

REVISTA



SOLUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO PAÍS

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

ARTIGOS PUBLICADOS

PUBLICAÇÃO MENSAL
Nesta edição

INOVAÇÃO, EMPREENDEDORISMO E INFRAESTRUTURA PARA O DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

INNOVATION, ENTREPRENEURSHIP AND INFRASTRUCTURE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT –
Mayara Cristina Rodrigues Silva; Diana Karolyne de Araujo Rodrigues; Durval Corrêa Meirelles 08

ENVELHECIMENTO: CONSIDERAÇÕES SOCIAIS, AMBIENTAIS E SUBJETIVAS

AGING: SOCIAL, ENVIRONMENTAL AND SUBJECTIVE CONSIDERATIONS – Lucas da Silva Saúde;
Janaina Florinda Ferri Cintrão; Yolanda Aparecida de Castro Almeida 16

ANÁLISE ESTRATÉGICA PARA ATIVIDADES DE UMA INDÚSTRIA DE BIOFERTILIZANTES
SUSTENTÁVEIS POR MEIO DE ESTUDO DE CASO

STRATEGIC ANALYSIS OF THE ACTIVITIES OF A SUSTAINABLE BIOFERTILIZERS INDUSTRY
THROUGH A CASE STUDY – Natalia Girardi; Cristiano Reschke Lajús; Antônio Junior Dal Piva; Caroline
Olias; Igor Gustavo Schneider 24

LEVANTAMENTO EXPLORATÓRIO DO CONSUMO DA FARINHA DE MANDIOCA EM ÁREA INDÍGENA E
NÃO INDÍGENA NO ESTADO DE RORAIMA

EXPLORATORY SURVEY OF CASSAVA FLOUR CONSUMPTION IN INDIGENOUS AND NON-
INDIGENOUS AREA IN THE STATE OF RORAIMA – José de Anchieta Alves de Albuquerque; João Luiz
Lopes Monteiro Neto; Neide Ribeiro dos Santos; Ana Karyne Pereira Melo; Edgley Soares da Silva; Laura
Soliane Cruz Braz; Brenda Ariana Medeiros de Sousa 30

CLASSIFICAÇÃO E FATORES CONDICIONANTES DOS MOVIMENTOS DE MASSA EM TALUDES DE
CORTE NA BR 277- Balsa Nova, Paraná

CLASSIFICATION AND CONDITIONING FACTORS OF MASS MOVEMENTS ON CUT SLOPES ON BR 277
- Balsa Nova, Paraná – Isonel Sandino Meneguzzo; Henrique Simão Pontes; Andrey Gustavo Ribeiro 39

ABORDAGEM LEAN SIX SIGMA APLICADA AO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO:
PESQUISA-AÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

LEAN SIX SIGMA APPROACH APPLIED TO PRODUCTION PLANNING AND CONTROL: ACTION
RESEARCH IN CIVIL CONSTRUCTION – Bruno Lacerda Santos; Janine Nicolosi Corrêa; Adriana P. L.
Santos 46

METODOLOGIA DE VALIDAÇÃO DE ANÁLISE COMPUTACIONAL DO EFEITO DE ESTRIBOS
INCLINADOS E UHPFRC NA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE VIGAS

VALIDATION METHODOLOGY OF COMPUTATIONAL ANALYSIS OF THE EFFECT OF INCLINED
STIRRUPS AND UHPFRC ON BEAM SHEAR STRENGTH – Paulo Sergio Mota dos Santos Junior; Paulo
Victor Prazeres Sacramento; Vítor Hugo Lopes Branco; Denio Ramam Carvalho de Oliveira 57

INOVAÇÃO PARA REDUZIR O USO DO AR-CONDICIONADO: EXPLORANDO PROTÓTIPOS DE
MATERIAIS PARA UM RESFRIAMENTO SUSTENTÁVEL

INNOVATION TO REDUCE AIR CONDITIONING USAGE: EXPLORING MATERIAL PROTOTYPES FOR
SUSTAINABLE COOLING – Luana Ribeiro Pinheiro; João Dalton Daibert 69

ANÁLISE DE VULNERABILIDADE EM LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA

VULNERABILITY ANALYSIS IN POWER TRANSMISSION LINES – Murilo Almeida Evaristo; Valdomiro Vega García; Marcos Rosa dos Santos	82
CONSIDERAÇÕES GERAIS E DE CONTOURNO APLICADAS NA METODOLOGIA PARA MODELAGEM DE MÁQUINAS ELÉTRICAS, VISANDO A ANÁLISE DE FENÔMENOS TRANSITÓRIOS DE CURTA DURAÇÃO	
GENERAL AND CONTOUR CONSIDERATIONS APPLIED IN THE METHODOLOGY FOR MODELING ELECTRIC MACHINES, IN THE ANALYSIS OF TRANSIENT PHENOMENA – Clóvis José da Silva; Wagner Pimentel; Mauricio Vilela Gue	90
MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS DE ALTA TENSÃO – LINHAS DE TRANSMISSÃO COM FOCO NA ANÁLISE DO HISTÓRICO E TIPOS DE MANUTENÇÕES REALIZADAS – EFEITO PANDEMIA	
MAINTENANCE OF HIGH VOLTAGE ELECTRICAL EQUIPMENT – TRANSMISSION LINES; ANALYSIS OF HISTORY AND TYPES OF MAINTENANCE PERFORMED – PANDEMIC EFFECT – Clóvis José Da Silva; Wagner Pimentel; Mauricio Vilela Guerra	101
REVISÃO DE LITERATURA: POTENCIALIDADES E DESAFIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE USINAS MAREMOTRIZES NO BRASIL	
LITERATURE REVIEW: POTENTIALS AND CHALLENGES FOR THE IMPLEMENTATION OF TIDAL POWER PLANTS IN BRAZIL – Gabriel Idalécio A. S. Silva; Ricardo José Bellam	112
DIGITAL TWIN FROM A MAINTENANCE PERSPECTIVE - CORRELATION AND BARRIERS	
GEMEO DIGITAL SOBRE A PERSPECTIVA DA MANUTENÇÃO – CORRELAÇÕES E BARREIRAS – Alexandre Helmann; Ricardo Pacheco Leal Junior; André Luiz Micosky; Fernando Deschamps; Eduardo de Freitas Rocha Lour	129
DIGITAL TWIN ORIENTADO À CADEIAS DE SUPRIMENTOS DE MANUFATURA NA INDÚSTRIA 4.0: FRAMEWORK DE IMPLEMENTAÇÃO DO GÊMEO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DIGITAL	
DIGITAL TWIN ORIENTED FOR MANUFACTURING SUPPLY CHAINS IN INDUSTRY 4.0: DIGITAL SUPPLY CHAIN TWIN IMPLEMENTATION FRAMEWORK – Pedro Tondela de Jesus Correia Filho; Osiris Canciglieri Júnior	136
3D RECONSTRUCTION BASED ON PHOTOGRAMMETRY FOR MIXED REALITY IN INTERACTIVE SIMULATION VIRTUAL ENVIRONMENTS	
PARA REALIDADE MISTA EM AMBIENTES VIRTUAIS DE SIMULAÇÃO INTERATIVA – Marcelo Rudek; Drayan Silva Magalhães	148



Edição 214 de outubro 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, UNIVESP.
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 Fertoni, 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
 Fabrício Moraes de Almeida – UNIR



SOLUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO PAÍS

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

Vol. 18 – N° 214 – OUTUBRO/ 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.

Em outubro, a edição é composta por 15 artigos, das mais variadas áreas do conhecimento humano. Nesse interim, cabe ressaltar que, além de contribuir para o desenvolvimento nos setores da engenharia e da saúde, a ciência pode dialogar com questões políticas, econômicas, sociais e humanas. Essa reflexão é indispensável, em especial neste momento, em que o mundo está alerta com os conflitos no Oriente Médio, que pode desencadear diversos problemas.

Boa leitura

Prof. Dr. Paulo Jonas dos Santos Júnior

Editor Adjunto – Revista SODEBRAS

Área: Ciências Humanas e Sociais

6-2	INOVAÇÃO, EMPREENDEDORISMO E INFRAESTRUTURA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL INNOVATION, ENTREPRENEURSHIP AND INFRASTRUCTURE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT Mayara Cristina Rodrigues Silva; Diana Karolyne de Araujo Rodrigues; Durval Corrêa Meirelles
7-2	ENVELHECIMENTO: CONSIDERAÇÕES SOCIAIS, AMBIENTAIS E SUBJETIVAS AGING: SOCIAL, ENVIRONMENTAL AND SUBJECTIVE CONSIDERATIONS Lucas da Silva Saúde; Janaina Florinda Ferri Cintrão; Yolanda Aparecida de Castro Almeida

INOVAÇÃO, EMPREENDEDORISMO E INFRAESTRUTURA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

INNOVATION, ENTREPRENEURSHIP AND INFRASTRUCTURE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Mayara Cristina Rodrigues Silva¹
Diana Karolyne de Araujo Rodrigues²
Durval Corrêa Meirelles³

Resumo – *A pesquisa buscou explorar o crescimento de empresas de base tecnológica e a importância das incubadoras dentro desse novo contexto econômico e empresarial. Em particular, o estudo tem o objetivo de avaliar a importância do suporte oferecido por elas, em uma perspectiva da criação de empresas inovadoras e mais sustentáveis.*

Palavras-chave: *Ambiente Inovador e Desenvolvimento Sustentável.*

Abstract - *The research sought to explore the growth of technology-based companies and the importance of incubators within this new economic and business context. In particular, the study aims to evaluate the importance of the support offered by them, from a perspective of creating innovative and more sustainable companies.*

Keywords: *Innovative Environment and Sustainable Development.*

I. INTRODUÇÃO

O ambiente empresarial tem apresentado grandes transformações nos últimos anos, influenciadas, de um lado, pelo grande avanço tecnológico e pela integração comercial provocada pela globalização, e por outro, pelas novas técnicas de gestão empresarial. Estes fatos proporcionam inovações tanto em produtos quanto em processos, como na forma de governança nas empresas. Isto ocorre pela utilização de forma massiva das novas tecnologias pelas empresas, como por exemplo, a substituição dos meios de produção por robôs ou softwares inteligentes, ou mesmo na transformação de um negócio real em virtual.

A sustentabilidade é constituída por três pilares: econômico, sustentável e ambiental. Há um quarto pilar chamado inovação, que está diretamente ligada ao fator

¹ Aluna do Curso de Administração da Universidade Veiga de Almeida. Contato:

² Aluna do Curso de Administração da Universidade Veiga de Almeida. Contato:

³ Professor da Area de Gestão da Universidade Veiga de Almeida. Contato: Durval.Meirelles@uva.br

econômico. Nesse caso as empresas propõem outras formas de produção e consumo, pois incluem a responsabilidade social e o impacto de suas ações no mundo contemporâneo.

Há um apelo da sociedade sobre o desenvolvimento sustentável. Para fazer parte de uma incubadora de empresas ou aceleradoras, a empresa precisa ter um compromisso permanente com a inovação e a sustentabilidade. Portanto, esta pesquisa buscou explorar o crescimento de empresas de base tecnológica e a importância das incubadoras dentro desse novo contexto econômico e empresarial. Em particular, a pesquisa tem o objetivo de avaliar a importância do suporte oferecido, notadamente a infraestrutura tecnológica e a proximidade com a Universidade.

O referencial teórico foi baseado nos autores considerados neoschumpeterianos, que inspirados nas ideias de Schumpeter desenvolvem e expandem suas teorias para entender melhor o papel da inovação e da mudança tecnológica na economia moderna. Também inclui autores do empreendedorismo sustentável e que estão analisando o momento empresarial à luz dos novos paradigmas tecnológicos e seus impactos nas organizações. Destacam-se autores que trabalhem os aspectos ligados à inovação tecnológica, empreendedorismo e incubadoras de empresas.

II. METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa é quantitativa e qualitativa. Segundo Gil(2017) a pesquisa quantitativa explica que os dados são quantificados e transformados em dados estatísticos. No contexto da pesquisa qualitativa, o autor discute as questões mais importantes coletadas por entrevistas, e a interpretação das respostas.

A pesquisa de campo foi descritiva e exploratória, destinando-se a investigar até que ponto a parceria com a universidade e o processo de interação e cooperação das empresas incubadas e aceleradas vêm trazendo resultados positivos em termos de criação de novos produtos ou serviços inovadores, mais sustentáveis ambientalmente.

Para tal, a proposta procurará avaliar, o processo de inovação através do aprendizado coletivo e os resultados obtidos por empresas/startups de base tecnológica, instaladas nas incubadoras de empresas da COPPE-UFRJ e na GENESIS da PUC, localizadas no Rio de Janeiro.

O estudo envolveu pesquisa de campo, com envio de questionário aos gestores das empresas incubadas, e entrevistas com o principal sócio empreendedor, ressaltando os aspectos ligados à inovação, cooperação, aprendizado e sustentabilidade.

III. RESULTADOS

Nesta parte, são apresentados os resultados obtidos a partir da pesquisa realizada com as empresas selecionadas. De acordo com as normas éticas e a confidencialidade, não foram divulgados os nomes verdadeiros das empresas. Além disso, foram apresentados gráficos, tabelas e as respostas dadas pelos empreendedores e gestores das empresas. A interpretação dos dados ajuda a responder as questões da pesquisa e contribui para atender os objetivos da pesquisa.

2.1 - Dados Cadastrais das Empresas Respondentes

As questões de 1 a 4 foram respondidas pelas empresas A, B, C, D, E, F, G, H, pelos seus representantes, denominados, Diretor Fundador, CEO, Presidente, Fundador e Gestor e Sócio Fundador e Diretor de pesquisa e Inovação. A maioria das empresas foi fundada no período entre agosto de 2017 e março de 2021, portanto as mais antigas estão há quatro anos no processo de incubação. A maior parte delas são classificadas

como microempresa e a origem do capital controlador e o perfil do sócio fundador são 100% nacionais.

Aspectos Qualitativos

1 - Qual a importância da empresa incubada para a inovação?

A incubadora oferece treinamento e consultoria que são fundamentais para indicar as tendências e modelos de inovação. Além disso, a rede de parceiros (outras *startups* incubadas, professores, executivos do mercado) também são muito úteis.

2 - De quem a empresa utiliza mais informações? Cooperação, Incubadora, da Universidade?

As empresas utilizam ao máximo todas as informações disponíveis, sejam aqueles adquiridos pelos nossos colaboradores, ou aqueles dados pela incubadora e da universidade. Entretanto, a maior fonte de informações para a empresa é sem dúvidas os bancos de patentes, como do INPI, instituições europeias e norte americanas de patentes, além das bases de artigos científicos como o Scopus e Web of Science.

