and evaluation requirements, giving the most appropriate support to the organization's diagnostic concerning the requirements highlighted. The AI4MI+AHP was applied in a metal-mechanic industry evaluating the weak and strong points. The results present the relevance and benefits of AI4MI+AHP to increase global company competitiveness, reducing production costs, time, and waste.*

**Keywords:** *Maturity Index, Industry 4.0 Roadmap, Multi-Criteria Decision-Making, AHP.*

## I. INTRODUCTION

Industry 4.0 adoption is not trivial and requires a deep analysis of the manufacturing system to define the most appropriate technologies and strategies to implement it. The complexity of Industry 4.0 adoption has created uncertainty about selecting the emergent technologies or applying them in a manufacturing system (ADAMCZYK, SZEJKA, CANGIOLIERI, 2020; BASL, 2017; MAASZ and DARWISH, 2018). Additionally, there is a challenge to adapt companies to the different Industry 4.0 Maturity levels (MAASZ and DARWISH, 2018).

Companies must be prepared to use and analyse real-time information for quick decision-making or changes and to work in collaborative teams. Real-time information requires an exchange of a thousand of information from sensors, controllers, and actuators (RAO and PRASAD, 2018). Additionally, robust connectivity and integration must be established, including the interconnection between machines, people, organizations, strategies, processes, and products. The Industry 4.0 paradigm can allow connectivity and robustness by creating intelligent networks and systems. Also, it can lead to achieving high-quality standards in product engineering and manufacturing systems.

In this context, the Industry 4.0 benefits are reduction of operating costs, reduction of scrap/rework rates, production data in real-time, the connection between machines, simulation of scenarios through historical data, failure prediction, etc. (ZDRAVKVIC and PANETTO, 2017). However, difficulties are found in most of the procedural scope, such as divergence in the versions of technologies, absence of qualified work, lack and quality of the available database, limited network space that supports new types of programming, and integration (ABBURU et al., 2015; BERNSTEIN, HENDLER and NOY, 2016; NEGHBAB et al., 2015).

Industry 4.0 can generate new business models, such as synergies between customers and suppliers, such as new ways of visualizing the supply chain and its iterations. Therefore, new sales platforms that are more iterative and visual for customer contact and new ways to create value in manufacturing, for example, by creating a dynamic business model and creating visual and flexible end-to-end manufacturing systems (FATORACHIAN and KAZEMI, 2018). To identify and map the strengths and weaknesses of a company's manufacturing system, it is crucial to measure the Industry 4.0 Maturity Index to determine the points for improvement, which can evolve the company's level of development, making this a relevant approach for this application. The impact of the maturity of the manufacturing system is directly connected to the Key Performance Indicators (KPI). Therefore, it is essential to link the company's objectives

to its Industry 4.0 strategy (MAASZ and DARWISH, 2018). Multiple business consulting measures the maturity index, for example, Acatech, Pulse, and Deloitte (SCHUH et al., 2020; RAMOS et al., 2020). However, we chose Acatech due to its organization, the scope of the areas, the contexts analysed, and the feedback of the articles studied. Although there is the business consultancy to assess the maturity of Industry 4.0, the acatech Maturity Index sets an assessment more focused on the perception/diagnosis about what the company is giving more attention. Consequently, it relies on dimensions of prioritizing improvement actions. In this way, it is possible to create a method that evaluates the results of the acatech Maturity Index and prioritizes, according to the interests and objectives of the organization, the action to act quickly the Industry 4.0.

In this context, this article is proposing a new method to support the analysis of the acatech Industry 4.0 Maturity Index (AI4MI) result and the action prioritization, using Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) method, Analytic Hierarchy Process (AHP). This method helps the manufacturing analyst to make the most suitable decisions to improve the production process. The method is performed and validated in a metal-mechanical fabrication system. This research contributes through the unification of the structure of AI4MI and AHP. AI4MI provides an overview and an overall analysis of the organization's maturity level (BASL, 2018). On the other hand, MCDM allows us to explore the result of the maturity index measurement model and leverage the information obtained through acatech. With this unification between AI4MI+AHP, it is possible to take advantage of both methods, contributing to a more accurate analysis of the manufacturing system and expanding the diagnostic vision that the framework envisions.

This article is structured as follows: Section 2 presents the problem statement; Section 3 presents the concepts of AHP and related works; Session 4 explores the proposal of AI4MI+AHP architecture; Section 5 is dedicated to the performance of the proposal in a case study and discussion of results; and finally, Section 6 promotes the conclusions of this work.

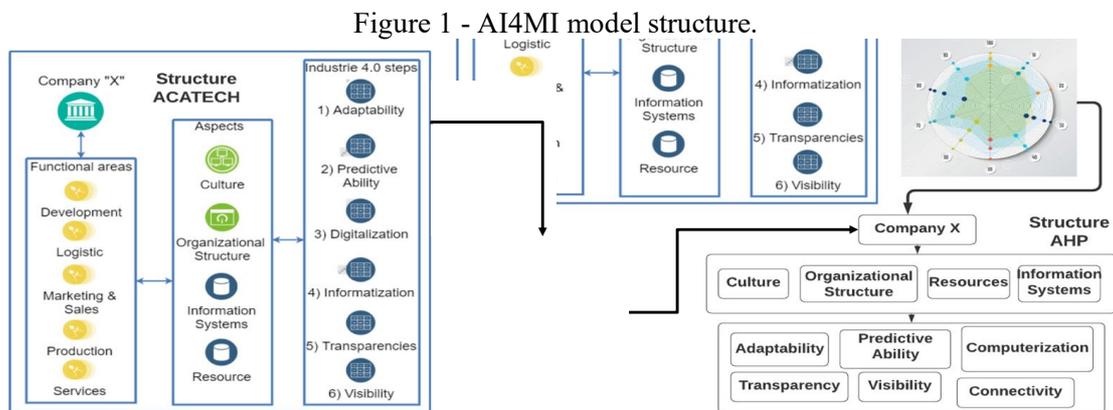
## II. PROBLEM STATEMENT

Global market competitiveness, rapid product changes, and Information and Communication Technologies (ICT) evolution have challenged the Industry to rethink its product and manufacturing process. All this change has helped to reduce the lead time and time to market and product development period and to improve data and information transparency and decision-making based data and information (PEREIRA, SZEJKA, CANCEGLIERI, 2021; BASL, 2017). However, to achieve emergent technologies, including the Internet of Things (IoT), Cyber-Physical Systems (CPS), Digital Twin (DT), Big Data and Data Analytics, Machine Learning, and so on (LIAO et al., 2017). A central requirement that supports Industry 4.0 is autonomous machinery that can interact with objects and people (MAASZ and DARWISH, 2018), based on the collection of data via sensors (digitization), the processing of this, transforming it into knowledge, which is applied in machine learning for example. Based on the advanced digitization in the factory, the integration of internet technology with future technologies in the field of "intelligent" objects (machines and products) seems to lead to a fundamental paradigm shift in industrial production (SZEJKA and CANCEGLIERI, 2017; LASI et al., 2014). Additionally, the operations quickly developed from this point (RAO and PRASAD, 2018), adapting to the introduction of new technologies with a new culture and way of thinking, adapting the entire structure and strategy of the company to this new reality.

In this context, the question is: Is the manufacturing system prepared to implement the digital transformation? The fact is that many managers see the need for change (physical and cultural ideas), but it is difficult to measure the distance between

the current state of reality and the desired state to be reached. Moreover, what to do to adapt to this new reality. Guided by these questions, we will apply the AI4MI and AHP framework to measure the company's maturity index. The AI4MI model questionnaire (Acatech), structured in the AHP, will be used to be complemented with a qualitative and quantitative basis provided through the application of the AHP. Using AHP's methodology will help interpret the results obtained more quickly and accurately, simulating scenarios, which offers more security in decision-making.

AI4MI offers a very structured analysis logic since it starts in a macro way. It segments the institution/company into areas and each area in 4 aspects to have the best perspective without interfering in other areas. Thus, for each element, it is possible to classify and analyse it in the stages of Industry 4.0. In this way, it is possible to understand how extensive and detailed is the AI4MI structure, but it cannot simulate scenarios or has a sensitivity analysis, as mentioned above. The structure in AHP will provide a study in multi-scenarios from the result obtained, thus providing aid to analysis and decision making, evaluating the binary comparison, creating the impact of each element about each reference criterion of the higher level, establishing the weight of each one, thus complementing the framework (AI4MI) used by Acatech. Through instrumentalization in AHP, the analysis of the results becomes more simplified and more explicit. It makes it possible to simulate axis prioritization scenarios, which would not occur using only the tools provided by acatech, limiting the analysis. Figure 1 presents the AI4MI model structure.



Source: Authors, 2023.

A conceptual and logical structure of AI4MI provides a comprehensive analysis of the entire scenario to be applied, comprehending its first level, also called AI4MI Functional Areas, which are the dividends in 5 sectors: Development, Logistics, Marketing & Sales, Production and Services (SCHUH et al., 2020). Thus, each sector of the functional area will be analysed in 4 structural segments: Culture, Organizational Structure, Resources, and Information Systems. Finally, each structural segment will be analysed regarding Adaptability, Predictive Capacity, Digitization, Computerization, Transparency, and Visibility.

### III. MULTIPLE CRITERIA DECISION MAKING: CONCEPT

MCDM models assist in decision-making when many variables are involved and can hardly be considered simultaneously by people. Several criteria may be necessary for a final choice between options or alternatives. Multicriteria Decision Analysis standardizes the decision-making process through mathematical modelling, helping the

decision-maker solve problems in which several objectives can be achieved simultaneously.

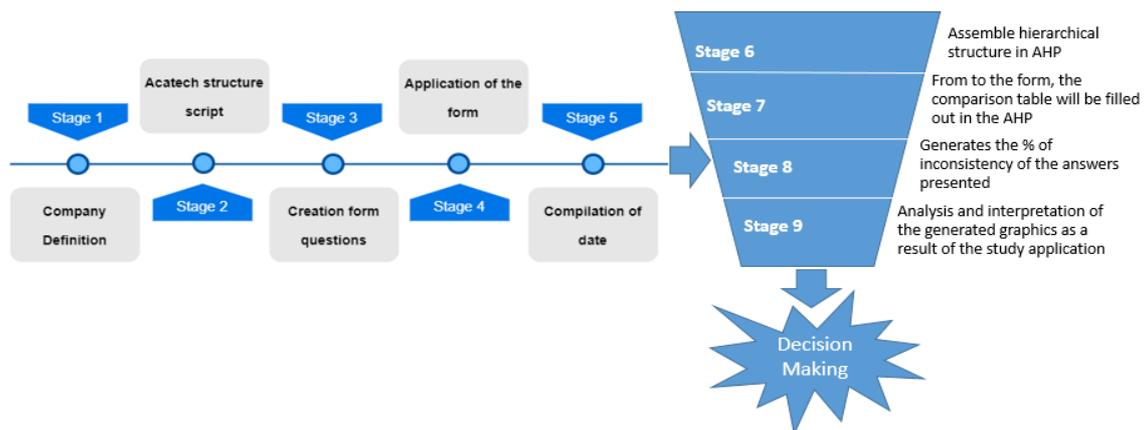
The Analysis Hierarchical Process (AHP) is a Multiple Criteria Decision Making (MCDM) to deal with unstructured criteria and multiple problems. It allows using measurable qualitative and/or quantitative data to analyse criteria. This method is used in many applications, including health, industrial, technical, strategic, and many other areas (XIAN and CHEN, 2011). It consists of decomposing a complex problem into its components, organizing the components into levels to generate a structured hierarchy. The objective of building this hierarchy is to determine the impact of the lower level at a higher level, which is achieved by paired comparisons provided by the decision-maker (GARCIA-CASCALES and LAMATA, 2011). The AHP method starts by decomposing the elements of a problem hierarchically. The steps happen as follows: (i) Definition of a problem; (ii) Structure of the hierarchy from a macro-management point of view; (iii) Evaluate the binary comparison, creating the impact of each element under each reference criterion of the higher level, establishing the weight of each one; and (iv) Evaluate and interpret the results obtained.

Through the instrumentalization in the AHP, which works to insert qualitative and/or quantitative data (entry in the Acatech questionnaire), it will be easier to analyse the impact from the lowest to the highest levels, achieved through comparisons that the method provides. Furthermore, the method allows for simulating scenarios and having visibility of how each resource can impact different results.

#### IV. FOUNDATIONS OF AI4MI AND AHP COMBINATION

This article proposes to use the MCDM method to provide a diagnostic approach to Acatech during the maturity assessment. Therefore, the solution is to combine AI4MI with the AHP structure, and Figure 2 illustrates the main stages of the proposed model.

Figure 2 - Implementation steps of AI4MI and AHP.



Source: Authors, 2023.