3 - Existe treinamento para os funcionários? Se sim, que tipo?

Nas empresas incubadas o ritmo de aprendizado ocorre tipo mão na massa em tempo real através da descoberta. Muito raramente ocorre através de um treinamento formal, pois este formato tende a ser realizado quando existe um sistema e processos conhecidos e estáveis, realidade pouco frequente em *startups*. A incubadora oferece um pacote de consultorias em áreas como finanças, jurídico e marketing em que todos da equipe da startup participam. As empresas recebem mentoria, tem acesso a eventos do setor (feiras de negócios, festivais etc.) que também colaboram para o desenvolvimento profissional da equipe.

4 - Quais são as ações das empresas com relação a introdução das inovações de sustentabilidade no mercado?

A incubadora acompanha as ações. São apresentados relatórios periódicos. Há orientação sobre inovação e sustentabilidade. Raramente uma empresa lança um produto/serviço que não esteja conectada com os princípios da sustentabilidade socioambiental.

5 - Avaliação da importância e do impacto resultante da introdução de inovações e sua importância na sustentabilidade econômica e ambiental?

A incubadora dá importância a esses temas, inclusive porque o histórico de bons resultados da maioria das empresas no passado foi baseado em inovação sustentável. A monetização dos resultados dos impactos socioambientais gerados é fundamental para a implantação do produto/serviço no mercado.

6 - Grau de importância da proximidade com as fontes de conhecimento e pesquisa?

As startups incubadas destacam como fundamental a proximidade com a universidade, porém a iniciativa de contato com outros departamentos deve ser do empreendedor. A incubadora e a universidade não realizam processos de aproximação frequentes com departamentos e laboratórios.

7 - Grau de importância ou interesse dos professores da universidade?

A parceria das empresas incubadas com os laboratórios e professores tem gerado excelentes resultados, como por exemplo quando uma empresa incubada se une a um grupo de professores para delinear um experimento, o resultado é positivo para todos.

8. Existem atividades cooperativas entre as empresas?

Normalmente os empreendedores se reúnem em encontros promovidos pela direção da incubadora e "trocam" ideias, conhecimentos, "abertura de portas"... etc... que eventualmente podem vir a gerar negócios.

9. Descrição das atividades e atores que desempenham cooperação?

Através dos encontros informais, os empreendedores debatem suas questões e dúvidas com propostas de soluções, enquanto mentores da incubadora trocam experiências e conhecimentos sobre os temas, além de auxiliar no planejamento.

10 - Grau de importância da cooperação?

Ocorre entre as empresas para a criação de sinergias.

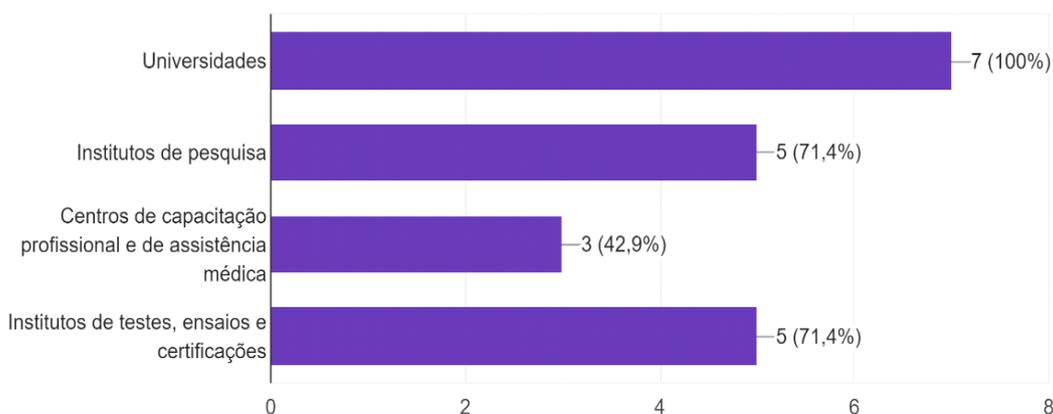
Aspectos Quantitativos

Contribuindo para responder as questões da pesquisa e para atender os objetivos do estudo, observa-se como exemplo no gráfico cinco abaixo, a importância do impacto dos novos produtos sustentáveis. Além disso, o gráfico sete mostra que esses novos produtos sustentáveis aumentam a competitividade das empresas, abrem novos mercados, permitem a redução do consumo de energia e reduzem o impacto sobre o meio ambiente.

Seguem a seguir os resultados da pesquisa quantitativa:

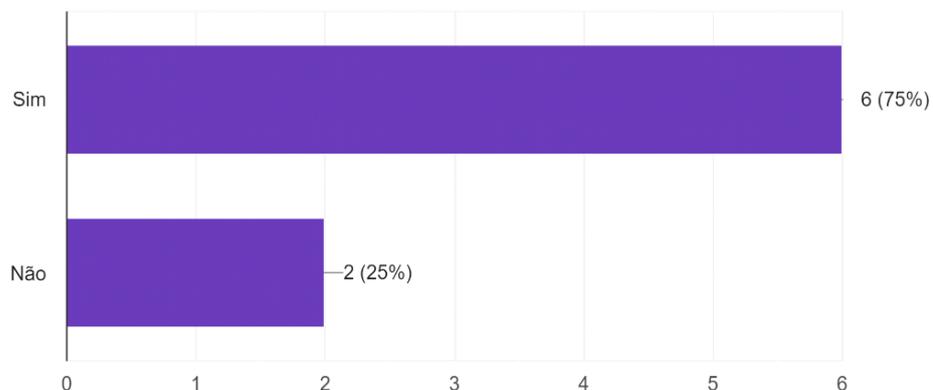
1. A empresa utiliza informações e ou conhecimentos das seguintes instituições científico-tecnológicas?

7 respostas



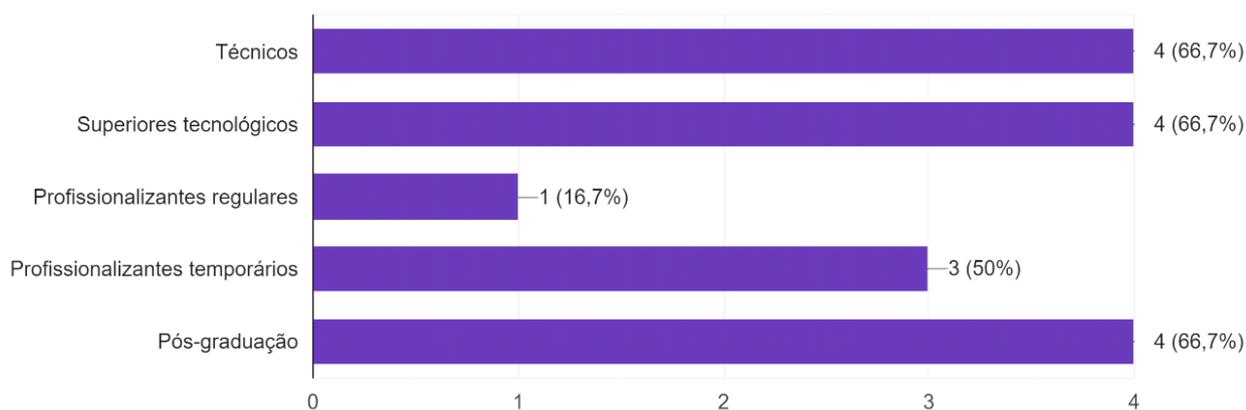
2. A empresa utiliza a infraestrutura educacional (cursos oferecidos) local?

8 respostas



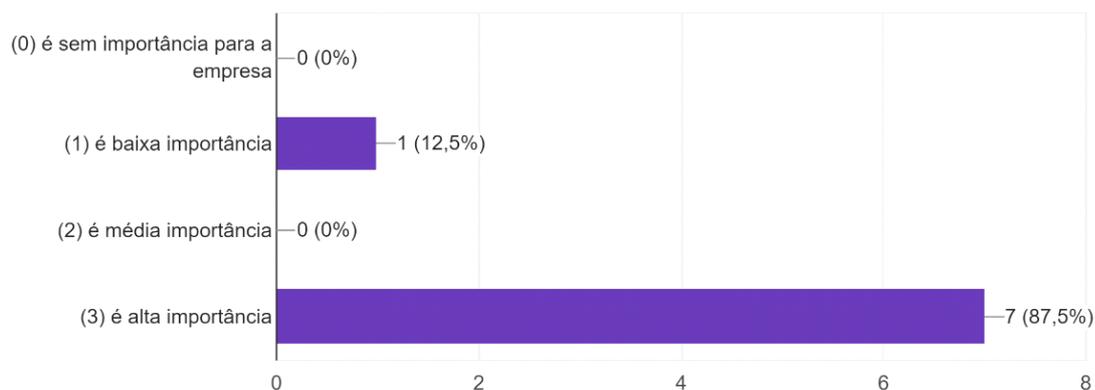
3. (Em caso afirmativo) Que tipos de cursos são mais utilizados pela empresa?

6 respostas

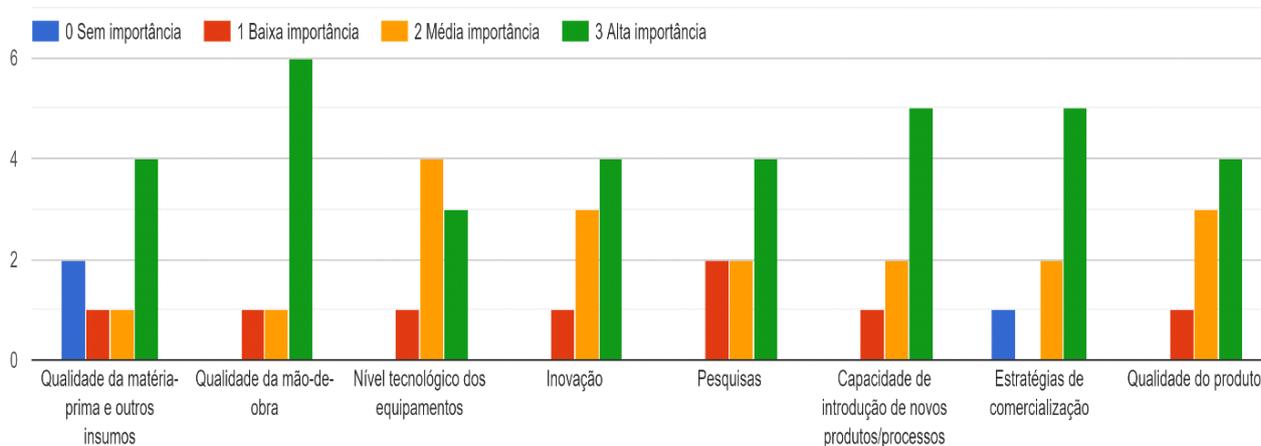


4. Qual o grau de importância para a empresa da proximidade com as fontes de conhecimento e pesquisas? Indicar o grau de importância utilizando a escala, sendo:

8 respostas

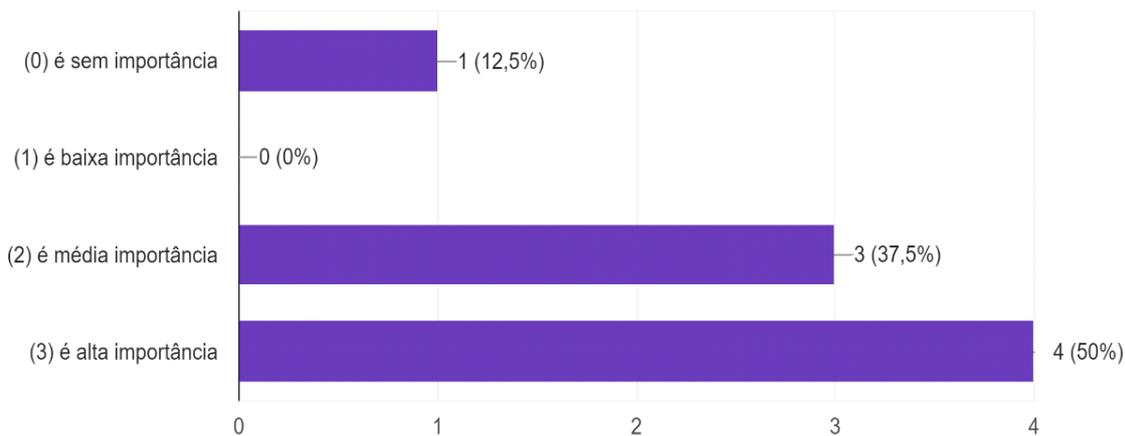


5. Quais são os fatores determinantes para manter a capacidade competitiva e de sustentabilidade do produto/serviço? Indicar o grau de importância utilizando a escala, sendo:

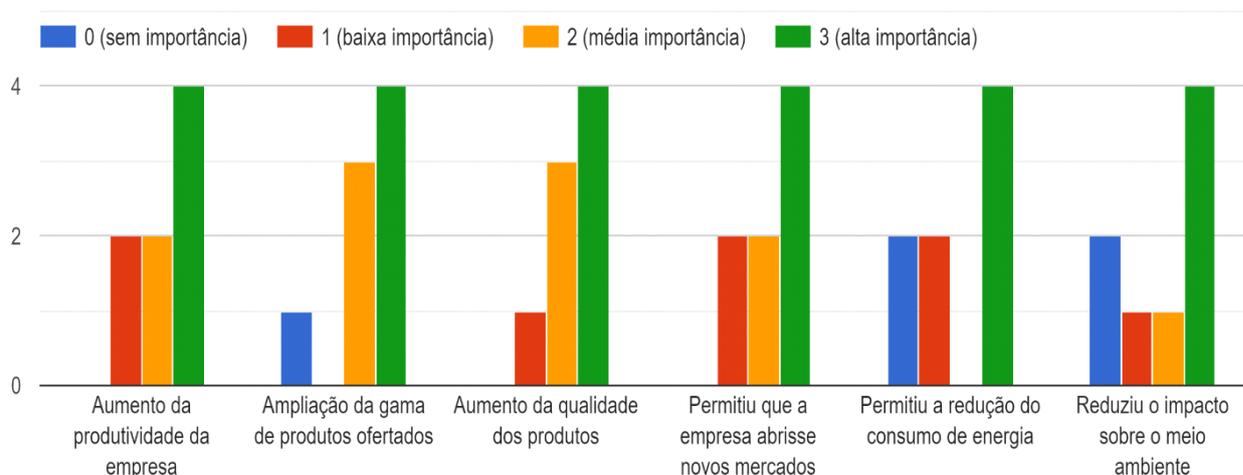


6. Qual o grau de importância da localização da empresa para promover inovação e sustentabilidade em seus produtos e/ou processos ... grau de importância utilizando a escala, sendo:

8 respostas



7. Avalie a importância do impacto resultante da introdução de inovação de empresa na sustentabilidade.



IV. CONCLUSÕES

As evidências empíricas observadas pela pesquisa de campo dos autores, realizada nas incubadoras selecionadas, corroboram que o desenvolvimento de produtos ou de processos inovadores mais sustentáveis nas empresas de base tecnológica ocorre em grande parte pelo processo de aprendizado coletivo, decorrente das relações das empresas com a universidade, da interação e cooperação entre elas e da localização da incubadora nos arredores da universidade.