Stage 1 of Figure 2 is the definition of the company that will measure the maturity index takes place. Stage 2 is defined as the focus, whether AI4MI will be applied throughout the company or whether a specific functional area will be chosen. Stage 3 is the creation/elaboration of the questionnaire. Stage 4 runs the application of the questionnaire. In Stage 5, the responses to the questionnaire are compiled, organized, and interpreted. Stage 6 is responsible for assembling the acatech structure used in the AHP model. In Stage 7, the AHP comparison chart will be completed and quantified through the responses collected by applying the form. In Stage 8, the percentual of the

inconsistency of the presented answers will be verified, thus validating the study's confidence. In the last stage, Stage 9, the analysis and interpretation of the graphics generated after all previous steps are performed.

Stage 1 of Figure 2 is the definition of the company that will measure the maturity index takes place. Stage 2 is defined as the focus, whether AI4MI will be applied throughout the company or whether a specific functional area will be chosen. Stage 3 is the creation/elaboration of the questionnaire. Stage 4 runs the application of the questionnaire. In Stage 5, the responses to the questionnaire are compiled, organized, and interpreted. Stage 6 is responsible for assembling the acatech structure used in the AHP model. In Stage 7, the AHP comparison chart will be completed and quantified through the responses collected by applying the form. In Stage 8, the percentual of the inconsistency of the presented answers will be verified, thus validating the study's confidence. In the last stage, Stage 9, the analysis and interpretation of the graphics generated after all previous steps are performed.

#### 4.1 Company Definition

In this study, we define a metal-mechanical company that aims to develop a technological orientation for the future, focus on results, care for sustainability, and become more competitive, with visions correlated with Industry 4.0. Furthermore, it is a company that wants to be innovative, so it wants to map its maturity, discover strengths and weaknesses, to make investments according to its vision and strategy. Still, they cannot be shared due to the issue of confidentiality.

#### 4.2 Acatech Structure Script

After defining the company that will measure the maturity, it is necessary to evaluate the focus, that is, whether AI4MI will be applied throughout the company or if a specific functional area will be chosen (Development, Logistics, Marketing & Sales, Production, Services). In this work, we will focus only on the “Production” axis due to technological projects and strategies created, and directed to this perimeter, which will be described in greater detail in Chapter 5.

#### 4.3 Creation Form Questions

Using the method presented, a questionnaire was created with the questions to be answered by a multifunctional group (Table 1). After the application, the results were compiled. Table 4 also indicates how the assignments were answered for each question, being: (1) Computerization; (2) Connectivity; (3) Visibility; (4) Transparency; (5) Predictive Capacity; and (6) Adaptability.

Table 1 - AI4MI questionnaire.

Topic	Q#	Questions	Answer
<b>(1) RESOURCE</b>			
Production	Q1.1	Do sensors and transponders capture production data?	2
	Q1.2	Is the system interface used efficiently and available for consultation at any time?	3
	Q1.3	Is the data collected in the system reliable for decision-making?	1
	Q1.4	What level of coverage does the system achieve (only the line in question, the factory in general)?	2
	Q1.5	Does the system have the capacity to assist in statistical analysis and quality problems?	2
	Q1.6	In addition to the system used, do you use other tools to analyse the problems of the line?	2
	Q1.7	Using the system, did you notice productivity growth?	3
	Q1.8	Have you ever needed data from a system that had no information available?	1
	Q1.9	Do you think it is effective and that there is a need to have this system resource in the work routine?	2
Logistic	Q1.10	Do the packages and supports that contain components from the logistics area guarantee protection against contamination, protection, and falls?	5

	Q1.11	Are the components identified insanely and have a tag corresponding to the type and product specification (diameter, thickness, material type)?	3
	Q1.12	Are the supplies left by the logistics area stored/delivered and easily accessible?	3
	Q1.13	Is there transparency in the information regarding the storage period, location, and delivery quantity?	4
	Q1.14	Is there control and respect for the order of KAMBAN according to the need and planning of the production line?	1
Development	Q1.15	Does the production line have systems integrated with the machines to facilitate activities and warn about product failures and failures?	4
	Q1.16	Is there traceability in the parts manufactured to be registered in an easily accessible virtual database?	2
<b>(2) INFORMATION SYSTEMS</b>			
	Q2.1	In your opinion, do information systems assist in analysis and decision-making?	3
	Q2.2	How impactful for your role is the existence of information systems meaningful?	5
Production	Q2.3	Would you be able to carry out your activities with the same quality, certainty, and agility if information systems did not exist in your daily life?	4
	Q2.4	Are the information systems you use daily easy to interpret and handle?	1
	Q2.5	What information systems do you use?	2
	Q2.6	For example, do information systems perform reliable calculations to maximize productivity and/or inventory control?	4
Logistic	Q2.7	Is there a system where information regarding distribution, stock level, and location? Is integrated and digitally available to all involved in the process?	1
	Q2.8	Is there automatic and autonomous monitoring linked to planning so that replacement requests exist without human intervention?	2
Development	Q2.9	Drawings, updates, product instructions, and modifications are available to all interested parties so that everyone knows about all product changes that may impact the process/customer and others involved (production, logistics, marketing, after-sales.)?	4
	Q2.10	Is there a multidisciplinary committee responsible for modifications to the product and/or process, and are the minutes/modifications available on the company's intranet network?	4
	Q2.11	Are the production and/or process failures analysis performed/updated/reviewed frequently by multidisciplinary teams?	4
<b>(3) ORGANIZATIONAL STRUCTURE</b>			
	Q3.1	Is the team multidisciplinary, to the point of knowing and having the skills to carry out all activities on the line?	6
Production	Q3.2	Can the operators solve problems arising from the activity during the work routine?	4
	Q3.3	Are operators autonomous, and do they understand the results emitted by the machines on which they operate?	3
	Q3.4	Do operators have performance monitoring? Do they get paid for their work and integration with the team?	1
	Q3.5	Is the team motivated often? How does this proceed?	1
Logistic	Q3.6	Is the logistical system visible to all actors in the process to give freedom of decision to change productivity to any of those involved?	1
<b>(4) CULTURE</b>			
	Q4.1	Are difficulties, process problems, discussed and shared with the working group?	3
Production	Q4.2	Are there programs that enhance/encourage the discussion and externalization of ideas for continuous improvement in the sector belonging to the work team?	5
	Q4.3	In general, the ideas of everyone in the group are evaluated and discussed, always seeking to optimize and prevent failures and accidents at work?	5
	Q4.4	In your opinion, the group has a high level of maturity, considering: standardization, correct use of resources, following rules and procedures, and commitment to the group and individual goals and objectives?	6
Logistic	Q4.5	In general, is the process fully integrated and has the flexibility to adapt to changes in production planning?	3
	Q4.6	Do employees correctly know and use integrated systems instead of carrying out their activities (zipping labels, scanning via QR Code, barcode)?	4
Development	Q4.7	Are people looking for innovative solutions and looking at I4.0 at both the product and process levels?	2
	Q4.8	How do employees assess technological changes to make the production process autonomous?	6
	Q4.9	Do people/employees feel motivated by technological changes and innovations with an eye towards Industry 4.0?	4

Source: Authors, 2023.

#### 4.4 Application of the form

The form must be applied to a group of people with whom they are involved in the analysed perimeter, but not the same group. They must compose a multidisciplinary team, for example, production operator, adjuster, supervisor, maintainer, engineers, and logistics team, to expand the different perspectives under the same question.



As an answer to a question, a grade that can vary between 0 and 10 should be assigned, being zero of little relevance and ten extremely relevant, according to the impact of the question's content on day-to-day work. All respondents were followed up now of the answer, which guarantees the understanding of the question.

#### 4.5 Compilation of Data

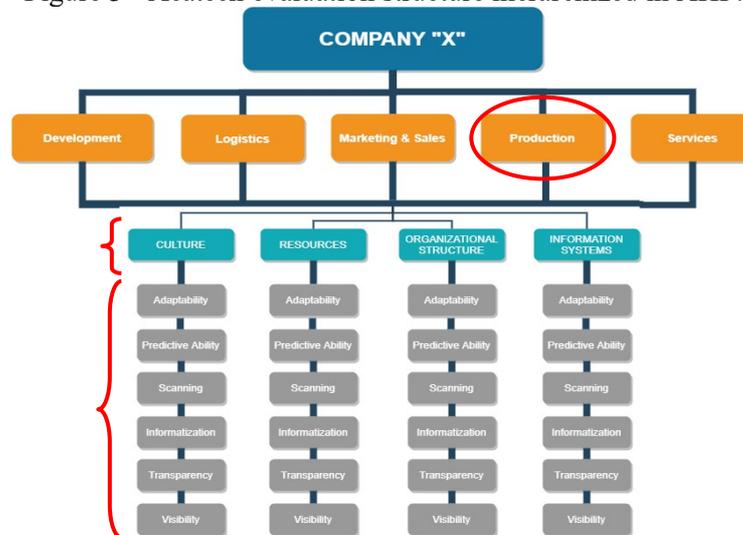
After the form is applied, the answers must be compiled, organized, and interpreted to be later used in applying the next step: AHP. Responses can be managed and organized by forms, excel, for example.

From the questionnaire answered and the responses organized and interpreted, it was possible to understand the vision of people under that axis of the organization and understand the impacting, relevant, and essential points, whether positive or negative. This was possible through discussions when filling out the questionnaire responses by the interviewees. Through this vision obtained by applying the questionnaire, you can move on to the next stage, having a subsidy to instrumentalize in AHP, thus having a maturity of judgment for the application.

#### 4.6 Structuring in AHP

Thus, for such measurement using the AI4MI framework and AHP multicriteria decision support to happen, it was made in AHP with the following hierarchy, as shown in Figure 3.

Figure 3 - Acatech evaluation structure hierarchized in AHP.



Source: Authors, 2023.

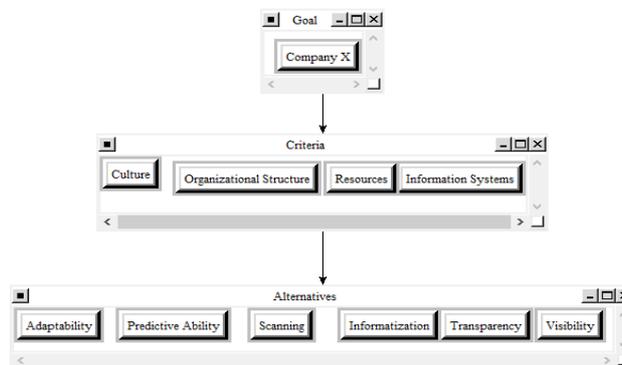
- **1st level (Goal):** Company X, in this case, is the company in question where the methodology will be applied.
- **2nd level (AI4MI Functional Areas):** Refers to the macro areas of application (Development, Production, Logistics, Services, and Marketing & Sales).
- **3rd level (AI4MI Structure):** The perimeters of Culture, Organizational Structure, Resources, and Information Systems were characterized according to the acatech method.

- **4th level (Alternatives):** According to the acatech method, the subclass of the criteria is classified: Adaptability, Predictive Capacity, Digitization (connectivity), Computerization, Transparency, and Visibility.

Thus, we structured the AI4MI framework with the AHP method, focusing on the functional area of “Production”. An area was chosen only to demonstrate the functioning of the acatech and AHP structure, thus having a minor case study. The Production area was selected due to its transversality with all areas.

AHP is a method to assist in making complex decisions. More than determining which decision is correct, AHP helps to choose and justify your choice, creating an option for scenario simulations and prioritizations. Using the acatech structure, AHP will weigh the degree of importance the organization gives to qualifiers or criteria defined by acatech. This weighting is performed paired by the AHP method that structurally models the organization of the dimensions (perspectives) and attributes of acatech. In this way, we have prioritization vectors that quantitatively describe the points to which the organization is giving more and less attention. This method and its results adequately support a diagnostic basis that allows, based on the current state, to indicate an opportunity for improvement. For example, applying AHP, focusing only on the “Production” perimeter, obtains the following structure, as shown in Figure 4.

Figure 4 - Acatech structure hierarchized in AHP.



Source: Authors, 2023.

#### 4.7 Fill out the comparison table in AHP

After structuring in the AHP, the criteria within a cluster and level of the AHP structure are compared, based on the responses to the applied questionnaire, assigning weights (Figure 5).

Figure 5 - Comparison table by criteria between alternatives.

1. Choose	2. Node comparisons with respect to Culture	
Node Cluster	Graphical	Verbal Matrix Questionnaire Direct
Choose Node	Comparisons wrt "Culture" node in "Alternatives" cluster	
Culture	Adaptability is very strongly to extremely more important than Informatization	
Cluster: Criteria		
Choose Cluster		
Alternatives		
	1. Adaptability	9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. Informatization
	2. Adaptability	>=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. Predictive Abil-
	3. Adaptability	>=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. Scanning
	4. Adaptability	>=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. Transparency
	5. Adaptability	>=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. Visibility
	6. Informatization	>=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. Predictive Abil-
	7. Informatization	>=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. Scanning
	8. Informatization	>=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. Transparency
	9. Informatization	>=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. Visibility
	10. Predictive Abil-	>=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. Scanning

Source: Authors, 2023.

The AHP program itself parameterizes, according to the hierarchy established (Figure 5), the comparison clusters. The work is to fill in this comparison table from the answers obtained by applying the questionnaire (Table 5). This step will demand a complete understanding of the questionnaire responses the analyser had when interpreting. Figure 5 shows an example of a comparison occurring in the criterion “Culture” in the alternatives cluster (this can be identified in Figure 4). Note the first line, determined by the number 1. We are comparing the importance of “Adaptability” versus “Informatization”. The first line of Figure 5 shows adaptability is robust and more critical than computerization. If this is true, the note will be applied to the field about adaptability; if this is not, the note will be used to the side of the field about computerization. Such input for which these grades were attributed came from the interpretation of the responses applied by the questionnaire.

#### *4.8 Generate % of inconsistency*

The percentage index for calculating the inconsistency is made automatically by the method. Its importance is that it considers the notes' oscillation and inconsistencies between notes, indicating maturity and indicating the appropriate decision-makers or experts. The ideal for the analysis is that the Inconsistency Calculation remains below 10%. The percentual of inconsistency, in this case, was 0.095, which will be explored in Section 5.3.

#### *4.9 Analysis of the Results*

In this phase, the analysis of the results is made, through the AHP method, as the analysis through graphs and tables, creation of prioritization scenarios, statistical data, and by providing the calculation of inconsistencies of the answers.

### V. CASE STUDY IN METAL-MECHANIC MANUFACTURING SYSTEM

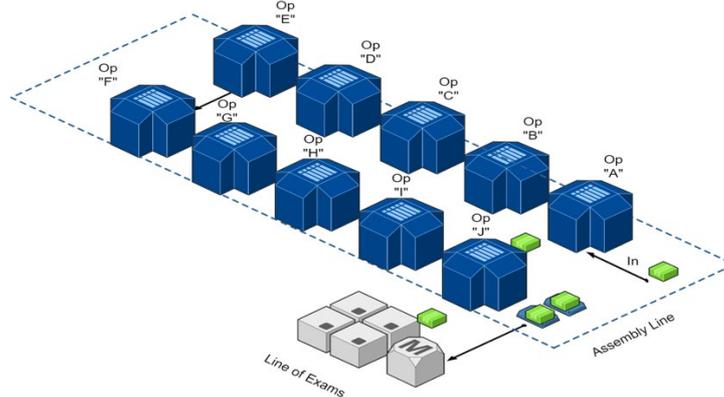
The acatech Industry 4.0 Maturity Index was applied from March to April 2020, in a global industry in the metal-mechanic sector installed in southern Brazil, with more than 40 years established in Brazil, the leader in technology and services in its segment. The Curitiba (BR) unit has more than 3 thousand employees. Its focus is on technology, innovation, quality, the performance of products and services offered, and the well-being of customers and employees.

The availability of information and participation regarding the answers for the application of the acatech questionnaire occurred in an efficient and long way since one of the authors of this research acts in the same. As a result, an assembly line called "Company A" (fancy name) assembly line was chosen, envisaged in a future investment plan, and became a candidate for the maturity assessment. In this way, obtaining a diagnostic basis for directing actions in meeting Industry 4.0 requirements as desired, along with the company's business strategies, is possible. Moreover, as its primary business strategy, it has become a leader in its segment, becoming competitive, based on technological innovation, such as IoT solutions, in the segment of new products and the production process.

The line is an assembly, receives parts from machining, and supplies the finished product for a test line. This line comprises ten operations in total (Figure 6). Where they are distributed performing component assemblies, adjustments, and measurements. Operation “A” performs a component assembly (C1) and a fixing bracket. Operation “B” performs a verification of the presence of component C1 through a camera. Operation

“C” assembles two components (C2 and C3), cleaning using compressed air and performing lubrication. Operation “D” performs two measurements (M2-M1), using pneumatic instruments, adjusting with a washer (C4), through the difference between the result of these two measurements. Operation “E” also performs a size (M3) and performs an adjustment with a washer (C5). Operation “F” makes a torque activity, adding a nut (C6). Operation “G” checks the measurement set in operation “D” and ends with the fixation of a screw. Operation “H” removes the fixing bracket inserted in operation “A” and performs a low-pressure sealing test. Operation “I” measures two characteristics (M4-M5) and adjusts with a washer (C7). Operation “J” checks the adjustment of operation “I”, and applies a torque operation, ending the process. Finally, the products are made available to the next sector responsible for the high-pressure sealing test.

Figure 6 - Assembly line case.



Source: Authors, 2023.

### 5.1 Results of the AHP Application

After elaborating on the questionnaire, the same was applied through the opinions and experiences of a specific workgroup with different activities and responsibilities. As a result, the outcomes were obtained respecting respectively:

- i. Comparison between pairs of elements at criteria and alternative levels to define the relative importance of one aspect over the other within each group.
- ii. Judgments are established: 1) Construction of comparative matrices, 2) Normalization and weight calculation, 3) Consistency Estimate.
- iii. Calculation of Consistency through judgment if all who made the decision were consistent in their opinion. The ideal for analysis is the same is below 10%.

The calculated general inconsistency, in this work, value resulted in 0.09451, thus obtaining the following weights for the alternatives, as shown in Figure 7. From the analysis of the four alternative Structural Area aspects, three characteristics should be highlighted: (i) Adaptability; (ii) Transparency; and (iii) Predictive Capacity. In another way, by bringing the same data, we can check the availability of the weights through Figure 8.

As for Priority, as shown in Figure 9, the axis that the company is paying more attention to is adaptability which competes in the ease of adaptation (ordering, product customization, flexibility in machines, production, and processes) is significant and this includes automatic setups, machine automatization that provide autonomy (without human assistance) to the process to be able to change to meet demand with more significant optimization and without impacts and costs.

Figure 7 - Calculate the weights of each item of the alternative Structural Area Aspect.

a) Culture Aspect.

Inconsistency: 0.08546		
Adaptabil~		0.47693
Informati~		0.06288
Predictiv~		1.00000
Scanning		0.11676
Transpare~		0.33134
Visibility		0.21328

b) Organizational Structure Aspect.

Inconsistency: 0.10348		
Adaptabil~		0.24216
Informati~		0.02741
Predictiv~		0.23408
Scanning		0.05649
Transpare~		0.25191
Visibility		0.18794

c) Resources Aspect.

Inconsistency: 0.09952		
Adaptabil~		0.29191
Informati~		0.03195
Predictiv~		0.24324
Scanning		0.04729
Transpare~		0.28882
Visibility		0.09679

d) Information Systems Aspect.

Inconsistency: 0.08957		
Adaptabil~		0.34058
Informati~		0.03453
Predictiv~		0.22862
Scanning		0.05208
Transpare~		0.26210
Visibility		0.08210

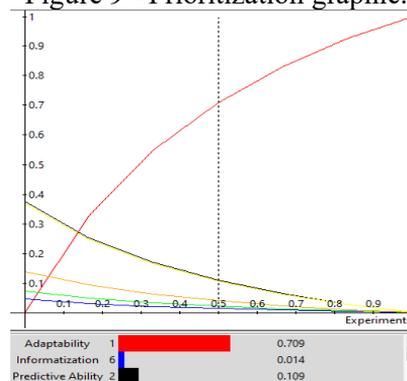
Source: Authors, 2023.

Figure 8 - Arrangement of the evaluation weights.

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
Adaptability		1.000000	0.302315	0.151158
Informatization		0.107282	0.032433	0.016216
Predictive Ability		0.865470	0.261645	0.130822
Scanning		0.168683	0.050995	0.025498
Transparency		0.847050	0.256076	0.128038
Visibility		0.319322	0.096536	0.048268

Source: Authors, 2023.

Figure 9 - Prioritization graphic.



Source: Authors, 2023.

## VI. CONCLUSION

The companies are challenged to rethink their production and organizational structure to stay competitive and offer new products and service solutions. Also, this challenge impacts the company culture and people's well-being. In this way, the success of the 4<sup>th</sup> Industrial Revolution requires the assessment of the Industry 4.0 Maturity Index to create a strategic plan driving the company goals.

Therefore, when combined, the two methodological tools presented in this work contribute more to an evaluation of the degree index of strategic decision maturity. Through the hierarchical structure offered by Acatech, it evaluated the production axis, looking at the most critical area in the company. Additionally, this structure provides a hierarchical organizational level to consider all the grades obtained for Industry 4.0, identifying the strengths and weaknesses in different perimeters from a cultural, organizational, and technology perspective.

This research hierarchically applied the AI4MI in company X in the Super Decision software after creating the hierarchical “skeleton”. Based on that, it was possible to start comparative evaluations between items, forming a matrix and resulting in a decision aid. The calculated average inconsistency value resulted in 0.0945075, which confirms a secure decision application. According to the results, the principal axes presented as the most relevant were Adaptability, Transparency, and Predictive Capacity. This means that the evaluated company has a greater focus on having flexible processes where it has no difficulties in adapting to specific customer requests, receiving new products, and receiving new technologies to improve productivity and cost. Due to the adaptability axis, it stands out with a strong emphasis. It can also conclude that the company is more concerned with technological innovation, giving importance to optimizing the collection and treatment of the data.

With the Industry 4.0 Maturity Index assessment, it was possible to identify tacit problems you would not have imagined before, getting ahead of problems. Therefore, it was possible to achieve production improvements, reduction of the cost with factory maintenance, an extension of the tool’s life cycle used in manufacturing, and many other aspects related to productivity. Additionally, this company shows itself with the actions related to the group's strategy: Innovation and Technology. They are concerned with the future, the organization's position, and competitiveness and work with internal changes to achieve these strategic objectives.

This article aims as future work for the continuation of this case, focusing on improving the points out in this research according to a company strategy. The focus will be on creating a more technological company, using massive emergent technology and artificial intelligence methods to improve production times, failure prediction, connectivity, and waste reduction.

## VII. REFERENCES

- ABBURU, S.; DUBE, N.; MIYAR, R. N. GOLLA, S. B. An ontology-based methodology for satellite data semantic interoperability. **Advances in Electrical and Computer Engineering**, v. 15 n. 3, 2015, p 105–110.
- ADAMCZYK, B.S., SZEJKA, A.L. AND CANGIOLIERI JUNIOR, O. Knowledge-based expert system to support the semantic interoperability in smart manufacturing. **Computers in Industry**, v. 115, n. 103161, 2020, p. 1-16.
- BASL, J. Pilot Study of Readiness of Czech Companies to Implement the Principles of Industry 4.0. **Management and Production Engineering Review**. v. 8 n. 2, 2017, p. 3–8.
- BASL, J. Companies on the Way to Industry 4.0 and their Readiness. **Journal of Systems Integration**. v. 9, n. 3, (2018) p. 3–6.
- BERNSTEIN, A., HENDLER, J. and NOY, N. A new look at the semantic web. **Communications of the ACM**. v. 59 n. 9, 2016, p. 35–37.
- FATORACHIAN, H.; KAZEMI, H. A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalization framework. **Production Planning and Control**. v. 29, n. 8, 2018, p. 633–644.
- GARCIA-CASCALES, M.S.; LAMATA, M.T. Multi-criteria analysis for a maintenance management problem in an engine factory: Rational choice. **Journal of Intelligent Manufacturing**. v. 22, n. 5, 2011, p. 779–788.

- LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, HG. FELD T.; HOFFMANN M. *Industrie 4.0. Wirtschaftsinf.* v. 56, 2014, p. 261–264.
- LIAO, Y.; DESCHAMPS, F.; ROCHA LOURES, E. F.; RAMOS, L. F. P. Past, Present and Future of Industry 4.0 – A Systematic Literature Review and Research Agenda Proposal. *International Journal of Production Research.* v. 55 n. 12, 2017, 3609-3629.
- MAASZ, G. J.; DARWISH, H. Towards an Initiative-Based Industry 4.0 Maturity Improvement Process: Master Drilling As a Case Study. *South African Journal of Industrial Engineering.* v. 29, n. 3, 2018, p. 92–107.
- NEGHAB, A.P.; ETIENNE, A.; KLEINER M.; ROUCOULES L. Performance evaluation of collaboration in the design process: Using interoperability measurement. *Computers in Industry.* v. 72, 2015, p. 14–26.
- PEREIRA, R. M.; SZEJKA, A. L.; CANCEGLIERI JUNIOR, O. Towards an information semantic interoperability in smart manufacturing systems: Contributions, limitations, and applications. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing.* v. 34, n. 4, 2021, p. 422-439.
- RAMOS, L.; ROCHA LOURES, E., DESCHAMPS F.; VENÂNCIO A. Systems evaluation methodology to attend the requirements of the digital project for Industry 4.0. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing.* v. 33 n. 4, 2020, p. 398-410.
- RAO, S.K. AND PRASAD, R. Impact of 5G Technologies on Industry 4.0. *Wireless Personal Communications.* v. 100, (2018) p. 145–159.
- SCHUH, G.; ANDERL, R.; DUMITRESCU, R.; KRÜGER, A.; HOMPEL, M.T. *Industrie 4.0 Maturity Index - Managing the Digital Transformation of Companies.* Munich, 2020.
- SZEJKA, A.L.; CANCEGLIERI JUNIOR, O. The application of reference ontologies for semantic interoperability in an integrated product development process in smart factories. *Procedia Manufacturing.* v. 11, 2017, p. 1375-1384.
- XIAN, I.Z.; CHEN, K.C. New Model of Selecting a Corporate Manager for State-Owned Enterprise. *Journal of International Business Research.* v. 10, n. 1, 2011, p. 1-10.
- ZDRAVKOVIC, M. AND PANETTO, H. The challenges of model-based systems engineering for the next-generation enterprise information systems. *Information Systems and e-Business Management.* v. 15, n. 2, 2017, p. 225–227.

#### VIII. ACKNOWLEDGMENT

The authors thank the financial support of the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) and the Pontifical Catholic University of Parana.

#### IX. COPYRIGHT

The authors are solely responsible for the material included in the article. The authors agree with the submission and with the transfer of publication rights of the referred article to the journal.

---

## MELHORES PRÁTICAS EM ECOSSISTEMAS DE INOVAÇÃO EM UNIVERSIDADES: REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

### *BEST PRACTICES IN UNIVERSITIES INNOVATION ECOSYSTEMS: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW*

Lucas Sydorak Lessa<sup>1</sup>  
Michele Marcos de Oliveira<sup>2</sup>  
Osiris Canciglieri Júnior<sup>3</sup>

*Resumo – Os ecossistemas de inovação em ambientes universitários são fundamentais para o desenvolvimento industrial e econômico. Neste sentido, este artigo propõe uma Revisão Sistemática da Literatura para resumir a produção acadêmica atual relacionada à inovação nas universidades. Os autores classificaram o tema da inovação em duas categorias: ensino de inovação e pesquisa para inovação. A Revisão Sistemática da Literatura pesquisou artigos que contém a palavra-chave "ecossistema de inovação" nas bases Scopus e Web of Science de 2017 a 2022, resultando em 2564 artigos, dos quais apenas 7 foram selecionados para estudo aprofundado. Esta pesquisa visa identificar as melhores práticas em inovação nas universidades, esclarecendo a abordagem atual de inovação e fornecendo uma compilação das práticas e métodos encontrados. O estudo contribuirá para a literatura acadêmica fornecendo uma síntese das abordagens de inovação nas universidades e com isso, ampliará o conhecimento sobre o ecossistema de inovação nas universidades, possibilitando a expansão da abordagem atual de inovação de acordo com o que é descrito e estudado pela literatura acadêmica.*

*Palavras-chave: Ecossistemas de Inovação. Tríplice Hélice. Universidade. Pesquisa. Ensino. Empreendedorismo.*

*Abstract - The innovation ecosystem in a university environment is fundamental to industrial and economic development. A Systematic Literature Review was proposed to summarize the current academic production related to innovation in universities. The authors classified the theme of innovation into two categories: teaching of innovation and research for innovation. The Systematic Literature Review researched the keyword "innovation ecosystem" articles in the Scopus and Web of Science databases from 2017 to 2022, resulting in 2564 articles, out of which only 7 articles were selected for deepened study. This research aims to identify best practices in innovation in universities by clarifying the current innovation approach and providing compilation of the practices and methods found. The study will contribute to the academic literature by providing a synthesis of university innovation approaches and whit it, il*

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia de Produção (Pontifícia Universidade Católica do Paraná). Contato: [lucassydoraklessa@hotmail.com](mailto:lucassydoraklessa@hotmail.com).

<sup>2</sup> Doutoranda em Engenharia de Produção e Sistemas (Pontifícia Universidade Católica do Paraná); Gerente Editorial PUCPRESS. Contato: [michelemmo@gmail.com](mailto:michelemmo@gmail.com).

<sup>3</sup> PhD (Loughborough University); Coordenador e Professor no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PUC-PR). Contato: [osiris.canciglieri@pucpr.br](mailto:osiris.canciglieri@pucpr.br).



*will broaden the knowledge about the innovation ecosystem in universities, making it possible to expand their current approach to innovation according to what is described and studied by the academic literature.*

**Keywords:** *Innovation ecosystem. Triple helix. University. Research. Teaching. Entrepreneurship.*

## I. INTRODUÇÃO

As demandas por inovação aumentaram enormemente nos últimos anos em diversas áreas, como tecnologia, sustentabilidade, experiência do usuário e impacto social. Para apoiar o crescimento dessas iniciativas, a colaboração entre universidades e empresas é cada vez mais necessária, sendo importante destacar a transferência de conhecimento e a adaptação de ambos para produzir melhores resultados (TRAITLER e WATZKE, 2011).

As indústrias de manufatura dependem das universidades para inovação e, para atender às expectativas da sociedade em geral, as universidades têm buscado treinamento transdisciplinar e colaboração com diferentes atores, como indústrias e governo (CHESBROUGH e BOGERS, 2014). O conceito de Tripla Hélice, proposto por Etzkowitz e Leydesdorffem (2000), destacou a importância da colaboração entre universidade, indústria e governo para o desenvolvimento da inovação. Posteriormente, o modelo foi ampliado para Quintupla Hélice por Carayannis, Barth e Campbell (2012), incluindo a importância da participação da sociedade-civil e meio ambiente.

## II. METODOLOGIA

O presente artigo se baseia em uma revisão sistemática de literatura que teve como objetivo investigar e sintetizar os resultados de estudos anteriores no tema. Para Fink, (2019) uma revisão sistemática de literatura é “um método sistemático, explícito e reproduzível para identificar, avaliar e sintetizar o corpo de trabalho existente concluído e planejado por pesquisadores, acadêmicos e profissionais”.

De acordo com Fink, (2019) uma revisão sistemática de literatura tem como objetivo identificar os artigos mais relevantes que direcionam a pesquisa, que neste caso tem como tema central e primário Ecossistemas de Inovação, e esta foi a palavra-chave utilizada na busca por artigos, nas bases Scopus e Web of Science, com os seguintes critérios de inclusão: artigos em língua inglesa, produzidos nos últimos dez anos (2012-2022), nesta primeira etapa encontrou-se 2564 artigos.

Na segunda etapa, foram removidos os artigos duplicados, resultando em 1746. Na terceira etapa, foram selecionados os artigos que continham a palavra-chave “ecossistemas de inovação” no título ou no resumo ou nas palavras-chave, resultando em 1732 trabalhos. Como o enfoque deste trabalho é a análise do ambiente universitário, a quarta fase consistiu em filtrar os artigos que possuíam as palavras-chave "universidade" ou "academia", direcionando, assim, a pesquisa para o tema em questão e resultando na seleção de 409 artigos.

A fim de ter uma abordagem mais específica aos artigos, o grupo de pesquisa considerou relevante seccionar a filtragem dos 409 artigos, em duas abordagens diferentes dentro do tema ecossistema de inovação na universidade. Uma sobre ensino e outra sobre pesquisa e desenvolvimento.

A primeira frente foi de abordagem sobre ensino de empreendedorismo e inovação nas universidades, e para identificar os artigos nesta área, foram filtrados trabalhos contendo ao menos uma das palavras-chave: *teaching* (ensino) ou *learning* (aprendizagem) ou *subject* (disciplinas), resultando em 95 artigos. Para identificar os trabalhos com uma relação mais estreita com esta abordagem, uma nova seleção foi

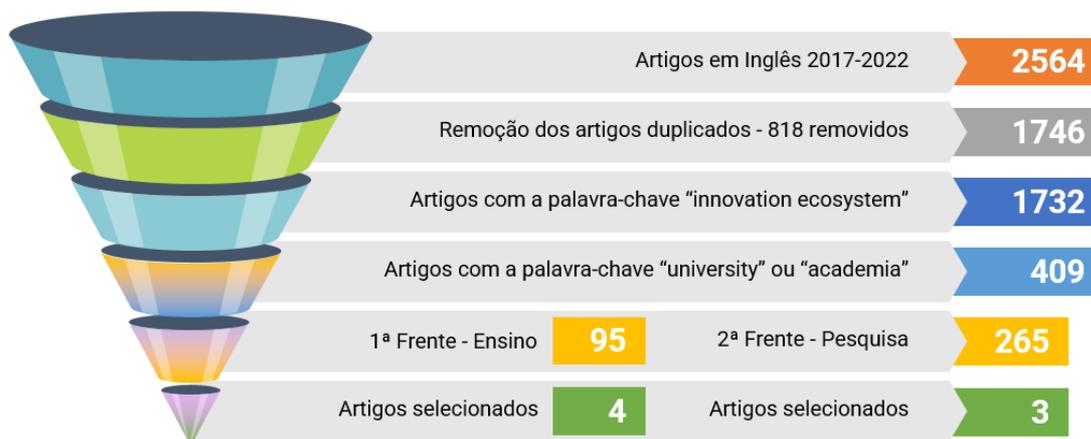
realizada para selecionar apenas o que continham duas destas três palavras-chave, e com isso foram 4 trabalhos foram selecionados para análise.

Na segunda frente de abordagem sobre pesquisa e desenvolvimento de inovação, foram consideradas artigos contendo as palavras-chave *research & development* (pesquisa e desenvolvimento) ou *scientific* (científico) ou *project* (projeto) resultando em 265 trabalhos.

Da mesma forma, somente 3 artigos contendo duas ou mais palavras-chave foram selecionados para estreitar o tema desta frente de abordagem.

As etapas de filtragem e seleção dos artigos estão descritas na Figura 1.

Figura 1 – Etapas da Revisão Sistemática de Literatura



Fonte: Autores, 2022.

Ao final destas etapas, 7 trabalhos foram selecionados para análise aprofundada.

### III. RESULTADOS

Com a análise aprofundada dos artigos selecionados foi possível identificar as principais abordagens dos autores no que diz respeito ao ecossistema de inovação.

Segundo Zhuang e Liu (2022) a implementação de SEUs (Universidades Empreendedoras Sustentáveis) é essencial para construir confiança entre as partes interessadas no ecossistema de inovação, já que esta é uma característica central deste tipo de universidade, que além disso tem um foco na transferência de tecnologia e cocriação de conhecimento. Com isso as SEUs institucionalizam a colaboração interdisciplinar, conciliam mentalidades empreendedoras e sustentáveis e funcionam como organizações âncora para a troca de conhecimento. Além disso, os autores reforçam a necessidade da divisão do trabalho entre as partes interessadas para que assim sejam desempenhados papéis distintos entre eles. Para haver um impacto significativo no estabelecimento e operação do ecossistema de inovação deve haver uma mudança na forma de ensino por partes dos professores e instrutores o que desencadeia na aprendizagem dos estudantes. Neste sentido podem ser aplicadas a aprendizagem baseada em problemas, aprendizagem baseada em projetos e educação interdisciplinar.

Os autores Felizola e De Aragão I.M (2021) realizaram um estudo empírico do ecossistema de inovação sergipano e o confrontaram com a literatura científica e através deste comparativo, identificaram lacunas na estrutura do ecossistema de inovação local com o descrito na literatura, como por exemplo a falta de conexão e confiança entre os projetos de inovação, empresas e universidades. E como citado por Zhuang e Liu (2022)

é essencial para construir confiança entre as partes interessadas no ecossistema de inovação, para tanto os autores Felizola e De Aragão (2021) propõem que a falta de investidores anjo, fundos de investimento locais, aceleradoras, incubadoras, empresas e outros Habitats ou Hubs de inovação e projetos é a lacuna do ecossistema de inovação, e que com a implementação destes atores, seria possível uma significativa melhora na opção do ecossistema local.

O autor Krishna (2019) destaca que o sucesso de países do leste asiático, como Taiwan e Coréia do Sul, é atribuído ao papel da mediação e financiamento estatal por meio de ciência, tecnologia, financiamento e políticas de inovação, que ajudaram a estabelecer capacidades tecnológicas e trazer vantagem comparativa para vários setores da economia e de ranqueamento de universidades ao redor do mundo. A massificação do ensino superior e o aumento do papel do setor privado no ensino superior também contribuíram para o desenvolvimento do cenário de inovação na região da Ásia-Pacífico. O uso de ciência, tecnologia e inovação tem sido fundamental no avanço tecnológico e na geração de riqueza no leste asiático em comparação com os países do sudeste asiático.