Além disso, as empresas promovem a pesquisa e o desenvolvimento de produtos mais avançados tecnologicamente, abrindo espaços para inovações no mercado brasileiro. Através de práticas cooperativas e interação de empresas, além das parcerias com a universidade, surgem empresas mais capacitadas para enfrentar as adversidades do mundo contemporâneo.

Há um grande envolvimento das empresas com as atividades cooperativas, formais ou informais, sobretudo com outra(s) empresa(s) ou organização especialmente com Universidades, Institutos de pesquisa, Empresas associadas e Clientes.

Ficou claro que a Incubadora e as empresas concentram seus esforços no desenvolvimento de novos produtos e serviços focados em inovação sustentável. A monetização dos resultados dos impactos socioambientais gerados é fundamental para a implantação do produto/serviço no mercado. Essa pesquisa procurou mostrar que, grande parte das empresas incubadas tem compromisso permanente com a inovação e a sustentabilidade.

V. REFERÊNCIAS

AKABANE, Getulio K; POZO, Hamilton. **Inovação, tecnologia e sustentabilidade: histórico, conceitos e aplicações**. São Paulo: Érica, 2020.

BÁRCIA, Marcelo. **Fundamentos de Empreendedorismo**. Rio de Janeiro: Universidade Veiga de Almeida, 2014.

BESSANT, John; TIDD, Joe. **Inovação e Empreendedorismo**. 3ª Edição, Porto Alegre; Bookman, 2019

- BORGES, Candido. **Empreendedorismo Sustentável**. Rio de Janeiro: Saraiva, 2014. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento.
- GIL, Carlos A. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Editora Atlas, 6ª Edição, 2017.
- MEIRELLES, Durval C; PICANÇO, F. A.; PERIOTTO, T. R. C. **Empreendedorismo, Inovação e Startup**. 1ª Edição. Maringá: Unicesumar, 2018.
- MEIRELLES, Durval C. As Incubadoras de Empresas: Um exemplo de parceria Universidade –Empresa como estimuladora no desenvolvimento de novos produtos. **Revista Científica e Cultural da Universidade Estácio de Sá**. Ano 3, n. 4, 2000.
- MEIRELLES, Durval C. **Programas de Inovação de Empresas como Aprendizado Coletivo em um Contexto Pós-Moderno**. Gestão Estratégica da Informação e Inteligência Competitiva. São Paulo: Saraiva 2005.
- MEIRELLES, Durval C. **A Inovação e o Aprendizado Coletivo: Interação e Cooperação de Empresas de Base Tecnológica em Incubadoras de Empresas**. In: Claudio Starec. (Org.). Gestão da Informação, Inovação e Inteligência Competitiva. 1ª Edição ,São Paulo: Saraiva, 2012.
- MEIRELLES, Durval C. SALES, P. P. . A Contribuição das Aceleradoras de Negócios para as Startups. *In*: Meirelles, D.C.; PICANÇO, F. A. ; PERIOTTO, T. R. C. (Org.). **Empreendedorismo, Inovação e Startups**. 1ª Edição Maringá: Unicesumar, 2018.
- MEIRELLES, Durval C. PICANCO, F. A. ; PERIOTTO, T. R. C. **Empreendedorismo, Inovação e Startup**. 1a. ed. Maringá: Unicesumar, 2018.
- METCALFE, S. **O empreendedor e o estilo da economia moderna**. In Brasil em Desenvolvimento Vol 1 economia, tecnologia e competitividade, Orgs Ana Célia Castro & Outros, Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, Parte IV, 2005.
- SCHUMPETER, J. A . **A Teoria do Desenvolvimento Econômico**. Trad. Maria Silvia Possas, São Paulo: Nova Cultural, 1985.
- SCHUMPETER, J. A **Capitalismo, Socialismo e Democracia**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1984.
- TIDD, Joe; BESSANT, Joe; **Gestão da Inovação**. 5. Ed. Porto Alegre; Bookman, 2015.
- TIGRE, P. B. **Gestão da inovação**. A Economia da Tecnologia no Brasil. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.
- UNCED – Conferência das Nações Unidas sobre o meio Ambiente e Desenvolvimento (1992): Agenda 21 (global), em português. Ministério do Meio Ambiente – MMA Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br>> Acesso em 12 set. 2022.

VI. COPYRIGHT

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

ENVELHECIMENTO: CONSIDERAÇÕES SOCIAIS, AMBIENTAIS E SUBJETIVAS

AGING: SOCIAL, ENVIRONMENTAL AND SUBJECTIVE CONSIDERATIONS

Lucas da Silva Saúde¹
Janaina Florinda Ferri Cintrão²
Yolanda Aparecida de Castro Almeida³

Resumo – *A compreensão sobre o envelhecimento perpassa por fatores multidimensionais. Entre estas dimensões, este artigo tem como objetivo refletir sobre em que medida as variáveis sociais, ambientais e subjetivas impactam na compreensão do envelhecimento. Metodologicamente, a pesquisa abarca uma abordagem bibliográfica qualitativa, perpassando por três momentos. Primeiro, caracteriza-se o aspecto demográfico do país, considerando principalmente os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Ministério da Saúde. A seguir, são descritos os aspectos ambientais e suas implicações na saúde da pessoa idosa, fundamentando-se em Farinatti (2002), Nieman (2011) e Simielli & Tavares (2019). No terceiro momento, averigua-se o processo do envelhecimento numa perspectiva da percepção, considerando as pesquisas de Carvalho Filho (2000), Saúde (2019), Ventura (2020) e Mendes (2020). O artigo em sua conclusão aponta para possíveis soluções para se ter um envelhecimento mais saudável.*

Palavras-chave: *Envelhecimento. Variáveis Sociais. Variáveis Ambientais. Variáveis Subjetivas*

Abstract - *Understanding aging involves multidimensional factors. Among these dimensions, this article aims to reflect on the extent to which social, environmental and subjective variables impact the understanding of aging. Methodologically, the research encompasses a qualitative bibliographical approach, spanning three moments. First, the demographic aspect of the country is characterized, considering mainly data from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) and the Ministry of Health. Next, the environmental aspects and their implications for the health of elderly people are described, substantiating See Farinatti (2002), Nieman (2011) and Simielli & Tavares (2019). In the third moment, the*

¹Doutorando Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente da Universidade de Araraquara (UNIARA). Contato: lucasmith10@hotmail.com

² Doutora em Sociologia. Docente pesquisadora do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente da UNIARA. Contato: jcintrao.mestrado@uniara.com.br

³ Doutora em Tratamento da Informação Espacial. Professora Adjunta da Universidade do Estado da Bahia (UNEB). Contato: yalmeida@uneb.br

aging process is investigated from a perception perspective, considering the research by Carvalho Filho (2000), Saúde (2019), Ventura (2020) and Mendes (2020). The article in its conclusion points to possible solutions for healthier aging.

Keywords: *Aging. Social Variables. Environmental Variables. Subjective Variables*

I. INTRODUÇÃO

Embora o envelhecimento de uma população não ocorra de maneira abrupta, não se distancia na história da Brasil, o pensamento que o Brasil era um país jovem, um país do futuro. E mesmo que os dados apontassem para uma mudança etária, isto só tornou-se mais perceptível a partir do início do século XXI, quando a pirâmide etária evidenciou para um novo perfil populacional. Esta configuração exige uma responsabilidade social em relação aos cuidados que se deve ter em relação às pessoas idosas.

Para além das questões sobre a finitude do ser humano, o imaginário sobre o ser uma pessoa idosa no Brasil, perpassa pelas questões biológicas, econômicas, sociais e culturais. Embora se reconheça que compreensão sobre o envelhecimento abarca desta forma, várias dimensões, sabe-se que considerar tantas variantes envolve uma pesquisa mais ampla. Assim, ponderou-se refletir sobre o que é ser uma pessoa idosa, avaliando questões sociais, ambientais e subjetivas. Neste sentido, este trabalho examina sobre os aspectos multifatoriais do tornar-se idoso, considerando as três variáveis citadas. Justifica-se a escolha do tema por constatar os impactos ocorridos a partir das mudanças na pirâmide etária brasileira, que a cada ano apresenta uma maior proporção de pessoas idosas.

II. METODOLOGIA

Metodologicamente este trabalho abarca uma abordagem bibliográfica qualitativa, perpassando por três momentos. Em um primeiro momento, caracteriza-se o aspecto demográfico do país. A seguir descreve-se os aspectos ambientais e suas implicações na saúde da pessoa idosa e em um terceiro momento averigua-se o processo do envelhecimento numa perspectiva de perceber-se uma pessoa idosa. Finalmente, discute-se em que medida é possível compreender o envelhecimento enquanto uma abordagem multifatorial. Para a apresentação das características demográficas e sociais, foram apresentados os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Ministério da Saúde. Fundamentando-se em Farinatti (2002), Nieman (2011) e Simielli & Tavares (2019) são apresentadas relações entre as peculiaridades ambientais e a saúde da pessoa idosa. Carvalho Filho (2000), Saúde (2019), Ventura (2020) e Mendes (2020) embasam as considerações sobre as subjetividades do tornar-se uma pessoa idosa.

III. ENVELHECIMENTO: DISPARIDADES SOCIAIS, NATUREZA E SUBJETIVIDADES

A Reforma da Previdência, ocorrida em 2019 no Brasil suscitou diversas discussões sobre o envelhecimento. Algumas considerações ponderaram sobre a qualidade de vida que o brasileiro terá ao se aposentar, visto que o aumento da idade para aposentaria apresentou uma nova configuração. Considerando ser necessário compreender o perfil do topo da pirâmide etária, faz-se indispensável entender se esta potencialização do envelhecimento passou a ser percebida entre os brasileiros.

3.1 – Compreendendo a configuração do envelhecimento brasileiro

Novas molduras demográficas se configuram a cada momento. Quadro este cada vez mais distante da imagem do Brasil composto por uma população jovem, quase que estática, que aparentemente não dava sinais de envelhecimento nas quatro últimas décadas do século XX. E embora se pudesse perceber, a partir da análise das mudanças na pirâmide etária brasileira, que a média de fecundidade desde 1960 declinava, passando de 6,28 filhos por mulher naquela década, para 5,76 em 1970, 4,35 em 1980, 2,89 em 1991 e 2,38 em 2000 (IBGE,2015), não era comum se imaginar que, o último censo, em 2023, apontaria para uma taxa inferior a 2 filhos por mulher.

E se a base da pirâmide etária brasileira desde 1960 apresentava sinais de declínio, o mesmo, inversamente, ocorria com o topo da pirâmide. Se naquela década o número de idosos representava 4,7% da população, quarenta anos após, esta porcentagem atingia 8,5% da população brasileira. (IBGE,2015). Ainda de acordo com estimativas, (IBGE, 2022) a porcentagem de idosos no Brasil atingiu em 2022 a porcentagem de 15,1% da população.

É ressaltado em estudos de Ventura (2020) que a definição de idoso se difere por uma margem etária ao se considerar a idade destas pessoas em países desenvolvidos e em países subdesenvolvidos, sendo considerado idoso no primeiro caso, pessoas com mais de 60 anos e 65 em países onde o envelhecimento da população pode mascarar uma realidade.

Se os dados a princípio apontam para uma crescente semelhança demográfica em relação os países desenvolvidos, necessita-se recordar que, embora tenha ocorrido uma elevação nas taxas de desenvolvimento brasileiro nas últimas década, como se pode aferir em um destes indicadores, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), há de se constatar também que muito do aumento da taxa de envelhecimento da população é consequência mais de uma medicina curativa, avanço nas políticas de vacinação em massa, o desenvolvimento da indústria farmacêutica do que resultado de uma qualidade de vida com indicadores sociais semelhantes aos dos países desenvolvidos (BRASIL, 2019).

Além disto, também a partir da década de 1960, evidenciava sucessivamente o aumento do processo de urbanização brasileira. Paralelo a este curso, evidenciou-se o sedentarismo e o aumento da ingesta de uma dieta cada vez mais processada. Variáveis que favoreceram o aumento do número de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), como a diabetes, hipertensão, doenças cardiovasculares e obesidade. (BRASIL,2019) Muitas destas doenças por muitos anos se instalam e crescem silenciosamente, sendo percebidas nos anos finais da idade adulta e se potencializando na terceira idade. Neste sentido, avaliar este processo de mudança etária é tão necessário quanto compreender como as pessoas que estão envelhecendo percebem este movimento gradual para o envelhecimento da população (SAÚDE, 2019).

Constata-se que esta crescente proporção de idosos traz uma mudança no perfil populacional brasileiro. Considerando as questões econômicas, faz-se necessário refletir em que medida, por exemplo, o aumento das demandas no sistema público de saúde impactam nos gastos governamentais. Entretanto, ao se ponderar sobre as questões sociais, é mister avaliar sobre ser imperativo adaptar o espaço urbano em toda sua complexidade (serviços básicos, mobilidade, lazer) para atender a pessoa idosa. Sobretudo, é necessário atentar-se para as percepções que a sociedade brasileira possui sobre o envelhecimento e de que maneira é possível possibilitar uma crescente reflexão sobre o respeito necessário a esta parte da população.

3.2 – Singularidades ambientais e suas implicações na saúde da pessoa idosa

Biologicamente, o envelhecimento assinala-se pelo declínio paulatino e progressivo do corpo humano, considerando suas atribuições orgânicas e celulares. Além das mudanças relacionadas ao envelhecimento, as doenças crônicas não transmissíveis, consequências principalmente dos estilos de vida adotado ao longo dos anos, promovem uma finitude, na maior parte das vezes, dolorosa e cada vez mais dependente de terceiros para uma sobrevivência. Considerando as teorias biológicas do envelhecimento, como consequência do envelhecimento, a pessoa idosa irá responder cada vez mais devagar e menos eficaz às alterações do seu espaço tempo, em consequência da deterioração dos mecanismos fisiológicos, tornando-se cada vez mais vulnerável (FARINATTI, 2002).