Os autores Gontareva et al. (2022), realizaram uma pesquisa de campo na Ucrânia em diferentes universidades, e concluíram através de entrevistas e pesquisa que existem fatores comprometedores do ecossistema de inovação, são eles, o financiamento estatal extremamente limitado, e um baixo nível de comunicação entre a ciência (universidades, institutos de pesquisa etc.) e o real setor econômico (produção e empresas). Quando existem estes fatores no ecossistema de inovação, aumenta a significância socioeducacional, o que enfatiza a necessidade da inclusão de consultorias para análise técnica no setor, que pode ocorrer através da criação de um conselho permanente contendo representantes de cada participante no ecossistema de inovação local. Como as universidades desempenham um papel crucial na promoção da atividade inovadora e no desenvolvimento de habilidades empreendedoras, os autores recomendam a criação de startups, já que contribui para a popularização de atividades inovadoras. No entanto, destacam que a comercialização do conhecimento é a área mais fraca de atividade no ecossistema de inovação e sugere a criação de centros para transferência de conhecimento e tecnologia a fim preencher a lacuna entre inovadores e negócios.

Os autores Titton e Jakubowski (2021) destacam a importância da aprendizagem para resolução de problemas do mundo real na educação empreendedora. Considerando que atualmente existe o encerramento de empresas precocemente devido à falta de preparação empreendedora, segundo dados do Global Entrepreneurship Monitor (2018), os autores propuseram a plataforma Newis Cool, um jogo de simulação para criação e construção de uma empresa usando parâmetros do mundo real, bem como internos, para fornecer uma fidelidade mais próxima do mundo real. Depois de lançar essa plataforma em 2019 e ter sido usada por centenas de estudantes, eles afirmam que ela ajuda os alunos a aprender como desenvolver ideias e validá-las por meio de parâmetros do mundo real.

A educação para empreendedorismo é uma maneira de preparar as pessoas para o empreendedorismo e que também pode ser desenvolvida no trabalho, não apenas em uma estrutura educacional. Os autores Titton e Jakubowski (2021) acrescentam que a educação para empreendedorismo não é direcionada apenas para que o aluno crie um negócio, mas também para desenvolver o intraempreendedorismo, que é quando o funcionário age como se fosse dono da empresa, tomando decisões melhores pois tem uma visão global do empreendimento e um olhar para o futuro.

Os autores Munigala, Oinonen, Ekman (2018) apontam fatores impulsionadores ou elementos fundamentais de mudança em uma universidade que serão impactantes no futuro da educação nos próximos 20 anos. Baseado em um estudo feito na fábrica de design na Universidade Aalto na Finlândia, estes fatores incluem a personalização da

aprendizagem, a importância da educação interdisciplinar, flexibilidade no sistema educacional, mudanças nos meios de interação e comunicação, o uso de princípios de design e a necessidade de uma estrutura de graduação flexível para apoiar o desenvolvimento do leque de habilidades. Os autores destacam a importância de equilibrar aspectos pessoais e comunitários na definição de planos de estudo e métodos de ensino, e também menciona o papel de disciplinas emergentes como nanotecnologia, inteligência artificial e biotecnologia no futuro da educação.

Ao abordar ecossistemas em uma escala maior, como megaprojetos ou projetos transnacionais, como feito por Davies, MacAulay, DeBarro e Thurston, M. (2014) no Sistema Ferroviário Suburbano Crossrail - atualmente o maior projeto de engenharia civil da Europa - foram identificadas quatro oportunidades para promover a inovação em um megaprojeto: a janela de ponte, janela de engajamento, janela de alavancagem e janela de intercâmbio. Cada janela oferece uma abordagem diferente para desenvolver ideias inovadoras e melhorar o desempenho do projeto. A janela de ponte utiliza práticas bem-sucedidas de outros projetos e setores para inovar na organização e governança do projeto. A janela de engajamento incentiva e recompensa fornecedores por soluções inovadoras em suas propostas. A janela de alavancagem mobiliza parceiros, empreiteiros e fornecedores para desenvolver novas ideias e tecnologias. A janela de intercâmbio permite a combinação de ideias e recursos de outros projetos no ecossistema de inovação para melhorar o desempenho.

#### IV. CONCLUSÃO

O presente estudo discute diferentes metodologias, técnicas, práticas e ações relacionados à educação empreendedora e sua relação com o ecossistema de inovação. É ressaltada a importância das Universidades Empreendedoras Sustentáveis (SEUs) na construção de confiança entre as partes interessadas no ecossistema de inovação, assim como a necessidade de divisão do trabalho entre elas. São mencionadas estratégias de ensino, como a aprendizagem baseada em problemas, projetos e educação interdisciplinar. É apontado também o papel do Estado na mediação e financiamento de ciência, tecnologia e inovação, que contribuiriam para o desenvolvimento do cenário de inovação na região da Ásia-Pacífico.

No entanto, são apresentados fatores comprometedores do ecossistema de inovação, como o financiamento estatal limitado e a falta de comunicação entre a ciência e o setor econômico. É sugerida a criação de consultorias técnicas e centros de transferência de conhecimento e tecnologia. Além disso, é discutida a importância da aprendizagem para resolução de problemas reais na educação empreendedora, sendo apresentada a plataforma Newis Cool como uma proposta para ajudar os alunos a aprender como desenvolver ideias e validá-las, além de desenvolver o intraempreendedorismo. Por fim, são mencionados os fatores impulsionadores ou elementos fundamentais de mudança em uma universidade para os próximos 20 anos, destacando a importância da personalização da aprendizagem, da educação interdisciplinar, da flexibilidade no sistema educacional, das mudanças nos meios de interação e comunicação e do uso de princípios de design.

Com isso, identificou-se as atuais práticas referentes a forma de aprimorar o funcionamento de um ecossistema de inovação presentes na literatura, o que contribui para a literatura através da apresentação desta síntese das abordagens de inovação nas universidades, e com isso, amplia o conhecimento sobre o ecossistema de inovação, possibilitando a expansão da atual abordagem de inovação nas universidades através da aplicação dos métodos e práticas aqui apresentados.

## V. REFERÊNCIAS

- CARAYANNIS, E. G; BARTH, T. D; CAMPBELL, D. F. J. The Quintuple Helix innovation model: global warming as a challenge and driver for innovation. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*. v. 1. 2, 2012
- CHESBROUGH, H., and BOGERS, M., 'Explicating Open Innovation: Clarifying an Emerging Paradigm for Understanding Innovation'. **New Frontiers in Open Innovation**. 3-28. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199682461.003.0001>
- DAVIES, A; MACAULAY, S; DEBARRO, T; Thurston, M. Making innovation happen in a megaproject: London's cross rail suburban railway system. **Project Management Journal**. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/pmj.21461>.
- FELIZOLA M.P.M., DE ARAGÃO I.M. The Sergipan innovation ecosystem - Actors and gaps. **Revista Prâkis**. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.25112/rpr.v1.2594>
- FINK, A. **Conducting research literature reviews: From the internet to paper**. Sage publications. 2019.
- HERMAN C. Global Report 2017/18. 2018. Disponível em: <https://www.gemconsortium.org/report/50012>. OECD Working Paper
- GONTAREVA I., LITVINOV O., HREBENNYK N., NEBABA N., LITVINOVA V., CHIMSHIR A. Improvement of the innovative ecosystem at universities. **Eastern-European Journal of Enterprise Technologies**. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251799>.
- KRISHNA V.V. Universities in the national innovation systems: Emerging innovation landscapes in Asia-Pacific. **Open Innovation Technology Mark. Complex**. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/joitmc5030043>.
- MUNIGALA, V; OINONEN, P; EKMAN, K. Envisioning future innovative experimental ecosystems through the foresight approach. Case: Design Factory 2017. **European Journal of Futures Research**. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40309-017-0128-2>.
- TITTON, L.A., JAKUBOWSKI, M. (2021). Authentic Learning in Entrepreneurship Education. In: WARDASZKO, M., MEIJER, S., LUKOSCH, H., KANEGAE, H., KRIZ, W.C., GRZYBOWSKA-BRZEZIŃSKA, M. (eds) **Simulation Gaming Through Times and Disciplines**. ISAGA 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol 11988. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-72132-9\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-030-72132-9_27)
- TRAILER, H.; WATZKE, H; SAGUY, S. Reinventing R&D in an Open Innovation Ecosystem. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 2, p. 62-68, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01998.x>
- ZHUANG T., LIU B. Sustaining Higher Education Quality by Building an Educational Innovation Ecosystem in China—Policies, Implementations and Effects. **Sustainability**. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su14137568>.

## VI. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

## **PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DE PRODUTOS: DESAFIOS PARA GARANTIR A SATISFAÇÃO DO USUÁRIO DE PRÓTESES DE MEMBRO SUPERIOR**

### **INTEGRATED PRODUCT DEVELOPMENT PROCESS: CHALLENGES TO ENSURE UPPER LIMB PROSTHESIS USER SATISFACTION**

Kelulin Good ROGESKI<sup>1</sup>  
Osiris CANGIHLIERI JUNIOR<sup>2</sup>  
Adriana de Paula SANTOS<sup>3</sup>  
Amanda Lacerda SANTOS<sup>4</sup>

*Resumo – Com a evolução tecnológica, foram desenvolvidos diversos modelos de próteses que visam melhorar a mobilidade dos pacientes. Entretanto, as elevadas taxas de abandono de próteses de membro superior apresentam-se como um paradoxo, uma vez que os benefícios trazidos por esses dispositivos são, em muitos casos, superados pelas desvantagens. Neste contexto, o objetivo da pesquisa foi entender os motivos que levam ao uso ou descarte de próteses de membro superior, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), visando a incorporação de atributos no processo de desenvolvimento integrado desse produto (PDIP). Por meio da consulta a base de dados Capes Periódicos, utilizando-se os filtros da busca avançada para artigos em inglês, publicados nos últimos dez anos, contendo os termos “prosthesis” (prótese) e “abandonment” (abandono) foi possível obter cento e oito resultados, dos quais oitenta e três foram descartados e vinte e cinco artigos foram lidos e analisados pela aderência ao tema. O principal motivo para o abandono encontrado na literatura foi o incômodo sentido pelos usuários. O funcionamento impreciso e insuficiente também foi criticado. A necessidade de feedback sensorial e de força, dentre outros atributos que auxiliaria na percepção dos objetos e aperfeiçoaria a experiência do usuário das próteses, auxiliando na incorporação do dispositivo também foram citados pelos autores. Baseado na RSL realizada e na análise dos motivos que levam ao abandono das próteses dos usuários dos produtos fornecidos pela Associação Dar a Mão, será possível propor melhorias para o PDIP. Palavras chave: prótese, membro superior, abandono*

*Abstract – With the technological evolution, several models of prostheses have been administered that aim to improve the mobility of patients. However, the high rates of abandonment of upper limb prostheses are a paradox, since the benefits brought by these devices are, in many cases, outweighed by those maintained. In this context, the objective of*

<sup>1</sup> Graduanda em Medicina (PUC-PR); Contato: [kelulinrogeski@hotmail.com](mailto:kelulinrogeski@hotmail.com).

<sup>2</sup> Doutor em Automação da Manufatura (Loughborough University; Docente do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PUC-PR). Contato: [osiris.cangiglieri@pucpr.br](mailto:osiris.cangiglieri@pucpr.br).

<sup>3</sup> Doutora em Engenharia Civil (UFSC); Docente do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (UFPR). Contato: [adrianapls@ufpr.br](mailto:adrianapls@ufpr.br).

<sup>4</sup> Graduanda em Medicina (PUC-PR); Contato: [amandyta2004@gmail.com](mailto:amandyta2004@gmail.com).

*the research was to understand the reasons that lead to the use or disposal of upper limb prostheses, through a Systematic Literature Review (SLR), aiming at the incorporation of attributes in the integrated development process of this product (IDPP). By consulting the Capes Periódicos database, using the advanced search filters for articles in English, published in the last ten years, containing the terms “prosthesis” (prosthesis) and “abandonment” (abandonment), it was possible to obtain 100 and eight results, of which eighty-three were discarded and twenty-five articles were read and analyzed for adherence to the theme. The main reason for abandonment found in the literature was the discomfort felt by users. Imprecise and insufficient functioning was also criticized. The need for sensory and force feedback, among other attributes that help in the perception of objects and improve the user experience of the prostheses, helping to incorporate the device, were also mentioned by the authors. Based on the RSL carried out and on the analysis of the reasons that lead to the abandonment of prostheses by users of products supplied by Associação Dar a Mão, it will be possible to propose improvements to the IDPP.*

**Keywords:** *prosthesis, upper limb, abandonment*

## I. INTRODUÇÃO

Na confluência da Medicina e Engenharia encontra-se a produção de próteses que visam melhorar a mobilidade dos pacientes. Entretanto, as elevadas taxas de abandono de próteses de membro superior apresentam-se como um verdadeiro paradoxo, uma vez que os benefícios trazidos por esses dispositivos são, em muitos casos, superados pelas desvantagens. Embora os dados variem de acordo com a faixa etária, sexo e nível de amputação, a rejeição encontra-se entre 20% e 38% (EDMONDSON, CANCIO e YANCOSEK, 2020).

Apesar da variedade de opções no mercado e do compromisso com a melhora da qualidade de vida, as próteses de membro superior ainda apresentam uma taxa significativa de desuso (YAMAMOTO et al., 2019). Diante disso, torna-se fundamental destacar a importância da personalização dessas próteses para atender às necessidades específicas de cada paciente (KERVER, TWILLERT, MAAS e SLUIS, 2020). Isso garante não apenas uma maior satisfação, mas também uma eficiência maior no tratamento. Ademais, cabe ressaltar que as próteses são produtos caros e delicados, pois funcionam como uma extensão do membro superior do paciente (KERVER, TWILLERT, MAAS e SLUIS, 2020).

Sob essa perspectiva, a Associação Dar a Mão desenvolveu uma rede de apoio aos indivíduos com deficiências nos membros superiores e seus familiares, oferecendo próteses e acompanhamento a esses indivíduos, visando o empoderamento e a melhora da qualidade de vida das pessoas que nasceram com síndromes que afetam os braços e mãos, ou que sofreram amputações. Assim, a Associação promove o acesso às tecnologias assistivas para pessoas de qualquer classe social. Neste contexto, o Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Sistemas – PPGEPS da Pontifícia Universidade Católica do Paraná PUC estabeleceu uma parceria com a Associação Dar a Mão a fim de identificar potenciais melhorias para as próteses fornecidas atualmente para os pacientes.

Ante o exposto, o objetivo da pesquisa foi entender os motivos que levam ao uso ou descarte de próteses de membro superior, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), visando a incorporação de atributos no processo de desenvolvimento integrado desse produto.

## II. METODOLOGIA

O Método de Pesquisa utilizado para desenvolvimento das atividades foi o Estudo de Caso. Esse método utiliza, geralmente, dados qualitativos, coletados a partir

de eventos reais, com o objetivo de explicar, explorar ou descrever fenômenos atuais inseridos em seu próprio contexto (YIN, 2005). O Estudo de Caso baseia-se em várias fontes de evidências e, como qualquer outra estratégia de pesquisa, apoia-se nas proposições teóricas pré-estabelecidas para conduzir a coleta e a análise dos dados. Assim, a teoria serve como modelo para análise e comparação dos resultados e possibilita a 'generalização empírica'. Os resultados do Estudo de Caso possibilitam generalizações a proposições teóricas e não a populações, uma vez que o objetivo da pesquisa de Estudo de Caso é expandir e generalizar teorias (YIN, 2005).

Foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura por meio da consulta a base de dados Capes Periódicos. O objetivo da RSL foi identificar os fatores que contribuem para o abandono protético, utilizando-se os filtros da busca avançada para artigos em inglês, publicados nos últimos dez anos, contendo os termos “prosthesis” (prótese) e “abandonment” (abandono). Obtiveram-se cento e oito resultados, dos quais oitenta e três foram descartados por estarem duplicados, não centrarem no tema, ou abordarem outros tipos protéticos que não os de membro superior. Os vinte e cinco artigos restantes foram lidos e analisados pela aderência ao tema.

### III. RESULTADOS

Dentro do processo integrado de desenvolvimento de produtos protéticos, um dos grandes desafios é entender os motivos que levam o usuário a abandonar a sua prótese, a fim de aprimorar as versões futuras de acordo com a demanda do mercado. O abandono protético é muito expressivo, principalmente em relação aos dispositivos mais simples, como as próteses cosméticas e motoras. Além do funcionamento das próteses, existem outros fatores que influenciam na rejeição, sendo eles a idade, o sexo e o nível de amputação do paciente (ESPINOSA, NATHAN-ROBERTS, 2019). Ademais, os empecilhos encontrados pelos indivíduos são muito particulares, e dependem da experiência individual, dado que cada prótese é personalizada.

Durante a revisão da literatura, o desconforto foi o aspecto mais relevante, sendo que o uso da prótese fica inviável devido às dores e ao peso sentidos pelos usuários (JABBAN et. al., 2022; BATTRAW, YOUNG, JOINER, SCHOFIELD, 2022; BRACK, AMALU, 2021; EDMONDSON, CANCIO e YANCOSEK, 2020; SCHOFIELD et. al., 2019; ESPINOSA, NATHAN-ROBERTS, 2019; YAMAMOTO et. al., 2019; DREW et. al., 2017; CORDELLA et. al., 2016; BIDDISS, CHAU, 2007). É curioso, no entanto, a existência de pacientes que, mesmo utilizando próteses semelhantes àquelas abandonadas, não sentem dores e o peso não é incômodo. Isso se deve, dentre outros motivos, à demora para o primeiro contato com a prótese, pois o indivíduo amputado passa a desenvolver e se acostumar a adaptações no cotidiano, de modo que o dispositivo ortopédico seja estranho, causando desconforto (COPELAND et. al., 2022). Ademais, este pode ser um dos motivos para que os níveis de rejeição sejam maiores em crianças do que adultos, como é observado nas taxas de abandono de próteses mioelétricas, sendo 35% e 23%, respectivamente (BIDDISS, CHAU, 2007).

Ainda, algumas pessoas também notaram problemas de pele no coto, causando coceira e formigamento (ESPINOSA, NATHAN-ROBERTS, 2019; YAMAMOTO et. al., 2019). Esses sintomas ficaram mais evidentes no verão, devido ao calor e suor que acabam por irritar a derme (EDMONDSON, CANCIO e YANCOSEK, 2020). Além disso, foram relatadas diversas questões envolvendo a prótese em si, como o funcionamento insuficiente, que acaba por não suprir todas as necessidades dos usuários. Isso ocorre pois o membro superior humano é bastante complexo, e até então nenhuma prótese foi capaz de reproduzir completamente todos as habilidades dele. Nesse âmbito, enquadram-se a pouca rotação de punho (KARRENBACH et. al., 2022;

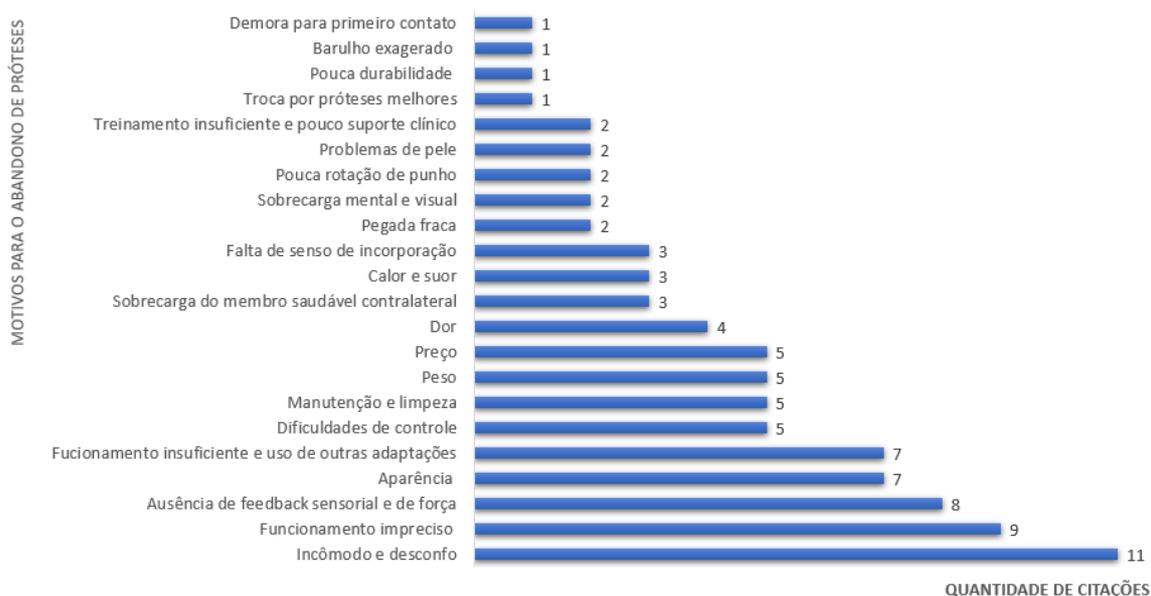


BIDDISS, CHAU, 2007) e a pegada fraca, que não oferece segurança para segurar os objetos firmemente (WIDEHAMMAR et. al., 2017; BIDDISS, CHAU, 2007). Também, ressalta-se o mecanismo impreciso, uma vez que o usuário deseja executar um movimento e o dispositivo não corresponde, não podendo confiar na prótese, principalmente pois não tem a noção tátil necessária para realizar certas atividades (JABBAN et. al., 2022; WELLS et al., 2022; BRACK, AMALU, 2021; SALMINGER et. al., 2019; SCHOFIELD et al., 2019; WIDEHAMMAR et. al., 2017; CORDELLA et. al., 2016; VUJAKLIJA, FARINA, ASZMANN, 2016).

Com isso, a ausência de feedback sensorial apresenta-se como um fator determinante para a rejeição protética, uma vez que a sua ausência demanda maior atenção visual, sobrecarregando mentalmente o usuário, o qual deve focar completamente em apenas uma tarefa, sendo algo bastante exaustivo e inviável para o contexto multitarefa da atualidade (WELLS et. al., 2022; JABBAN et. al., 2022; MOORE et. al., 2021; ROSSI et. al., 2019; CUBEROVIC et. al., 2019; BIDDISS, CHAU, 2007). Outrossim, especialmente para crianças e mulheres, o aspecto estético da prótese é bastante desagradável e, associado à pressão social e discriminação, provoca o desuso (BRACK, AMALU, 2021; LAFFRANCHI et. al., 2020; WIDEHAMMAR et. al., 2017; CORDELLA et. al., 2016). Por fim, o custo – tanto para adquirir um dispositivo, quanto para a sua manutenção – é bastante elevado, e acaba por acarretar o abandono (COPELAND et. al., 2022; BRACK, AMALU, 2021; ESPINOSA, NATHAN-ROBERTS, 2019; BIDDISS, CHAU, 2007).

O Gráfico 1 ilustra os principais motivos, encontrados na revisão da literatura, que levam ao abandono de próteses.

Gráfico 1 – Desafios para evitar o abandono de próteses



Fonte: Os autores

#### IV. CONCLUSÃO

Diante da crescente demanda de próteses de membro superior, compreender os motivos que levam ao abandono desses dispositivos é crucial para melhorar a qualidade de vida dos pacientes. Nesse contexto, a revisão sistemática da literatura se mostra uma

ferramenta valiosa para identificar as principais razões para o abandono das próteses. Com base nos estudos analisados, foi possível verificar que a falta de conforto, a limitação funcional e as dificuldades em realizar atividades cotidianas são algumas das principais causas de abandono. Desse modo, é fundamental que o PDP considere esses aspectos e apresente soluções que possam melhorar a aceitação e a efetividade das próteses de membro superior e conseqüentemente a satisfação do usuário final.

## V. REFERÊNCIAS

BATTRAW, M. A.; YOUNG P. R.; JOINER W. M.; SCHOFIELD J. S. **A multiarticulate pediatric prosthetic hand for clinical and research applications.** *Frontiers in Robotics and AI*, v. 9, 28 out. 2022.

BIDDISS, E. A.; CHAU, T. T. **Upper limb prosthesis use and abandonment: A survey of the last 25 years.** *Prosthetics and Orthotics International*, v. 31, n. 3, p. 236–257, set. 2007.

BRACK, R.; AMALU, E. H. **A review of technology, materials and R&D challenges of upper limb prosthesis for improved user suitability.** *Journal of orthopaedics*, v. 23, p. 88–96, 2021.

COPELAND, C.; REYES C. C.; PECK J. L.; SRIVASTAVA R.; ZUNIGA J. M. **Functional performance and patient satisfaction comparison between a 3D printed and a standard transradial prosthesis: a case report.** *BioMedical Engineering OnLine*, v. 21, p. 7, 29 jan. 2022.

CORDELLA, F.; CIANCIO A. L.; SACCHETTI R.; DAVALLI A.; CUTTI A. G.; GUGLIELMELLI E.; ZOLLO L. **Literature Review on Needs of Upper Limb Prosthesis Users.** *Frontiers in Neuroscience*, v. 10, 12 maio 2016.