Por isto, ainda que o envelhecimento compreenda mudanças biológicas e irreversíveis durante o processo etário, o envelhecimento não acontece homogeneamente em todas as pessoas e não somente as questões genéticas são responsáveis por este envelhecimento. Isto porque o ambiente vivenciado e o estilo de vida também irão intervir neste processo progressivo. E mesmo que mais lento em algumas pessoas, é inevitável. Assim, o ser humano ao envelhecer sofrerá mudanças tanto morfológicas quanto bioquímicas, fisiológicas. E todas estas mudanças irão afetar as percepções destes indivíduos (NIEMAN 2011).

Neste sentido, este processo multifatorial e interativo envolvendo fatores genéticos e ambientais depara-se com uma inversão do perfil epidemiológico. Proporcionalmente, doenças infectocontagiosas que no passado eram causas de muitas mortes, tornam-se cada vez menores diante das doenças crônicas não transmissíveis (DCNT). Com o aumento da expectativa de vida do brasileiro e o modo de vida cada vez mais urbano, reconhece-se que o estilo de vida sedentário caracterizado pelos hábitos alimentares cada vez menos naturais pela e pouca atividade física colaboram para a potencialização de doenças, como a diabetes mellitus tipo 2, obesidade, hipertensão arterial sistêmica (HAS), entre outras. Por isto, é de suma necessidade reconhecer os fatores que potencializam o desenvolvimento destas doenças (SIMIELII e TAVARES, 2019).

Compreende-se assim que, embora as questões genéticas sejam um ponto crucial para se entender o processo do envelhecimento o estilo de vida urbano e cada vez mais sedentário, potencializa a vulnerabilidade do envelhecimento. Talvez por isto, mais que identificar em que medida o sedentarismo colabora para a degradação da saúde da pessoa idosa, seja necessário principalmente compreender como estas pessoas se percebem e como percebem o espaço vivenciado por elas.

Compreender as representações, as percepções, as subjetividades destas pessoas pode colaborar também para se pensar em uma medicina da saúde, que busque evitar doenças relacionadas não somente com o envelhecimento, mas principalmente com o envelhecimento sedentário, pois é fato que com este novo perfil etário da população, aumenta também doenças como obesidade, diabetes mellitus tipo II, perda óssea e sarcopenia, hipertensão, entre outras. Doenças estas que na maior parte das vezes, estão relacionadas mais ao modo de vida da população que do envelhecimento propriamente. Compreender as representações do envelhecer corrobora para possibilidades de reflexões, permitindo um novo olhar não somente daqueles que no momento são o objeto da pesquisa, mas principalmente de uma sociedade que necessita envolver-se neste processo humano (SAÚDE, 2019, p 11).

Não é tarefa simples identificar os vários fatores que interferem em um envelhecimento saudável. E por isto, considerar as subjetividades sobre o envelhecer seja um dos possíveis caminhos para esta identificação.

3.3 – Subjetividades sobre o envelhecimento

A complexidade em se entender o envelhecimento pode ocorrer principalmente por questões culturais. Ao se indagar o que é velhice, ainda que não saibamos conceituar imediatamente, ocorre uma simplificação deste conceito.

No Brasil existem pesquisas que mostram como os próprios idosos simplificam o envelhecimento humano, exclusivamente a partir das perdas, representando o processo com predisposições desfavoráveis, estereótipos negativos e preconceitos. Medrado (1994), na cidade de Carinaíba (Bahia), encontrou representações sobre o idoso caracterizadas por conteúdos tais como: "não serve para nada, inutilidade, não vai para a frente, não tem saúde, só doença, não tem destino, não volta", etc. Em outro trabalho desenvolvido por Santos (1990), acerca da influência da aposentadoria sobre a identidade do sujeito, a pesquisadora refere que nas sociedades modernas a ênfase continua sendo dada à juventude e à capacidade de produção (VELOZ, SCHULZE, CAMARGO p.2 1999).

Neste sentido Nascimento e Guimarães (2013) salientam que até mesmo a questão econômica interfere ao se caracterizar uma pessoa idosa, muitas vezes, associando uma linguagem mais diplomática ao se referir a uma pessoa idosa de classe social mais favorecida e de forma pejorativa, quando a pessoa idosa faz parte uma classe mais vulnerabilizada economicamente. Neste sentido, até mesmo a classe social interfere nas percepções do que é ser uma pessoa idosa. Portanto discutir sobre as representações do envelhecer corrobora para possibilidades de reflexões, permitindo um novo olhar não somente daqueles que no momento são o objeto da pesquisa, mas principalmente de uma sociedade que necessita envolver-se neste processo (CARVALHO FILHO, 2000).

Conforme explanado, seja por melhores condições de vida ou por medidas paliativas, há um aumento da expectativa de vida. Barreto (2017) ressalta que diferente do que ocorreu por milênios, não se é tão difícil chegar à velhice. Isto porque segundo o autor, tanto a medicina curativa quanto preventiva e mesmo a melhora nas condições de vida da população em geral, possibilitaram a expansão da expectativa de vida.

Para além dos dados estatísticos, que podem ilustrar uma paisagem momentânea da população brasileira, é necessário compreender como os principais atores, que configuram o topo da pirâmide etária brasileira, se percebem e compreendem a espacialidade contemporânea onde estão inseridos. Esta necessidade vai ao encontro de Ventura (2020) e Mendes (2020), que concluem sobre a heterogeneidade da experiência de envelhecer, sendo uma ideia decorrente de todo o processo vivido e experienciado, inerente subjetivo. Assim as subjetividades sobre envelhecimento saudável devem ser consideradas. (SAÚDE, 2019). Neste sentido, destaca-se que a compreensão sobre qualidade de vida (QV) não considera apenas dados quantitativos.

Há uma concordância entre os autores com relação a subjetividade, valorizando as singularidades considerando as percepções dos indivíduos e a multidimensionalidade como inerentes ao construto. Dessa forma, nota-se o quanto QV é um tema difícil de se avaliar apenas com métodos quantitativos, pois cada pessoa tem uma percepção própria (VENTURA, pag. 03. 2020).

Nesta perspectiva, Mendes (2020) atenta para o risco da percepção de um envelhecimento negativo à medida que a compreensão do conceito de idoso remete ao sinônimo de vulnerabilidade acentuada pela menor mobilidade, pouca saúde e uma senescência decrépita. Discute ainda, a necessidade de uma atenção coordenada de diversos órgãos governamentais, no sentido de proporcionar uma participação mais atuante dos indivíduos idosos.

Assim, não se pode limitar o conceito de envelhecimento e também as questões multifatoriais que compreendem este processo complexo, recordando a partir de Morin (2002) que a complexidade, longe de ser algo inatingível é sim, um tecer emaranhado de significados que se entrelaçam.

IV. CONSIDERAÇÕES

O conceito envelhecer sustenta estereótipos culturalmente construídos. Neste sentido, merece a atenção o fato de alguém ser uma pessoa idosa em um país subdesenvolvido e ainda fazer parte das classes sociais mais vulnerabilizadas. Compreendendo-se que, se apenas o fato de envelhecer pode carregar a mensagem de finitude, a carga social pode concorrer para debilitação da saúde mental e física do ser humano.

Com o aumento proporcional e absoluto da população idosa, é inadiável rever a compreensão da velhice e ainda mais urgente melhorar a qualidade de vida desta população. É necessário ainda que se reflita sobre as condições sociais da população em geral. Pois ao considerar que as DCNT ocorrem de forma gradativa e em grande parte pelo modo de vida urbano, é necessário que se pense em uma educação relacionada ao bem-estar.

Desta forma, é mister compreender que o envelhecimento, processo natural e irreversível, deve ser uma preocupação das políticas públicas. Políticas estas que se atentem para o bem-estar social, físico e psicológico. É fundamental também instituir uma educação de valorização em relação aos direitos da pessoa idosa. Além disto, é necessário preparar a população, ainda precocemente, para um envelhecimento ativo, pois as mudanças comportamentais contribuem de maneira efetiva para uma melhor qualidade de vida.

As considerações apresentadas neste trabalho propõem contribuir na tese de doutorado de um dos autores deste artigo. A tese objetiva compreender o estilo de vida das pessoas idosas, considerando como estas percebem a importância da alimentação adequada, da atividade física, do controle do estresse, do comportamento preventivo e de suas relações sociais.

V. REFERÊNCIAS

BARRETO, J. **Envelhecimento e qualidade de vida: o desafio actual**. Sociologia : Revista da Faculdade de Letras da Universidade do Porto, [S. l.], v. 15, 2017. Disponível em: <https://ojs.letras.up.pt/index.php/Sociologia/article/view/2393>. Acesso em: 22.maio.2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância à Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. **Diretrizes e recomendações para o cuidado integral de doenças crônicas não-transmissíveis: promoção da saúde, vigilância, prevenção e assistência**. Brasília: Ministério da Saúde, 2019. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_recomendacoes_cuidado_doencas_cr_onicas.pdf. Acessado em 08.agosto.2023.

BRASIL IBGE **Estatísticas do século XX**. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv37312.pdf>. Acesso em: 10.07.2023

BRASIL IBGE . **Séries Históricas e Estatísticas. Famílias e Domicílios. Pessoas de referência da família, por grupos de idade. 2001 a 2015. 2015.** Disponível em: <https://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=6&op=0&vcodigo=FED311&t=pessoasreferencia-familia-grupos-idade>. Acesso em: 10.maio.2023.

BRASIL IBGE **População cresce, mas número de pessoas com menos de 30 anos cai 5,4% de 2012 a 2021.** Disponível em <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/34438-populacao-cresce-mas-numero-de-pessoas-com-menos-de-30-anos-cai-5-4-de-2012-a-2021> > Em 22.07.22. Acesso em 10.maio.23.

CARVALHO FILHO ET. **Fisiologia do Envelhecimento.** In: Papaieo Netto M, organizador. Gerontologia: a velhice e o envelhecimento em visão globalizada. São Paulo: Atheneu; 2000. p.60.

FARINATTI, Paulo de Tarso Veras. Teorias biológicas do envelhecimento: do genético ao estocástico.2002. Disponível em <https://www.scielo.br/j/rbme/a/kDdV4yj97T6pQ7gVmfy9s7B/?format=pdf&lang=pt> . Acesso em 20.julho.2023

MENDES, José. **Envelhecimento (s), qualidade de vida e bem-estar. A Psicologia em suas Diversas Áreas de Atuação,** p. 132-144, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jose-Mendes-11/publication/342365705_Envelhecimentos_qualidade_de_vida_e_bem-estar/links/5ef12f56a6fdcc73be96b4c5/Envelhecimentos-qualidade-de-vida-e-bem-estar.pdf. Acesso em: 17.junho. 2023.

NASCIMENTO, José Francisco do. GUIMARÃES. Simone de Jesus. **“Velho” ou “idoso”: Considerações acerca do envelhecimento no capitalismo mundial e brasileiro.** Revista SODEBRAS – Volume 8 – N° 90 – JUNHO/ 2013. Disponível em: <http://www.sodebras.com.br/edicoes/N90.pdf> Acesso em 20.junho.2023

NIEMAN, D. V. **Exercício e Saúde: teste e prescrição de exercícios.** Barueri: Manole, 2011.

SIMIELII, Padilha L. A. R., & TAVARES C. F. de F. (2019). **Realidade do envelhecimento populacional frente às doenças crônicas não transmissíveis.** *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, (37), e1511. <https://doi.org/10.25248/reas.e1511.2019>. Acesso em 15.julho.2023

VELOZ, Maria Cristina Triguero. SCHULZE , Clélia Maria Nascimento. CAMARGO, Brígido Vizeu, **Representações sociais do envelhecimento.** Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prc/a/VCfX7sxTFPjKYBJgnYVDbpv/?lang=pt> . Acesso em 20.julho.2023

SAUDE, Lucas da Silva. **A compreensão dos idosos teixeirenses sobre uma terceira idade saudável.** Biblioteca da Faculdade Vale do Cricaré. São Mateus, 2019.

VENTURA, C. de F. . **Envelhecimento, qualidade de vida e bem-estar subjetivo: percepções de idosos participantes de um grupo de convivência. Novas Tendências na Investigação Qualitativa,** Oliveira de Azeméis, Portugal, v. 3, p. 927-935, 2020. DOI: 10.36367/ntqr.3.2020.927-935. Disponível em: <https://www.publi.ludomedia.org/index.php/ntqr/article/view/214>. Acesso em: 18.junho.2023.

VI. COPYRIGHT

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

Área: Ciências Agrárias e Biológicas

5-1	<p>ANÁLISE ESTRATÉGICA PARA ATIVIDADES DE UMA INDÚSTRIA DE BIOFERTILIZANTES SUSTENTÁVEIS POR MEIO DE ESTUDO DE CASO</p> <p>STRATEGIC ANALYSIS OF THE ACTIVITIES OF A SUSTAINABLE BIOFERTILIZERS INDUSTRY THROUGH A CASE STUDY</p> <p>Natalia Girardi; Cristiano Reschke Lajús; Antônio Junior Dal Piva; Caroline Olias; Igor Gustavo Schneider</p>
5-1	<p>LEVANTAMENTO EXPLORATÓRIO DO CONSUMO DA FARINHA DE MANDIOCA EM ÁREA INDÍGENA E NÃO INDÍGENA NO ESTADO DE RORAIMA</p> <p>EXPLORATORY SURVEY OF CASSAVA FLOUR CONSUMPTION IN INDIGENOUS AND NON-INDIGENOUS AREA IN THE STATE OF RORAIMA</p> <p>José de Anchieta Alves de Albuquerque; João Luiz Lopes Monteiro Neto; Neide Ribeiro dos Santos; Ana Karyne Pereira Melo; Edgley Soares da Silva; Laura Soliane Cruz Braz; Brenda Ariana Medeiros de Sousa</p>
1-7	<p>CLASSIFICAÇÃO E FATORES CONDICIONANTES DOS MOVIMENTOS DE MASSA EM TALUDES DE CORTE NA BR 277- Balsa Nova, Paraná</p> <p>CLASSIFICATION AND CONDITIONING FACTORS OF MASS MOVEMENTS ON CUT SLOPES ON BR 277 - Balsa Nova, Paraná</p> <p>Isonel Sandino Meneguzzo; Henrique Simão Pontes; Andrey Gustavo Ribeiro</p>

ANÁLISE ESTRATÉGICA PARA ATIVIDADES DE UMA INDÚSTRIA DE BIOFERTILIZANTES SUSTENTÁVEIS POR MEIO DE ESTUDO DE CASO

STRATEGIC ANALYSIS OF THE ACTIVITIES OF A SUSTAINABLE BIOFERTILIZERS INDUSTRY THROUGH A CASE STUDY

Natalia Girardi¹
Cristiano Reschke Lajús²
Antônio Junior Dal Piva³
Caroline Olias⁴
Igor Gustavo Schneider⁵

Resumo – *O presente artigo procurou analisar a viabilidade econômica das atividades de uma indústria de biofertilizantes sustentáveis, oriundo do pó de rocha basáltica e da cama de aves, por meio de um estudo de caso. O desenvolvimento deste trabalho é de natureza descritiva e documental. O método utilizado foi embasado a partir do referencial teórico e a argumentação principal foi baseada em pesquisa bibliográfica e estudo de caso. Quanto à abordagem do problema, é majoritariamente qualitativa, é uma pesquisa de caráter exploratório e subjetivo. Os dados para a estruturação da análise foram coletados por meio de questionários estruturados, direcionados aos gestores da empresa. Foram utilizados também artigos e estudos na área como direcionamento da pesquisa. Constatou-se que as estratégias adotadas na análise de viabilidade econômica, tendem a diminuir os riscos e podem proporcionar crescimento para a organização, impulsionando as vendas do produto, de potencial econômico e social, dado que a longo prazo o seu uso é benéfico ao meio ambiente.*

Palavras-chave: *Biofertilizante. Viabilidade. Sustentabilidade.*

Abstract - *The present article sought to analyze the economic viability of the activities of a sustainable biofertilizer industry, derived from rock dust and poultry litter, through a case study. The development of this work is of a descriptive and documentary nature. The method used was based on the theoretical framework and the main argument was based on*

¹ Acadêmica em Economia - Unochapecó. Contato: girardinatalia@unochapeco.edu.br.