CUBEROVIC, I.; GILL A.; RESNIK L. J.; TYLER D. J.; GRACZYK E. L. **Learning of Artificial Sensation Through Long-Term Home Use of a Sensory-Enabled Prosthesis.** *Frontiers in Neuroscience*, v. 13, 21 ago. 2019.

DREW, A. J.; Izykowski M. T.; BACHUS K. N.; HENNINGER H. B.; BO FOREMAN K. **Transhumeral loading during advanced upper extremity activities of daily living.** *PLOS ONE*, v. 12, n. 12, p. e0189418, 19 dez. 2017.

EDMONDSON, A. E.; CANCIO, J. M.; YANCOSEK, K. E. **Modified Constraint-Induced Movement Therapy for persons with unilateral upper extremity amputation: A case report.** *Journal of hand therapy: official journal of the American Society of Hand Therapists*, v. 33, n. 4, p. 587–592, 2020.

ESPINOSA, M.; NATHAN-ROBERTS, D. **Understanding Prosthetic Abandonment.** *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, v. 63, n. 1, p. 1644–1648, nov. 2019.

JABBAN, L.; METCALFE B. W.; RAINES J.; ZHANG D.; AINSWORTH B. **Experience of adults with upper-limb difference and their views on sensory feedback for prostheses: a mixed methods study.** *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, v. 19, n. 1, 23 jul. 2022.

KARRENBACH, M.; BOE D.; SIE A.; BENNETT R.; ROMBOKAS E. **Improving Automatic Control of Upper-Limb Prosthesis Wrists Using Gaze-Centered Eye Tracking and Deep Learning.** *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, v. 30, p. 340–349, 2022.

KERVER, N.; VAN TWILLERT S.; MAAS B.; VAN DER SLUIS C. K. **User-relevant factors determining prosthesis choice in persons with major unilateral upper limb defects: A meta-synthesis of qualitative literature and focus group results.** PLOS ONE, v. 15, n. 6, p. e0234342, 30 jun. 2020.

LAFFRANCHI, M.; BOCCARDO N.; TRAVERSO S.; LOMBARDI L.; CANEPA M.; LINCE A.; SEMPRINI M.; SAGLIA J. A.; NACERI A.; SACCHETTI R.; GRUPPIONI E.; DE MICHELI L. **The Hannes hand prosthesis replicates the key biological properties of the human hand.** Science Robotics, v. 5, n. 46, 23 set. 2020.

MOORE, C. H.; CORBIN S. F.; MAYR R.; SHOCKLEY K.; SILVA P. L.; LORENZ T. **Grasping Embodiment: Haptic Feedback for Artificial Limbs.** Frontiers in Neurorobotics, v. 15, 26 maio 2021.

ROSSI, M.; BIANCHI M.; BATTAGLIA E.; CATALANO M. G.; BICCHI A. **HapPro: A Wearable Haptic Device for Proprioceptive Feedback.** IEEE Transactions on Biomedical Engineering, v. 66, n. 1, p. 138–149, jan. 2019.

SALMINGER, S.; STURMA A.; HOFER C.; EVANGELISTA M.; PERRIN M.; BERGMEISTER K. D.; ROCHE A. D.; HASENOEHRL T.; DIETL H.; FARINA D.; ASZMANN O. C. **Long-term implant of intramuscular sensors and nerve transfers for wireless control of robotic arms in above-elbow amputees.** Science Robotics, v. 4, n. 32, 17 jul. 2019.

SCHOFIELD, J. S.; SCHOEPP K. R. STOBBE M.; MARASCO P. D.; HEBERT J. S. **Fabrication and application of an adjustable myoelectric transhumeral prosthetic socket.** Prosthetics & Orthotics International, v. 43, n. 5, p. 564–567, out. 2019.

VUJAKLIJA, I.; FARINA, D.; ASZMANN, O. **New developments in prosthetic arm systems.** Orthopedic Research and Reviews, v. Volume 8, p. 31–39, jul. 2016.

WELLS, E. D.; SHEHATA, A. W.; DAWSON, M. R.; CAREY, J. P.; HEBERT, J. S. **Preliminary Evaluation of the Effect of Mechanotactile Feedback Location on Myoelectric Prosthesis Performance Using a Sensorized Prosthetic Hand.** Sensors, v. 22, n. 10, p. 3892, 21 maio 2022.

WIDEHAMMAR, C.; PETTERSSON I.; JANESLÄTT G.; HERMANSSON L. **The influence of environment: Experiences of users of myoelectric arm prosthesis—a qualitative study.** Prosthetics and Orthotics International, v. 42, n. 1, p. 28–36, 4 maio 2017.

YAMAMOTO, M.; CHUNG K. C.; STERBENZ J.; SHAUVER M. J.; TANAKA H.; NAKAMURA T.; OBA J.; CHIN T.; HIRATA H. **Cross-sectional international multicenter study on quality of life and reasons for abandonment of upper limb prostheses.** Plastic and reconstructive surgery. Global open, v. 7, n. 5, p. e2205, 2019.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

## VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ e à PUC-PR pelo apoio à pesquisa.

## VII. COPYRIGHT

Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

## REQUISITOS PARA MELHOR EFETIVIDADE DE PRÓTESES DO MEMBRO SUPERIOR

### *REQUIREMENTS FOR BETTER EFFECTIVENESS OF UPPER LIMB PROSTHESES*

Amanda Lacerda SANTOS<sup>1</sup>  
Osiris CANGIOLIERI JUNIOR<sup>2</sup>  
Adriana de Paula SANTOS<sup>3</sup>  
Kelulin Good ROGESKI<sup>4</sup>

**Resumo** – Mais de um bilhão de pessoas no mundo apresentam algum tipo de deficiência, sendo que cerca de 200 milhões apresentam dificuldades funcionais consideráveis, muitas necessitando de próteses (OMS, 2012). Neste contexto, o objetivo da pesquisa foi investigar o desempenho da fase de pós-manufatura de próteses humanas de membro superior buscando identificar os requisitos que geram valor para o usuário final a fim de contribuir para o Processo de Desenvolvimento Integrado desse Produto. Para tanto, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura. Foi utilizado o Portal de Periódicos da CAPES visando identificar os requisitos que os usuários identificam como necessários para as próteses de membros superior. Para tal propósito, foram usadas como palavras chaves os termos “prosthesis”, “upper limb” e “requirements”. Foram buscados artigos em inglês publicados nos últimos 10 anos. A pesquisa retornou 71 artigos. Após leitura do título e resumo, foram selecionados 34 artigos, onde 29 selecionados e lidos integralmente. O resultado da pesquisa aponta que 80% dos requisitos para melhora das próteses do membro superior abordam a necessidade de peso leve, simplicidade no seu controle, feedback sensorial e motor, alta flexibilidade, alta precisão, reconhecimento de padrões, baixo custo e possibilidade de mover dedos individualmente. Com os requisitos identificados por meio da RSL agregados aos resultados das próteses fornecidas atualmente pela Associação Dar as Mãos será possível propor melhorias para esses produtos visando contribuir para o aumento do uso das próteses e, conseqüentemente, redução do abandono das mesmas.

**Palavras-chave:** prótese, membro superior, requerimentos dos usuários

**Abstract** – More than one billion people in the world have some type of disability, and about 200 million have considerable functional difficulties, many requiring prostheses (OMS, 2012). In this context, the objective of the research was to investigate the performance of the post-manufacturing phase of human upper limb prostheses, seeking to identify the requirements that generate value for the end user in order to contribute to the Integrated

<sup>1</sup> Graduanda em Medicina (PUC-PR); Contato: amandyta2004@gmail.com.

<sup>2</sup> Doutor em Automação da Manufatura (Loughborough University; Docente do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PUC-PR). Contato: osiris.cangioli@pucpr.br.

<sup>3</sup> Doutora em Engenharia Civil (UFSC); Docente do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (UFPR). Contato: adrianapls@ufpr.br.

<sup>4</sup> Graduanda em Medicina (PUC-PR); Contato: kelulinrogeski@hotmail.com.

*Development Process of this Product. For that, a Systematic Literature Review was carried out. The CAPES Periodicals Portal was used to identify the requirements that users identify as necessary for upper limb prostheses. For that, the terms “prosthesis”, “upper limb” and “requirements” were used as keywords. Articles in English published in the last 10 years were searched. The search returned 71 articles. After reading the title and abstract, 34 articles were selected, where 29 were selected and read in full. The result of the research indicates that 80% of the requirements for improving upper limb prostheses address the need for light weight, simplicity in its control, sensory and motor feedback, high flexibility, high precision, pattern recognition, low cost and the possibility of moving fingers individually. With the requirements identified through the RSL added to the results of the prostheses currently supplied by Associação Dar as Mãos, it will be possible to propose improvements for these products in order to contribute to the increase in the use of prostheses and, consequently, to reduce their abandonment.*

*Keywords: prosthesis, upper limb, user requirements*

## I. INTRODUÇÃO

Restaurar e aumentar as capacidades humanas compensando por funções motoras reduzidas ou deficiências podem ser realizadas por diferentes abordagens, todas elas com a finalidade de devolver à pessoa envolvida algumas dessas funções. Os tipos de movimentos que valem a pena ser restaurado dependem da história pessoal e da vida do sujeito implicado.

Neste contexto, a Engenharia pode contribuir de forma significativa, pois é possível desenvolver próteses que possam contribuir para o desenvolvimento motor e funcional dos pacientes. Tal tecnologia pode ser classificada em prótese passiva e prótese ativa. A prótese passiva se subdivide em duas: a cosmética, que tem o intuito de criar um produto com as características físicas de um membro normal, e a funcional, que foca na otimização e na qualidade dos movimentos feitos pela prótese. Já a ativa se subdivide em: a de energia interna e a de energia externa. A primeira utiliza a energia do corpo e a segunda utiliza energia externa. Cordella (2016) afirma que a prótese que utiliza energia interna é complicada, pois acaba fazendo com que seus usuários parem de utilizá-la rapidamente visto que demanda muito esforço do corpo. A prótese acionada com energia externa (por exemplo uma bateria bioelétrica ou elétrica) não sobrecarrega o corpo. Normalmente são usadas em casos de focomelia, onde se pode controlar a prótese por botões externos, contudo, ela normalmente é mais cara e pesada.

Infelizmente, mesmo com uma grande disponibilidade de pesquisa a respeito de próteses do membro superior, ocorre muito abandono por seus usuários. Na literatura, as taxas médias de rejeição para o uso de próteses elétricas e acionadas pelo corpo pela população pediátrica é de 35% e 45% e para a população adulta é 23% e 26% respectivamente (HOCAOGLU, 2019). Um outro estudo mostra que apenas 37% dos amputados de membros superiores usam suas próteses regularmente a longo prazo, sendo 19% usuários ocasionais (TIELE, 2017). Mas qual a razão desse abandono? Essa acaba sendo o principal questionamento desse trabalho.

Neste contexto, a Pontifícia Universidade Católica do Paraná, via Programa de Pós-graduação em Engenharia e Sistemas – PPGEPS firmou uma parceria com a Associação Dar a Mão. Essa ONG foi criada no sentido de dar apoio para as famílias e crianças, adolescentes ou indivíduos que nasceram com Agenesia de Membros ou outras síndromes/ doenças raras, ou que sofreram amputações (Dar a mão, 2022). Dentre os serviços prestados pela Associação Dar a Mão salienta-se a produção de próteses realizada de forma gratuita e que tem o objetivo de atender as demandas de pacientes que necessitam desse produto.

Essa tarefa não é fácil! A equipe do Curso de Engenharia de Produção e Medicina da PUC PR tem como desafio aprimorar as próteses que atualmente são produzidas pela Associação Dar a Mão. As próteses atuais, assim como a maioria dos produtos disponíveis no mercado, acabam tendo movimentos lentos, com pouca flexibilidade e pouco controle, o que acaba fazendo com que muitos usuários prefiram não utilizar tal produto e viver com a falta do membro, que lhe dá mais possibilidades de movimentos.

Nesse sentido, o objetivo desse artigo foi identificar, por meio de revisão sistemática da literatura, os requisitos dos usuários em relação ao uso de próteses de membro superior a fim de aprimorar o processo de desenvolvimento desse produto.

## II. METODOLOGIA

Essa pesquisa tem a natureza aplicada, uma vez que objetiva gerar melhorias para as próteses que são fornecidas pela Associação Dar as Mãos por meio de uma rede de apoio existente que atende indivíduos com deficiências nos membros superiores. Caracteriza-se como um *Design Science Research* que, de acordo com Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015, p.57) “é a ciência que procura consolidar conhecimento sobre o projeto e desenvolvimento de soluções para melhorar sistemas existentes, resolver problemas ou, ainda, criar novos artefatos que contribuam para uma melhor atuação humana”.

A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi realizada na Base de Dados Capes Periódicos visando identificar os requisitos que os usuários identificam como necessários para as próteses de membros superior. Para tanto, foram usadas como palavras chaves: “phosthesis”, “upper limb” e “requirements”. Foram buscados artigos em inglês publicados nos últimos 10 anos. A pesquisa retornou 71 artigos. Após leitura do título e resumo, foram selecionados 34, onde 29 foram selecionados pela aderência ao tema e lidos integralmente.

## III. RESULTADOS

Ao se analisar diversos estudos de próteses do membro superior uma coisa é inegável: nenhum desses produtos são perfeitos. Destarte, é essencial olhar para os requisitos necessários para formar uma prótese de boa qualidade e aplicável para a sociedade. Dessa maneira, foi elaborado o Quadro 1 que apresenta os requisitos citados por diferentes autores encontrados na RSL realizada.

Quadro 1: Requisitos protéticos levantados

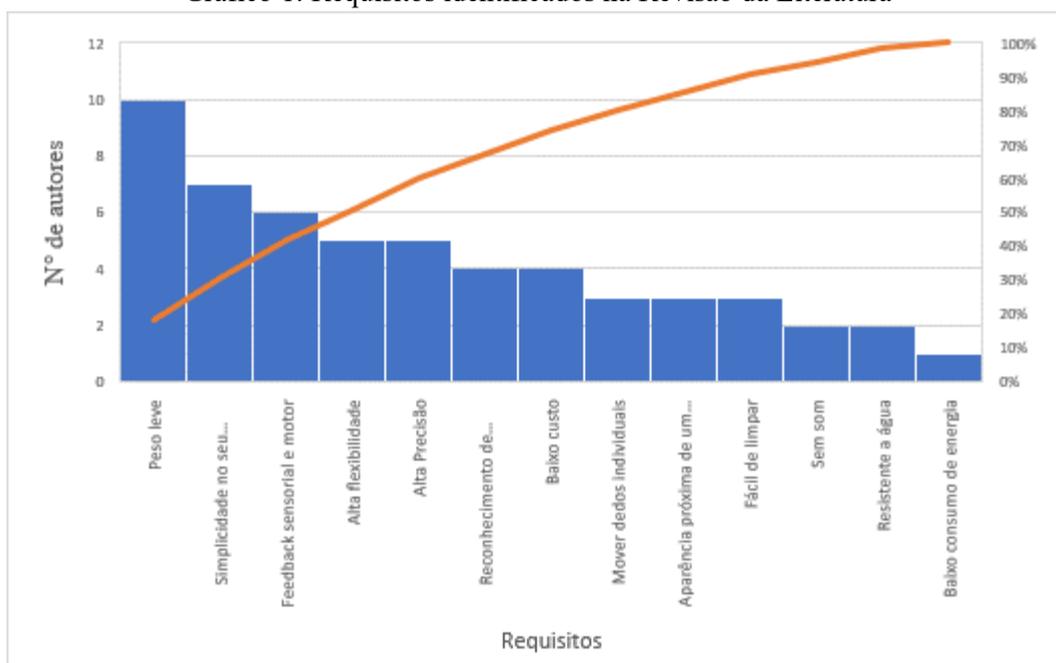
REQUISITOS	AUTORES
Peso leve	GUO et. al. (2022); GAO et. al. (2018); CASTELLINI et. al. (2015); SEKINE et. al. (2013); HOCAOGLU et. al. (2022); TREJO-LATECHIPIA et. al. (2021); MOHAMMADI et. al. (2020); SEKINE, KITA, YU (2015); DIFONZO et. al. (2020); MANZ et. al. (2022).
Alta flexibilidade	GUO et. al. (2022); GAO et. al. (2018); SEKINE et. al. (2013); TIELE et. al. (2017); DIFONZO et. al. (2020).
Reconhecimento de padrões	CORDELLA et. al. (2016); GAO et. al. (2018); CASTELLINI et. al. (2015); DOHERTY et. al. (2022).
Mover dedos individuais	HEPP, KIRSCH, CAPANNI (2015); YUNUS et. al. (2020); MOHAMMADI et. al. (2020).
Simplicidade no	GUO et. al. (2022); GAO et. al. (2018); HOCAOGLU et. al. (2022); SHAWN,

seu controle	VOLK, PROSISE (2017); HOCAOGLU, PATOGLU (2022); SEKINE, KITA, YU (2015); PEDROCCHI et. al. (2013).
Alta precisão	HEPP, KIRSCH, CAPANNI (2015); YING et. al. (2018); CASTELLINI et. al. (2015); SHAWN, VOLK, PROSISE (2017); TREJO-LATECHIPIA et. al. (2021).
Sem som	CASTELLINI et. al. (2015); MANZ et. al. (2022).
Aparência mais próxima de um membro	CASTELLINI et. al. (2015); SEKINE et. al. (2013); TREJO-LATECHIPIA et. al. (2021).
Baixo consumo de energia	CASTELLINI et. al. (2015).
Custo baixo	SHAWN, VOLK, PROSISE (2017); TREJO-LATECHIPIA et. al. (2021); SEKINE, KITA, YU (2015); PEDROCCHI et. al. (2013).
Resistente a água	SHAWN, VOLK, PROSISE (2017); MANZ et. al. (2022).
Feedback sensorial e motor	HEPP, KIRSCH, CAPANNI (2015); JIRALERSPONG et. al. (2017); OYAMA et. al. (2016); DOHERTY et. al. (2022); KRASOULIS et. al. (2017); SALEH et. al. (2019).
Fácil de limpar	SHAWN, VOLK, PROSISE (2017); SEKINE, KITA, YU (2015); MANZ et. al. (2022).

Fonte: Os autores

Baseado nos dados do Quadro 1 foi traçado o diagrama de Pareto a fim de identificar os requisitos mais citados pelos autores identificados na Revisão da Literatura realizada. Segundo Pareto, as “poucas causas” representam 80% do todo, ou seja, para melhorar um processo é importante concentrar esforços nas poucas causas significativas de um problema. No caso dos requisitos para melhora das próteses do membro superior, esse 80% são (Gráfico 1): peso leve, simplicidade no seu controle, feedback sensorial e motor, alta flexibilidade, alta precisão, reconhecimento de padrões, baixo custo e mover dedos individuais.

Gráfico 1: Requisitos identificados na Revisão da Literatura



Fonte: Os autores

#### IV. CONCLUSÃO

Com os requisitos identificados por meio da RSL agregados aos resultados das próteses fornecidas atualmente pela Associação Dar as Mãos será possível propor melhorias para esses produtos visando contribuir para o aumento do uso das próteses e, conseqüentemente, redução do abandono das mesmas.

#### V. REFERÊNCIAS

CASTELLINI, Claudio; BONGERS, NOWAK, Raoul M Markus; VAN DER SLUIS, Corry K. "**Upper-Limb Prosthetic Myocontrol: Two Recommendations.**" *Frontiers in Neuroscience* 9 (2016): 496. Web.

CORDELLA, Francesca; CIANCIO, Anna Lisa; SACCHETTI, Rinaldo; DAVALLI, Angelo; CUTTI, Andrea Giovanni; GUGLIELMELLI, Eugenio; ZOLLO, Loredana. "**Literature Review on Needs of Upper Limb Prosthesis Users.**" *Frontiers in Neuroscience* 10 (2016): 209. Web.

DAR A MÃO. **O que é Dar a Mão.** Disponível em <https://daramao.org/quem-somos/>. 2022.

DIFONZO, Erasmo; ZAPPATORE, Giovanni; MANTRIOTA, Giacomo; REINA, Giulio. "**Advances in Finger and Partial Hand Prosthetic Mechanisms.**" *Robotics (Basel)* 9.4 (2020): 80. Web.

DOHERTY, S.; BEN, L., TAMMY, M. O.; AHMET, E. "**Template Models for Simulation of Surface Manipulation of Musculoskeletal Extremities.**" *PloS One* 17.8 (2022): E0272051. Web

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JUNIOR, J. A. V. **Design Science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia.** Porto Alegre: Bookman, 2015.

GAO, B; WEI, C; MA, H; YANG, S.; MA, X.; ZHANG, S. "**Real-Time Evaluation of the Signal Processing of SEMG Used in Limb Exoskeleton Rehabilitation System.**" *Applied Bionics and Biomechanics* 2018 (2018): 1391032-6. Web.

GUO, Y.; LI, B. WANG, H.; BAI, J. "**Adaptive Control for Joint Module of Bionic Arms.**" *Journal of Physics. Conference Series* 2395.1 (2022): 012062. Web.

HEPP, D., KIRSCH, J.; CAPANNI, F. "**Smartphone Supported Upper Limb Prosthesis.**" *Current Directions in Biomedical Engineering* 1.1 (2015): 484-87. Web.

HOCAOGLU, E.; PATOGLU, V. "**SEMG-Based Natural Control Interface for a Variable Stiffness Transradial Hand Prosthesis.**" *Frontiers in Neurorobotics* 16 (2022): 789341. Web.

HOCAOGLU, E.; PATOGLU, V. "**SEMG-Based Natural Control Interface for a Variable Stiffness Transradial Hand Prosthesis.**" *Frontiers in Neurorobotics* 16 (2022): 789341. Web.

AGAMEMNON, K.; KYRANOU, I.; ERDEN, M.S.; NAZARPOUR, K.; VIJAYAKUMAR, S. "**Improved Prosthetic Hand Control with Concurrent Use of Myoelectric and Inertial Measurements.**" *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation* 14.1 (2017): 71. Web.

MANZ, S.; VALETTE, R.; DAMONTE, F.; GAUDIO, L.A.; GONZÁLEZ-VARGAS, J.; SARTORI, M.; DOSEN, S.; RIETMAN, J. "**A Review of User Needs to Drive the**



**Development of Lower Limb Prostheses."** Journal of Neuroengineering and Rehabilitation 19.1 (2022): 1-119. Web.

MOHAMMADI, A.; LAVRANOS, J.; ZHOU, H.; MUTLU, R.; ALICI, G.; TAN, Y.; CHOONG, P.; OETOMO, D. "A Practical 3D-printed Soft Robotic Prosthetic Hand with Multi-articulating Capabilities." PloS One 15.5 (2020): E0232766. Web.

OMS. **Relatório mundial sobre a deficiência.** Tradução Lexicus Serviços Linguísticos. São Paulo: Secretaria dos Direitos da Pessoa com Deficiência, 2012.

SALEH, M.; ABBASS, Y.; IBRAHIM, A.; VALLE, M. "Experimental Assessment of the Interface Electronic System for PVDF-Based Piezoelectric Tactile Sensors." Sensors (Basel, Switzerland) 19.20 (2019): 4437. Web.

SEKINE, M.; KITA, K.; YU, W. "Designing and Testing Lightweight Shoulder Prostheses with Hybrid Actuators for Movements Involved in Typical Activities of Daily Living and Impact Absorption." Medical Devices (Auckland, N.Z.) 8. Default (2015): 279-94. Web.

SEKINE, M.; SUGIMORI, K.; GONZALEZ, J.; YU, W. "Optimization-Based Design of a Small Pneumatic-Actuator-Driven Parallel Mechanism for a Shoulder Prosthetic Arm with Statics and Spatial Accessibility Evaluation." International Journal of Advanced Robotic Systems 10.7 (2013): 286. Web.

SHAWN, J.; VOLK, V.; PROSISE, J. "Novel Design for a Simple and Affordable End-Effector for an Upper-Limb Prosthesis." International Journal for Service Learning in Engineering 12.1 (2017): 62-73. Web.

TIELE, A.; SHIVAM S.; ROWBOTTOM, J.; PATEL, S.; MATHEWSON, E.; PEARSON, S.; HUTCHINS, D.; HEAD, J.; HUTCHINS, S. "Design and Development of a Novel Upper-Limb Cycling Prosthesis." Bioengineering (Basel) 4.4 (2017): 89. Web

TREJO-LETECHIPIA, M. A.; RODRIGUEZ-SANCHEZ, D.A.; GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, R.B.; PEREZ-SANPABLO, A.I.; ARIZMENDI-MORQUECHO, A.M.; CENICEROS, T.L.; CRUZ, J.B.; RAMIREZ, J.A.C. "Design and Manufacturing of a Body-Powered Hook with Force Regulation System and Composite-Based Nanomaterials." Applied Sciences 11.9 (2021): 4225. Web.

YUNUS, R.; ALI, S.; AYAZ, Y.; KHAN, M.; KANWAL, S.; AKHLAQUE, U.; NAWAZ, R. "Development and Testing of a Wearable Vibrotactile Haptic Feedback System for Proprioceptive Rehabilitation." IEEE Access 8 (2020): 35172-5184. Web.

## VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ e à PUC-PR pelo apoio à pesquisa.

## VII. COPYRIGHT

Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.