² Engenheiro Agrônomo; Doutor em Agronomia (Produção Vegetal) - UPF; Docente do PPTI - Unochapecó. Contato: clajus@unochapeco.edu.br.

³ Engenheiro Agrônomo; Mestre em Tecnologia e Gestão da Inovação - Unochapecó. Contato: agrodalpiva@gmail.com.

⁴ Engenheira Agrônoma; Especialista em Direito Ambiental; Mestranda em Tecnologia e Gestão da Inovação - Unochapecó. Contato: caroline.olias@unochapeco.edu.br.

⁵ Engenheiro Agrônomo; Mestrando em Tecnologia e Gestão da Inovação - Unochapecó. Contato: igorgustavo@unochapeco.edu.br.

bibliographical research and case study. As for the approach to the problem, it is mostly qualitative, it is an exploratory and subjective research. The data for structuring the analysis were collected through structured questionnaires, directed to the company's managers. Articles and studies in the area were also used as a research direction. It was found that the strategies adopted in the economic feasibility analysis, tend to reduce risks and will provide growth for the organization, boosting product sales, which, adds economic and social potential, given that in the long term, its use is beneficial to the environment.

Keywords: *Biofertilizer. Feasibility. Sustainability.*

I. INTRODUÇÃO

Este estudo utilizou a Matriz SWOT também conhecida como FOFA (técnica usada para identificar forças, oportunidades, fraquezas e ameaças com o intuito de desenvolver um plano estratégico) como ferramenta para analisar a viabilidade econômica do processo nas atividades de uma indústria de biofertilizantes sustentáveis, oriundo do pó de rocha e da cama de aves, em meio sólido, sendo estes subprodutos das principais atividades de ambos os setores (pavimentação asfáltica e avicultura), possibilitando analisar o ambiente interno e ambiente externo, funcionando com eixo para o planejamento estratégico e gestão organizacional, buscando fornecer uma conclusão da real situação e posição do produto no mercado.

O agronegócio é um setor de destaque no Brasil e tem seu crescimento em ritmo acelerado. Um grande segmento é o dos fertilizantes que representam mais de 30% dos custos de produção em média nos cultivos de commodities e ultrapassam esses valores em cultivos protegidos (Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, 2020). A utilização intensiva de insumos como adubos químicos é necessária para a manutenção da escala produtiva. No entanto, o uso desordenado pode causar danos ao meio ambiente e à sustentabilidade ecológica e financeira do sistema de produção.

O mercado de tecnologia em nutrição vegetal teve um faturamento de 7,6 bilhões de reais em 2019, com crescimento de 19,3% em relação ao ano anterior. Neste sentido, a matéria prima para a fabricação de fertilizantes, ocasiona uma dependência nacional, ocasionando-se assim oscilação de preços (Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal - ABISOLO, 2020). A dependência de matéria prima de fertilizantes provoca uma busca por alternativas que sejam eficientes para a nutrição das plantas, com matrizes renováveis que permitam a manutenção da produção.

Os benefícios no sistema solo-planta proporcionados pelas substâncias húmicas, em especial da fração bioativa dos ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF), segundo pesquisa de campo, vêm despertando o interesse de produtores rurais e de empresas para uso no manejo de sistemas agrários. A quantidade de ácidos presentes é diversificada e depende do material de origem. A matriz orgânica de resíduos de diversas origens designa a quantidade de ácidos húmicos e fúlvicos presentes.

A utilização destes compostos em substituição ou complementação à adubação mineral ganha cada vez mais importância sob o ponto de vista econômico, da conservação das propriedades físicas e químicas do solo e da redução do uso de adubos minerais. Nos últimos anos, uma grande problemática relacionada ao setor da agroindústria, é a alta quantidade de resíduos gerados durante o processamento/beneficiamentos das matérias primas, tanto na indústria de mineração quanto nas granjas. Esses resíduos podem ser reciclados por meio da compostagem, sendo transformados em insumos agrícolas (fertilizantes orgânicos), colocando à disposição dos produtores rurais um condicionador do solo de alta qualidade e reduzido custo. Junta-se a isso o fato que o Oeste de Santa Catarina, por ser considerado um polo de agroindústrias, produz um montante expressivo

de resíduos orgânicos, outrossim, a agricultura nessa região é persuasiva para renda da maior parte da população.

O estudo tem por objetivos gerais avaliar via Matriz SWOT a viabilidade econômica das atividades de uma indústria de biofertilizantes sustentáveis, oriundo do pó de rocha e da cama de aves, em meio sólido, sendo estes subprodutos das principais atividades de ambos os setores por meio da análise de estratégias de gestão utilizadas por ela. Tendo os seguintes objetivos específicos:

- Analisar forças, fraquezas do setor interno da indústria;
- Analisar as ameaças e oportunidades relacionados com o setor externo;
- Identificar a missão, visão e valores

II. REVISÃO DE LITERATURA

O planejamento estratégico se faz importante pois a partir dele é possível entender tanto o setor interno quanto externo que interfere nas principais atribuições da empresa. O primeiro é composto por forças e fraquezas, essas nascem dentro da organização e estão sob o controle dos gestores e da equipe. O externo por sua vez não está sob o controle dos gestores, entretanto interfere diretamente no funcionamento da empresa, mudando a demanda pelo produto ou o custo de produção dele, assim como a inserção de uma empresa nova, que já possui uma gama de produtos estabelecidos.

Uma questão recorrente no setor agroindustrial é a demanda por novas tecnologias que além de manter a produtividade não agridam o meio ambiente, com isso a demanda por produtos sustentáveis vem aumentando, mudando a atividade do mercado. O planejamento se faz necessário, pois prepara os tomadores de decisões com eventuais mudanças, podendo abranger tanto o aumento da concorrência, quanto uma eventual crise econômica.

Os métodos de diferenciação adotados foram o de desenvolvimento tecnológico e uma rede específica de fornecedores da matéria prima, fazendo parte do controle de qualidade (PORTER, 1986). Esta vantagem permite margens maiores, com as quais possibilita o reinvestimento na empresa, e ameniza o poder dos compradores, devido a falta de alternativas com as mesmas qualidades. Ao final, a empresa que utiliza esse método para obter lealdade estará mais bem posicionada em relação aos substitutos.

III. METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho foi de natureza descritiva e documental. O método utilizado fora embasado a partir do referencial teórico e a argumentação principal foi baseada em pesquisa bibliográfica e estudo de caso. Quanto à abordagem do problema, é majoritariamente qualitativa, sendo uma pesquisa de caráter exploratório. Os dados para a estruturação da análise foram coletados por meio de questionários estruturados e direcionados aos gestores da empresa, considerando as variáveis da matriz SWOT, bem como a utilização de artigos e estudos na área como direcionamento da pesquisa.

Após a identificação das variáveis e tabulação dos dados, introduziu-se a matriz como uma técnica utilizada na gestão e planejamento de empresas de grande e pequeno porte, que auxilia na identificação dos pontos fortes e fracos de uma empresa, além de suas oportunidades e ameaças. Compilando em uma matriz facilitando a visualização das características dela, promovendo assim uma análise tanto do cenário interno quanto externo, utilizada como uma estratégia de gestão com o intuito de identificar possíveis soluções para manter-se no mercado, ajudando a empresa a executar e controlar suas atividades.

Para criar a análise estratégica foram definidos as principais perspectivas, metas e ações que influenciam no funcionamento da organização: processo interno, financeiro, cliente e recursos e infraestrutura. Traçando objetivos táticos para cada setor, assim como os indicadores balanceados de desempenho, uma ferramenta ou uma metodologia que “traduz a missão e a visão das empresas num conjunto abrangente de medidas de desempenho que serve de base para um sistema de medição e gestão estratégica”. Possibilitando os empresários e executivos identificar em quais atividades críticas a empresa está gerando valor para os acionistas, clientes, colaboradores, fornecedores e para a comunidade.

IV. RESULTADOS

Para traduzir de forma clara as propostas que ela tem a oferecer a sociedade, observa-se os principais segmentos da empresa:

a. Missão: entregar um produto natural, totalmente orgânico, economicamente viável, dado o baixo custo da matéria prima, socialmente justo, ecologicamente correto, com qualidade garantida, para a cadeia produtiva nacional.

b. Visão: trabalhar com o pequeno produtor, que atua na agricultura familiar, na produção de hortaliças e em campos de pequeno porte. Aproveitamento de resíduos oriundos de outros produtos comercializados na região, sendo eles o pó de rocha e a cama de aves.

c. Valores: desenvolver pesquisas estratégicas locais, que agreguem na produção de alimentos orgânicos, agregando na qualidade de vida assim como no cuidado com o meio ambiente.

A vantagem competitiva adotada pela empresa foi a de Diferenciação, que consiste em “diferenciar o produto oferecido pela empresa, criando algo que seja considerado único, no âmbito industrial”.

Os resultados apontam que dentre os fatores internos positivos destaca-se a sustentabilidade do produto que por ser ambientalmente amigável, atrai clientes que se preocupam com o meio ambiente, ademais que em primeira análise o produto teria como principal cliente produtores de hortaliças, ou pequenos produtores. Quanto a fatores internos negativos o de maior peso se dá pela dificuldade em manter a qualidade na extração de matéria prima, como no caso do pó de rocha em sua maioria se encontra solto na natureza acaba sendo um empecilho na produção.

Já em relação aos fatores externos a oportunidade mais notória se dá pelo amplo mercado de clientes influenciados pela questão ambiental, possibilita a formação de parcerias com pequenos agricultores aumentando a fidelidade do cliente e impulsionando as vendas, trazendo assim maior retorno dos investimentos. Em contramão o modelo de produção atual está acostumado com fertilizantes convencionais, intensificando a competição com empresas já estabelecidas, o que dificulta a entrada de uma empresa nova no mercado, são ameaças a serem consideradas. No quadro 1 é possível obter a visualização gráfica da matriz SWOT, com os dados coletados via questionário.

Quadro 1 – Matriz SWOT da empresa analisa

	POSITIVOS	NEGATIVOS
INTERNO	<p>FORÇAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Produto sustentável; • Matéria prima abundante; • Produzido por subprodutos; • Industria e matéria prima regional. 	<p>FRAQUEZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dificuldade em manter a extração e a entrega do produto de qualidade por ser frequente; • Mercado de concorrência livre.
EXTERNO	<p>OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valor comercial agregado e lucro alto; • Oportunidade de investimento das empresas envolvidas; • Mercado amplo de clientes, agricultura orgânica. 	<p>AMEAÇAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Controle de qualidade desde a matéria prima até o produto final; • Modelo de produção atual está acostumado com o fertilizante químico.

Fonte: Dados da pesquisa.

Para criar a análise estratégica no quadro 2, foram definidos as principais perspectivas, metas e ações que influenciam no funcionamento da organização: processo interno, financeiro, cliente e recursos e infraestrutura. Traçando objetivos táticos para cada setor, com o intuito de fortalecer a entrada da indústria no mercado de atuação.

Quadro 2 – Mapa estratégico

Perspectiva	Mapa	Objetivos	Metas	Ações
Financeiro	Lucro	Crescimento	Retorno de investimento em 5 anos.	Adotar estratégias com métodos definidos visando a valorização do produto
Cliente	Qualidade garantida do produto	Fidelização/Satisfação do cliente	Manter o grau de satisfação	Parceria com os principais comerciantes do produto
Processo interno	Agregar conhecimento técnico pessoal dos colaboradores	Excelência do produto Garantia de qualidade máxima	Trabalhar com técnicos já familiarizados com o setor	Fazer parcerias com universidades funcionando como trabalho de extensão dos determinados cursos

Recurso e infraestrutura	Investimento em tecnologias	Redução de tempo na produção, mantendo a qualidade	Fazer análises recorrentes, tanto da matéria prima quanto do produto final	Mapear pontos de melhoria na produção
	Força operacional			Dar autonomia aos técnicos garantindo maior produtividade

Fonte: Dados da pesquisa.

V. CONCLUSÃO

Apesar das marcas já atuantes no mercado que conseguem oferecer um produto com menor valor aquisitivo, impactarem intensivamente a estabilidade de novas empresas de fertilizantes, ainda que este não se aproprie dos mesmos nutrientes. Pode-se inferir que a vantagem competitiva que consiste em diferenciar o produto oferecido pela empresa, criando algo que seja considerado único, no âmbito industrial, já que se trata de um produto totalmente orgânico e oriundo de dois subprodutos de baixo custo e que combinados possuem as substâncias nutritivas para a adubação, a indústria conquistará um lugar no mercado.

Por fim pode-se concluir que a estratégia de identificar os pontos que futuramente podem trazer alguma preocupação para os gestores, diminuirá os riscos e proporcionará crescimento para a organização, impulsionando as vendas do produto, que além do potencial tanto econômico quanto social, dado que a longo prazo o seu uso é benéfico ao meio ambiente, obtendo maior segurança em sua atividade, podendo assegurar melhor qualidade de entrega.

VI. REFERÊNCIAS

ABISOLO. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE TECNOLOGIA EM NUTRIÇÃO VEGETAL. **Anuário Brasileiro de Tecnologia em Nutrição Vegetal**. São Paulo, 2020. VI.

CONAB. COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília, p. 01–78, 2020.

PORTER, M. **Estratégia competitiva: técnicas para a análise da indústria e da concorrência**. 7.ed. Rio de Janeiro: Campus, 1986.

VII. COPYRIGHT

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

LEVANTAMENTO EXPLORATÓRIO DO CONSUMO DA FARINHA DE MANDIOCA EM ÁREA INDÍGENA E NÃO INDÍGENA NO ESTADO DE RORAIMA

EXPLORATORY SURVEY OF CASSAVA FLOUR CONSUMPTION IN INDIGENOUS AND NON-INDIGENOUS AREA IN THE STATE OF RORAIMA

José de Anchieta Alves de Albuquerque¹
Neide Ribeiro dos Santos²
João Luiz Lopes Monteiro Neto³
Edgley Soares da Silva⁴
Anderson Carlos de Melo Gonçalves⁴
Ana Karyne Pereira Melo⁵
Laura Soliane Cruz Braz⁶
Brenda Ariana Medeiros de Sousa²

Resumo – *A farinha de mandioca desempenha função relevante na mesa do brasileiro, principalmente das pessoas de baixa renda. Geralmente, é comercializada em feiras livres, mercados públicos e supermercados. Resultados de pesquisas sobre a relação do consumo de farinha de mandioca e gostos diversificados entre povos indígenas e não indígenas são escassos e contraditórios. Objetivou-se com este trabalho avaliar a relação do consumo da farinha de mandioca em área indígena e não indígena no estado de Roraima, mediante pesquisa exploratória de aplicação de questionário a 800 pessoas. As comunidades indígenas consomem mais farinha do que a comunidade não indígena, embora com diferenças não discrepantes, tendo preferência pela farinha do tipo Branca média e Amarela (farinha d'água), com frequência de compras mensal.*

¹Doutor em Fitotecnia (UFV/Viçosa-MG); Docente do Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal de Roraima - Campus do Cauamé (UFRR/Boa Vista-RR). Contato: anchietaufr@gmail.com

²Estudante de Agronomia na Universidade Federal de Roraima - Campus do Cauamé. Contato: neiderb1833@gmail.com; aryana.medeiros55@gmail.com

³Doutor em Agronomia (POSAGRO-UFRR/Boa Vista-RR); Pós-Doutorando na Universidade Federal de Roraima - Campus do Cauamé. Contato: joao.monteiro.neto@hotmail.com

⁴Doutor em Agronomia (POSAGRO-UFRR/Boa Vista-RR); Contato: edgley_agro2008@hotmail.com; anderson.agroufpb@yahoo.com

⁵Doutoranda em Agronomia (POSAGRO-UFRR/Boa Vista-RR); Doutoranda na Universidade Federal de Roraima - Campus do Cauamé. Contato: anameloagr@gmail.com

⁶Mestranda em Agronomia (POSAGRO-UFRR/Boa Vista-RR); Mestranda na Universidade Federal de Roraima - Campus do Cauamé. Contato: soliannebraz@gmail.com

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Crantz. Região Amazônica. Subproduto de Tubérculos.

Abstract - *Cassava flour plays an important role on the Brazilian table, especially for low-income people. It is usually sold at free fairs, public markets and supermarkets. Research results on the relationship between cassava flour consumption and different tastes among indigenous and non-indigenous peoples are scarce and contradictory. The objective of this work was to evaluate the consumption of cassava flour in indigenous and non-indigenous areas in the state of Roraima, through exploratory research involving the application of a questionnaire to 800 people. The indigenous communities consume more flour than the non-indigenous community, although with no discrepant differences, with a preference for medium White flour and yellow flour (water flour), with monthly purchasing frequency.*

Keywords: *Manihot esculenta* Crantz. Amazon Region. By-Product of Tubers.

I. INTRODUÇÃO

A mandioca é uma planta perene de porte semi-arbustivo pertencente à família botânica da Euphorbiaceae, originária da Amazônia brasileira, e, de acordo com pesquisas, já era amplamente cultivada por nativos antes da descoberta do Brasil. Atualmente, é cultivada em aproximadamente 180 países, sendo a principal espécie de valor comercial desta família e a mais cultivada dentro do gênero *Manihot* (LIMA *et al.*, 2018).

A cultura da mandioca é uma das mais promissoras na agricultura familiar, e colabora com o desenvolvimento socioeconômico do Brasil. Tradicionalmente, essa espécie é cultivada com baixas tecnologias de produção, motivo pelo qual ocorre baixa produtividade em algumas regiões do Brasil (TEIXEIRA JUNIOR *et al.*, 2017). Apesar dos fatos citados, a cultura da mandioca é uma das poucas que é cultivada em todas as regiões do Brasil, devido a sua capacidade de se adaptar às diferentes condições de ambiente (ALBUQUERQUE *et al.*, 2015).

Em Roraima, a área plantada é de 8.119 ha, e a produtividade média está em torno de 13.500 kg ha⁻¹ de raízes, um pouco abaixo da média nacional, que é 14.600 kg ha⁻¹ (LSPA, 2021). Neste estado, a quase totalidade das raízes colhidas é destinada ao consumo familiar, principalmente ao consumo de farinha, que tem vasta aceitação nas feiras livres e supermercados locais, com predominância da farinha d'água (farinha amarela), de textura grossa, com consumo aproximado per capita de mais de 50 kg hab⁻¹ (ALVES *et al.*, 2009). Oficialmente, define-se farinha de mandioca como o produto obtido de tubérculos oriundos de espécies botânicas *Manihot* spp, pertencentes a família Euphorbiaceae, submetida a processo tecnológico (artesanal ou industrial) adequado de fabricação e beneficiamento (PORTELLA, 2015).

A população Roraimense corresponde a 631.000 habitantes distribuídos em 15 municípios. A capital, Boa Vista, tem 419.600 habitantes. Entre os dez municípios do Brasil com mais localidades indígenas, dois encontram-se no estado de Roraima - Alto Alegre e Uiramutã (IBGE, 2020). De acordo com Correia (2021), em Roraima a população de indígenas aproxima-se de 50.000 habitantes, distribuídos entre 200 comunidades divididas em dez etnias, sendo o grupo dos Yanomâmis a maior comunidade, o qual representa aproximadamente 20% do total (ITAMARATI, 2015).

Quanto ao consumo de farinha no estado, o comportamento dos consumidores de farinha de mandioca, seja indígena ou não indígena, é influenciado por uma série de características, sendo as principais: cultural, nutricional, econômica, social e a influência da mídia, a qual tem como intuito entender as necessidades do consumidor e sua vontade (AGUIAIS; FIGUEIREDO, 2015).

Estudos sobre consumo e estratégias alimentares podem apontar diversas particularidades de consumo relacionadas à alimentação da farinha de mandioca para

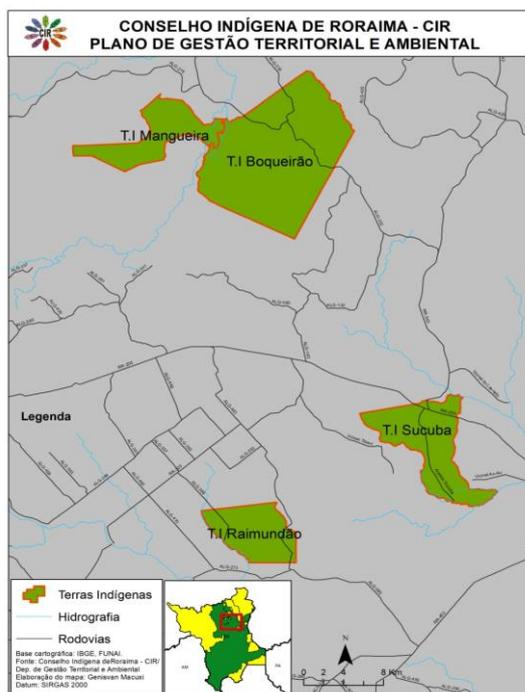
diferentes grupos etnoculturais, especialmente perante os gostos e a aceitação do produto pelos consumidores (BORGES, 2019). Segundo o autor, a maioria das pesquisas realizadas no Brasil visa principalmente às características agrônômicas da produção desta cultura, sendo escassos os dados disponíveis sobre o consumo alimentar da farinha deste tubérculo.

Nesse sentido, objetivou-se com este trabalho avaliar os aspectos de consumo da farinha de mandioca em área indígena e não indígena no estado de Roraima.

II. PROCEDIMENTOS

A pesquisa foi realizada em comunidades indígenas localizadas no município de Alto Alegre-RR e em Boa Vista, capital do estado de Roraima. Quatro comunidades indígenas foram escolhidas para realização desta pesquisa: Raimundão I, Sucuba, Boqueirão e Mangueira (as etnias destas comunidades são formadas principalmente por Yanomami, Macuxi e Wapixana) (Figura 1). A segunda etapa foi realizada no município de Boa Vista, na feira mais movimentada da cidade.

Figura 1 - Comunidades indígenas denominadas Mangueira, Boqueirão, Sucuba e Raimundão, Município de Alto Alegre-RR



Fonte: Conselho Indígena de Roraima - CIR

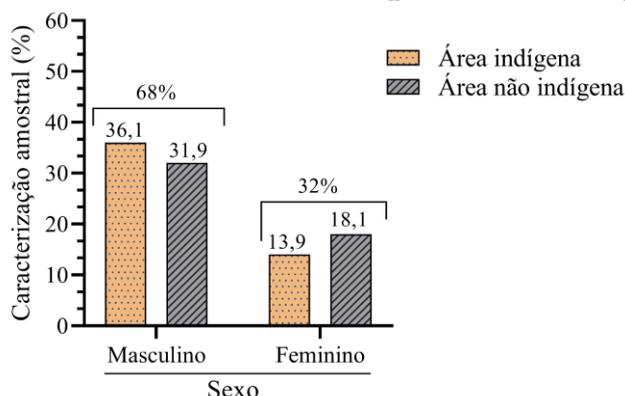
Foi elaborado um questionário aplicado aleatoriamente a 400 pessoas nas comunidades indígenas e a 400 pessoas residentes em Boa Vista-RR. O formulário foi formado pelas seguintes informações: gênero do informante; gosto por farinha; tipos de farinha (branca grossa - BrG, branca média - BrM, farinha amarela - Am (farinha d'água, farinha de puba), amarela grossa - AmG, amarela média - AmM e amarela fina - AmF; consumo de farinha (kg de farinha habitante/mês), e frequência de compra (adquirem) farinha: mensal, quinzenal ou semanal.

Os dados obtidos foram analisados descritivamente e organizados em figuras elaborados e padronizados no software Pris GraphPad 9.5.1.

III. RESULTADOS

Foi observado predominância do gênero masculino, tanto nas comunidades indígenas quanto na comunidade não indígena (Boa Vista-RR) (Figura 2). Em estudo realizado por Santana *et al.* (2017), que também aplicaram questionários aos consumidores em feiras livres em Salvador-BA, foi observado predomínio do gênero feminino (54,50%) e de adultos de 25 a 68 anos no consumo de farinha, indicando que, a depender da região, a cultura do consumo desse produto pode variar.

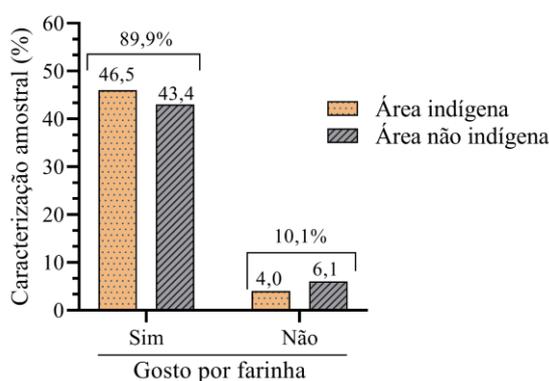
Figura 2 - Gênero do informante em área indígena e área não indígena



Fonte: Resultados da pesquisa.

Em relação ao gosto por farinha, verificou-se que ocorreu uma elevada predominância em ambas as comunidades, as indígenas com percentual de 46,5% e não indígenas com 43,4% (Figura 3). Esperava-se que o percentual por gosto de farinha fosse consideravelmente maior pela comunidade indígena, fato este que não ocorreu. Isso indica que o consumo de farinha por não indígenas no estado de Roraima é similar ao consumo observado nas terras indígenas.

Figura 3 - Gosto por farinha em área indígena e área não indígena

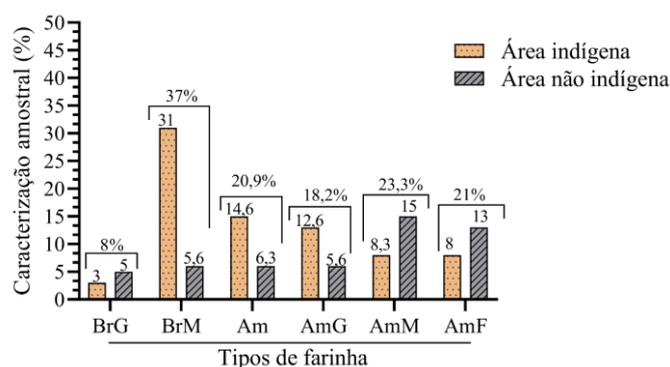


Fonte: Resultados da pesquisa.

O gosto por farinha de mandioca dá-se principalmente por esse ser um subproduto de caráter alimentício rico em fibras e carboidratos que fornecem energia para realização das diversas atividades. Em pesquisa realizada nas feiras livres em Salvador-BA, a maioria dos consumidores entrevistados (68,2%) consumia a farinha de mandioca todos os dias, sendo que 50% deles observavam o preço e 92,9%, a qualidade na hora da sua aquisição (SANTANA *et al.*, 2017).

Já a preferência pelos tipos de farinhas (Figura 4), a comunidade indígena tem preferência pela farinha do tipo Branca média (BrM), seguida das farinhas Amarela (Am), comumente conhecida como farinha d'água, e Amarela grande (AmG). Para a comunidade não indígena não houve predominância para os tipos de farinha presente no questionário. De acordo com Barbosa *et al.* (2007), a farinha de mandioca se destaca no consumo familiar, já que esta apresenta uma vasta aceitação local (principalmente em comunidades indígenas), com preferência pela farinha d'água (farinha amarela), de textura grossa. Nos mercados livres de Castanhal, município do Pará, a farinha de mandioca é consumida mais de 3 vezes por semana por 54% dos seus compradores (BORGES, 2019), indicando o alto consumo desse produto na região Norte do país.

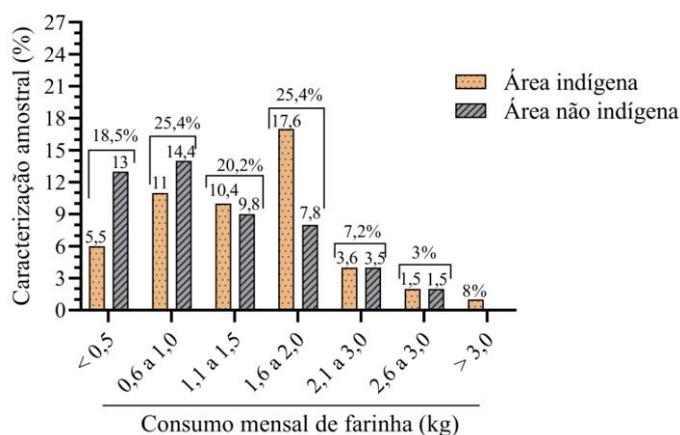
Figura 4 - Preferência pelos tipos de farinha em área indígena e área não indígena. Br – branca, Am – amarela, G – grande, M – média, F – fina



Fonte: Resultados da pesquisa.

Com relação ao consumo de farinha nas comunidades indígenas, a Figura 5 mostra que 25,4% da população consome de 1,6 a 2,0 kg de farinha por mês, valor esse mais influenciado pelo consumo em áreas indígenas. Na área urbana de Boa Vista, há predominância das pessoas com consumo entre 0,6 e 1,0 kg por mês.

Figura 5 - Consumo de farinha em área indígena e área não indígena



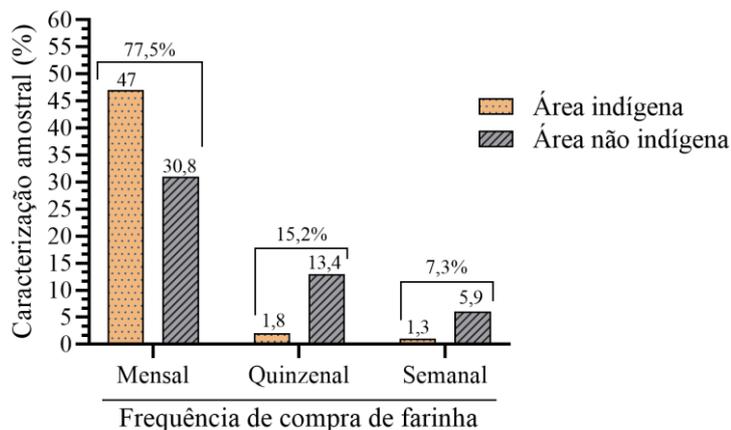
Fonte: Resultados da pesquisa.

No Brasil, a média do consumo da farinha de mandioca é de aproximadamente 8 kg ano⁻¹ família⁻¹. Esse dado foi determinado com base na aquisição domiciliar per capita anual por grandes regiões, segundo Pesquisa de Orçamentos Familiares 2002-2003. Entretanto, quando dividido por região, o consumo é de 34,20 kg para a região

Norte; 15,70 kg para o Nordeste; 1,50 kg para o Sul, 1,40 kg para o Centro-Oeste e 1,1 kg para o Sudeste (ARAÚJO, LOPES, 2009).

Quanto à compra ou aquisição de farinha, tanto nas comunidades indígenas e não indígenas, houve um predomínio de compras mensalmente (Figura 6).

Figura 6 - Aquisição de farinha em área indígena e área não indígena



Fonte: Resultados da pesquisa.

IV. CONCLUSÃO

Nas comunidades indígenas e não indígenas, predomina o maior consumo de farinha pelo gênero do sexo masculino.

Entre as farinhas, a comunidade indígena tem preferência pelos tipos Branca média e Amarela (farinha d'água). Para a comunidade não indígena não houve predominância entre elas.

A população da comunidade indígena consome mais farinha do que a não indígena, 1,8 kg e 0,8 kg de farinha por mês, respectivamente.

As comunidades indígenas consomem mais farinhas do que as não indígenas, embora com diferenças não discrepantes na frequência mensal de compra (aquisição) em ambas.

V. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A. A.; OLIVA, L. S. de C.; ALVES, J. M. A. ; UCHÔA, S. C. P.; MELO, D. A. Cultivation of cassava and cowpea in intercropping systems held in Roraima's savannah, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, p. 388-395, 2015.

AGUIAIS, E. G.; FIGUEIREDO, R. S. Correlação entre consumo de carne de frango e renda no Brasil (2002-2009). **Qualia: a ciência em movimento**, v. 1, n. 1, p. 64-77, 2015.

ALVES, J. M. A.; ARAUJO, N. P. de.; UCHÔA, S. C. P.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; SILVA, A. J.; RODRIGUES, G. S.; SILVA, D. C. O. Avaliação agroeconômica da produção de cultivares de feijão-caupi em consórcio com cultivares de mandioca em Roraima. **Agro@mbiente**, v. 3, p. 15-30, 2009.

ARAÚJO, J. S. P.; LOPES, C. A. Produção de farinha de mandioca na agricultura familiar, Niterói-RJ, Programa Rio Rural. **Manual Técnico**. n.13, 2009.

BARBOSA, C. Z. dos R.; ALVES, J. M. A.; SOUZA, R. P. C.; UCHÔA, S. C. P.; SMIDERLE, O. J. ; ALBUQUERQUE, J. A. A. Caracterização de dez clones de

mandioca cultivados no Estado de Roraima. **Revista Agro@ambiente**, v. 1, n. 1, p. 24-27, 2007.

BORGES, F. Q. Comportamento do consumidor de farinha de mandioca: um estudo de mercado em um município do Pará em 2018. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, 2019. Disponível em: <<https://www.eumed.net/rev/oel/2019/02/consumidor-farinha-mandioca.pdf>> Acesso em: 28 mar. 2023.

CORREIA, L. G. **População indígena em Roraima (27/03/2021)**. Disponível em: <<https://folhabv.com.br/noticia/CIDADES/Interior/RR-e-o-segundo-estado-com-mais-comunidades-indigenas--diz-IBGE/64959>>. Acesso em: 27 mar. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **População dos estados e capitais do Brasil (2020)**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/novo-portal-destaques/27161-censo-1997>>. Acesso em: 27 mar. 2021.

LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA - LSPA. **Produção e produtividade de macaxeira no estado de Roraima (2020/2021)**. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2415/epag_2020/2021_dez.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2022.

LIMA, A. G.; CARVALHO, L. R.; MOTA, M. C.; LIMA JUNIOR, A. F.; MOREIRA, J. M.; SILVA, A. P.; BARBUIO, R.; ROSA, J. Q. S. Produtividade de mandioca avaliada sobre adubação fosfatada e a adubação de cobertura. **Pubvet**, v. 12, p. 133, 2018.

PORTELLA, L. S. **Caracterização do processo produtivo, aspectos da qualidade da farinha de mandioca e percepção dos agentes da cadeia na região central do estado de Roraima**. Programa de Pós-Graduação em Mestrado Profissional em Defesa Sanitária Vegetal. Universidade Federal de Viçosa - UFV. 2015. 115p.

SANTANA, E. M.; FURTUNATO, D. M. N.; BORGES, I. M. P.; CARDOSO, R. C. V. Estudo qualitativo da perspectiva dos consumidores de farinha de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) comercializada na feira livre das sete portas, Salvador, BA. **Higiene Alimentar**, v.31, n.266/267, p.48-54, 2017.

TEIXEIRA JUNIOR, D. L.; BARILI, M. E.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; SOUZA, F. G.; CHAVES, J. S.; MENEZES, P. H. S. Fitossociologia e características botânicas de plantas daninhas na cultura da mandioca. **Revista Sodebras [on line]**, v. 12, n. 138, Jun/2017, p. 95-99, ISSN 1809-3957. Disponível em: <<http://www.sodebras.com.br/edicoes/N138.pdf>>. Acesso em 08 jul. 2023.

VI. COPYRIGHT

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

Área: Ciências Exatas e Engenharias

3-1	ABORDAGEM LEAN SIX SIGMA APLICADA AO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO: PESQUISA-AÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL LEAN SIX SIGMA APPROACH APPLIED TO PRODUCTION PLANNING AND CONTROL: ACTION RESEARCH IN CIVIL CONSTRUCTION Bruno Lacerda Santos; Janine Nicolosi Corrêa; Adriana P. L. Santos
3-1	METODOLOGIA DE VALIDAÇÃO DE ANÁLISE COMPUTACIONAL DO EFEITO DE ESTRIBOS INCLINADOS E UHPFRC NA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE VIGAS VALIDATION METHODOLOGY OF COMPUTATIONAL ANALYSIS OF THE EFFECT OF INCLINED STIRRUPS AND UHPFRC ON BEAM SHEAR STRENGTH Paulo Sergio Mota dos Santos Junior; Paulo Victor Prazeres Sacramento; Vitor Hugo Lopes Branco; Denio Ramam Carvalho de Oliveira
3-1	INOVAÇÃO PARA REDUZIR O USO DO AR-CONDICIONADO: EXPLORANDO PROTÓTIPOS DE MATERIAIS PARA UM RESFRIAMENTO SUSTENTÁVEL INNOVATION TO REDUCE AIR CONDITIONING USAGE: EXPLORING MATERIAL PROTOTYPES FOR SUSTAINABLE COOLING Luana Ribeiro Pinheiro; João Dalton Daibert
3-4	ANÁLISE DE VULNERABILIDADE EM LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA VULNERABILITY ANALYSIS IN POWER TRANSMISSION LINES Murilo Almeida Evaristo; Valdomiro Vega García; Marcos Rosa dos Santos
3-4	CONSIDERAÇÕES GERAIS E DE CONTORNO APLICADAS NA METODOLOGIA PARA MODELAGEM DE MÁQUINAS ELÉTRICAS, VISANDO A ANÁLISE DE FENÔMENOS TRANSITÓRIOS DE CURTA DURAÇÃO GENERAL AND CONTOUR CONSIDERATIONS APPLIED IN THE METHODOLOGY FOR MODELING ELECTRIC MACHINES, IN THE ANALYSIS OF TRANSIENT PHENOMENA Clóvis José da Silva; Wagner Pimentel; Mauricio Vilela Guerra
3-4	MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS DE ALTA TENSÃO – LINHAS DE TRANSMISSÃO COM FOCO NA ANÁLISE DO HISTÓRICO E TIPOS DE MANUTENÇÕES REALIZADAS – EFEITO PANDEMIA MAINTENANCE OF HIGH VOLTAGE ELECTRICAL EQUIPMENT – TRANSMISSION LINES; ANALYSIS OF HISTORY AND TYPES OF MAINTENANCE PERFORMED – PANDEMIC EFFECT Clóvis José Da Silva; Wagner Pimentel; Mauricio Vilela Guerra

3-4	<p>REVISÃO DE LITERATURA: POTENCIALIDADES E DESAFIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE USINAS MAREMOTRIZES NO BRASIL</p> <p>LITERATURE REVIEW: POTENTIALS AND CHALLENGES FOR THE IMPLEMENTATION OF TIDAL POWER PLANTS IN BRAZIL</p> <p>Gabriel Idalécio A. S. Silva; Ricardo José Bellam</p>
3-8	<p>DIGITAL TWIN FROM A MAINTENANCE PERSPECTIVE - CORRELATION AND BARRIERS</p> <p>GEMEO DIGITAL SOBRE A PERSPECTIVA DA MANUTENÇÃO - CORRELAÇÕES E BARREIRAS</p> <p>Alexandre Helmann; Ricardo Pacheco Leal Junior; André Luiz Micosky; Fernando Deschamps; Eduardo de Freitas Rocha Lour</p>
3-8	<p>DIGITAL TWIN ORIENTADO À CADEIAS DE SUPRIMENTOS DE MANUFATURA NA INDÚSTRIA 4.0: FRAMEWORK DE IMPLEMENTAÇÃO DO GÊMEO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DIGITAL</p> <p>DIGITAL TWIN ORIENTED FOR MANUFACTURING SUPPLY CHAINS IN INDUSTRY 4.0: DIGITAL SUPPLY CHAIN TWIN IMPLEMENTATION FRAMEWORK</p> <p>Pedro Tondela de Jesus Correia Filho; Osiris Canciglieri Júnior</p>
3-8	<p>3D RECONSTRUCTION BASED ON PHOTOGRAMMETRY FOR MIXED REALITY IN INTERACTIVE SIMULATION VIRTUAL ENVIRONMENTS</p> <p>PARA REALIDADE MISTA EM AMBIENTES VIRTUAIS DE SIMULAÇÃO INTERATIVA</p> <p>Marcelo Rudek; Drayan Silva Magalhães</p>

CLASSIFICAÇÃO E FATORES CONDICIONANTES DOS MOVIMENTOS DE MASSA EM TALUDES DE CORTE NA BR 277- Balsa Nova, PARANÁ

CLASSIFICATION AND CONDITIONING FACTORS OF MASS MOVEMENTS ON CUT SLOPES ON BR 277 - Balsa Nova, PARANÁ

Isonel Sandino Meneguzzo¹
Henrique Simão Pontes²
Andrey Gustavo Ribeiro³

Resumo - O presente estudo teve por objetivo classificar os tipos e determinar as condicionantes locais que favorecem a ocorrência de movimentos de massa em dois taludes de corte, situados às margens da rodovia BR-277, município de Balsa Nova (PR). Por meio de trabalhos de campo envolvendo análise faciológica de seção geológica observou-se que os taludes são entalhados em diamictitos sílticos e arenosos e arenitos da Formação Lagoa Azul, Grupo Itararé. Pôde-se constatar que existem estratos que passam por alteração química, desestabilizando camadas subjacentes e resultando na ocorrência de mobilização de blocos e matacões através de quedas, tombamentos e rolamentos. Recomenda-se a adoção de medidas técnicas e legais vinculadas à Geologia de Engenharia e Ambiental no sentido de minimizar os riscos que tais processos geram aos usuários da rodovia.

Palavras-chave: Desmoronamentos. Grupo Itararé. Rodovia.

Abstract - The aim of this study was to classify the types and determine the local conditions that allow the occurrence of mass movements on two cut slopes, located on the banks of the BR-277 highway, in the municipality of Balsa Nova (PR). Through field work involving facies analysis of geological sections, it was observed that the slopes are carved in silty and sandy diamictites and sandstones of the Lagoa Azul Formation, Itararé Group. It was noted that there are strata undergoing chemical alteration, destabilizing underlying layers and resulting in the mobilization of blocks and boulders through falls, tumbles and rollings. It is recommended that technical and legal measures linked to Engineering and Environmental Geology be adopted in order to minimize the risks that these processes generate for road users.

Keywords: Landslides. Itararé Group. Highway.

¹ Doutor em Geografia (UFPR); Docente do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa - PR. Contato: meneguzzo@uepg.br

² Doutor em Geologia (UFPR); Pós doutorando em Geografia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa - PR. Contato: henriquegeografo@gmail.com

³ Acadêmico de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Ponta Grossa - PR. Contato: andreyribeiro31@gmail.com

I. INTRODUÇÃO

A expressão ‘movimentos de massa’ é empregada para definir qualquer tipo de ruptura e deslocamento de solos e/ou rochas sob a ação da gravidade (QUEIROZ, 2016). Ainda de acordo com este autor, todos os tipos de movimentos de massas estão associados com o movimento dos materiais constituintes de parte da crosta terrestre, sendo causados essencialmente pela ação da gravidade em razão de condições estruturais de maciços, agentes intempéricos e materiais de que são constituídos.

No estado do Paraná, processos envolvendo movimentos de massa (deslizamentos, desmoronamentos, corridas e subsidências) incidem com mais frequência e dimensão na área da Serra do Mar, sobretudo por conta dos elevados índices de desníveis e condições climáticas extremas (SILVEIRA *et al.*, 2014; PINTO; PASSOS; CANEPARO, 2012; BUENO; SCHULTZ; SANTOS, 2021; FACURI; DE LIMA PICANÇO, 2021; ACEVEDO, 2021; DE ANGELO; FONTÃO; DOS SANTOS, 2022; DIAS; VIEIRA, 2022).

Contudo, tais processos não se restringem a esta região do Paraná, a exemplo do que ocorre na borda leste da Bacia do Paraná, onde se situam exposições de rochas intensamente fraturadas e intemperizadas. Neste contexto, destacam-se sucessivas ocorrências de processos de movimentos de massa em taludes de corte desenvolvidos em materiais geológicos do Grupo Itararé em trechos de margens de rodovias. Tais processos são de proporções (volume do material movimentado) significativamente menores se comparados aos casos envolvendo a região da Serra do Mar, mas por sua frequência impõe desafios para a gestão operacional das rodovias e riscos de acidentes diversos.

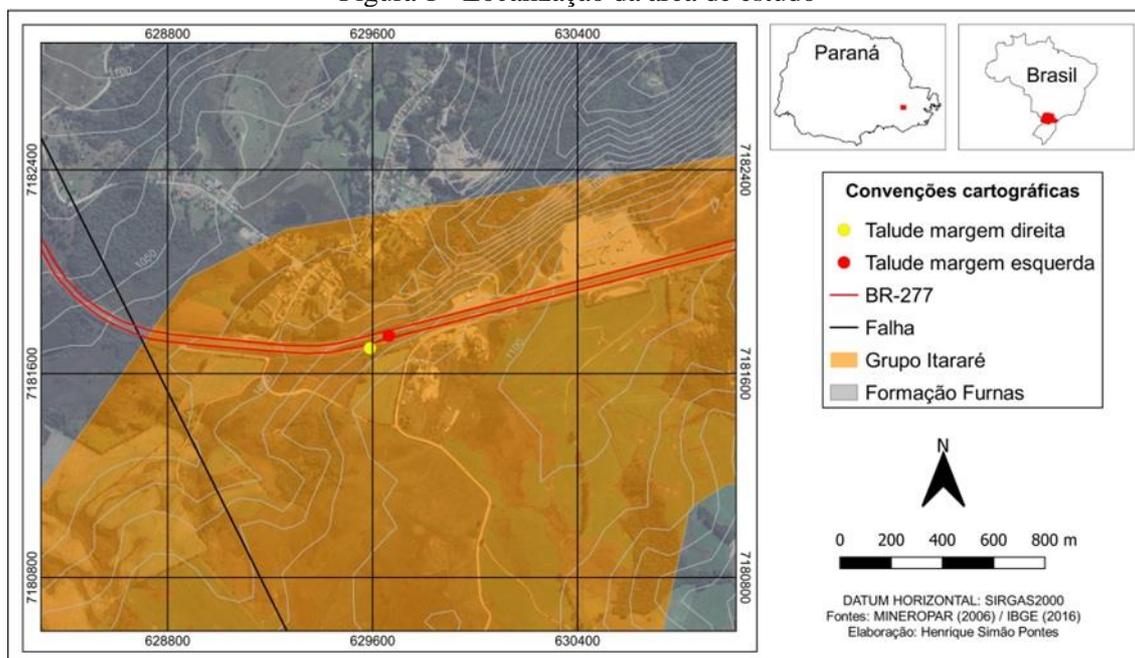
Comumente, os movimentos de massa afetam de modo significativo a sociedade moderna, principalmente por proporcionar perdas econômicas e materiais, risco a vidas humanas e gerar situações complexas, principalmente quando estes fenômenos ocorrem em locais densamente urbanizados. Diferente de movimentos de massa em áreas não ocupadas antropicamente, que são desencadeados por eventos climáticos extremos que proporcionam a saturação do solo por água e somados com vertentes inclinadas, os processos que ocorrem associados às áreas ocupadas são potencializados por conta da ação da própria humanidade.

Em locais com a presença de obras de infraestruturas, como as rodovias, os taludes de corte proporcionam a desestabilização de taludes. São nessas áreas que os movimentos de massa geram riscos elevados à sociedade e compreender esses processos, em parte naturais, mas intensamente induzidos pela ação antrópica, é de fundamental importância.

A partir deste cenário, o presente estudo teve como objetivo classificar os tipos e determinar as condicionantes locais que favorecem a ocorrência de movimentos de massa desenvolvidos às margens da BR-277, município de Balsa Nova, estado do Paraná (figura 1). Tratam-se de dois taludes de corte localizados nas proximidades da rodovia, sentido Ponta Grossa à Curitiba, um situado ao lado da pista da direita e outro à esquerda.

As coordenadas UTM da área são: 7181700 e 629590. Os taludes estudados apresentam aproximadamente 290 metros de comprimento, e os dois segmentos com ocorrência de movimentos de massa foram analisados.

Figura 1 - Localização da área de estudo



Fonte: Pontes, 2023.

II. METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida a partir de trabalhos de campo realizados entre os meses de fevereiro e abril de 2023. Nesse sentido, foram realizadas observações *in loco*, após eventos de precipitação intensa, as quais deflagraram os movimentos de massa.

Adicionalmente, foram realizadas análises visuais dos taludes, bem como dos fragmentos rochosos, com o intuito de classificar especificamente quais tipos de processos ocorreram na área, com base nas cicatrizes deixadas nas estruturas rochosas e no tipo do material movimentado.

Além disso, uma seção geológica foi elaborada em um dos taludes de corte com ocorrência de movimentos de massa (margem direita da rodovia), com o objetivo de avaliar seis parâmetros, sendo: 1) parâmetros texturais, tais como granulação e seleção; 2) porosidade visual; 3) estruturas sedimentares; 4) estruturas tectônicas; 5) feições de intemperismo e; 6) padrão de ocorrência das porções intemperizadas. Tais parâmetros serviram de base para compreender os mecanismos que potencializam a existência de movimentos de massa no local. A seção geológica foi desenvolvida em apenas um dos taludes devido ao fato de ocorrer nítida continuidade lateral das características litofaciológicas da unidade geológica analisada, dispensando a necessidade de elaboração de seções em ambos os lados da rodovia.

Os materiais utilizados foram: aparelho receptor GPS da marca Garmin, para coleta de coordenadas, máquina fotográfica para registro de imagens da área de estudo e dos processos desenvolvidos nas margens da rodovia, martelo de geólogo e talhadeira para análises faciológicas *in loco*, envolvendo coleta de amostras para observações de características físicas do material rochoso, bússola geológica do tipo Brunton para medição de direção e mergulho de estruturas tectônicas e mergulho de camadas, trena *Laser DISTO D810 touch Pack* para medidas de distâncias, altura e inclinação para a produção da seção geológica em escala de 1:100 e caderneta de campo com papel milimetrado para a produção de desenhos e esquemas. A seção geológica foi produzida manualmente em campo e digitalizada/finalizada com o uso de programa CAD (do inglês *Computer Aided Design* - Desenho Assistido por Computador).

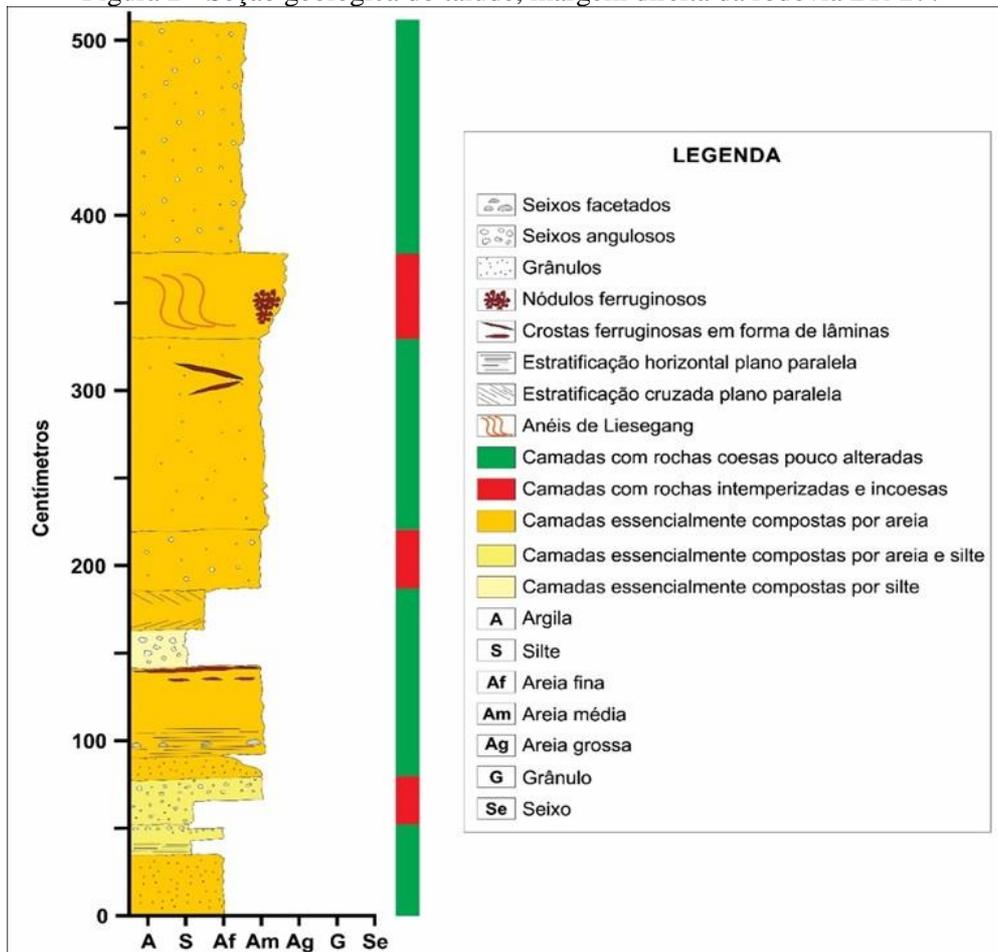
III. RESULTADOS

No local da pesquisa ocorrem diamictitos com matriz siltica e arenosa e intercalação de algumas camadas de arenitos finos a médios, litotipos pertencentes à Formação Lagoa Azul, Grupo Itararé.

Segundo Vesely *et al.* (2021), as fácies desta formação registram ambientes de deposição em sistemas desde subglaciais até glacio-marginais, com início da deposição no Viséano (aproximadamente 340 Ma).

As análises faciológicas desenvolvidas durante os trabalhos de campo indicaram a ocorrência de camadas de espessuras decimétricas a métricas, sendo que a mais espessa apresenta 1,3 metros e a mais fina 15 centímetros (figura 2).

Figura 2 - Seção geológica do talude, margem direita da rodovia BR-277



Fonte: Pontes, 2023.

As camadas diamictíticas são predominantes e variam de matriz siltica a arenosa (fina a média), com ocorrência de seixos angulosos e, em alguns níveis, também facetados. Os estratos areníticos são essencialmente compostos por areia fina, mas há registros de areia média, com ocorrência de grânulos esparsos em algumas ocasiões. No geral, observa-se leve granocrescência ascendente na seção analisada. A estratificação das camadas é, predominantemente incipiente, mas em algumas porções areníticas observa-se nítida estratificação plano paralela horizontal e cruzada.

Em três camadas observou-se a ocorrência localizada de nódulos ferruginosos e crostas ferruginosas em forma de lâminas. Anéis de Liesegang também ocorrem em uma das camadas mais intemperizadas da seção analisada.

Os materiais mobilizados constituem-se em fragmentos de rochas na fração granulométrica abrangendo seixos, blocos e matacões que se desprendem dos taludes de alturas variadas. Estes fragmentos variam de centímetros a até 2 metros de diâmetro, os quais atingem o sopé do talude, o acostamento e por vezes, a própria rodovia (figura 3).

Os movimentos de massa operantes na área de estudo enquadram-se como movimentos de blocos e matacões rochosos (FORNASARI FILHO; FARIA, 2018). Ainda de acordo com estes autores, os movimentos identificados na área de estudo foram classificados especificamente como queda, tombamento e rolamento.

No que tange à queda, esta envolve materiais rochosos de volume e litologias diversos, que se desprendem dos taludes e se deslocam em movimentos tipo queda livre (FORNASARI FILHO; FARIA, 2018). Ainda de acordo com estes autores, o tombamento consiste no movimento que se dá pela rotação dos fragmentos rochosos. Por sua vez, o rolamento corresponde ao movimento de corpos rochosos ao longo de superfícies inclinadas (FORNASARI FILHO; FARIA, 2018).

Figura 3 - Quedas de rochas registrados na margem esquerda da rodovia, evidenciando blocos e matacões de arenitos de dimensões métricas e centimétricas



Fonte: Pontes, 2023.

A acentuada ocorrência de movimentos de massa neste trecho da BR-277 é resultado de uma conjugação de fatores, comum para o desencadeamento de processos geológicos.

Primeiro, o talude de corte é praticamente verticalizado, o que potencializa a tendência de movimentos descendentes de material geológico. Mas esta condicionante é aumentada pelo fato de as rochas estarem intensamente fraturadas por estruturas do Arco de Ponta Grossa (ZALÁN *et al.*, 1987; ZALÁN *et al.*, 1990) e pelo processo de estilhaçamento de parte do material rochoso, produzido durante a fase de detonação com explosivos para construção da rodovia. Somando-se a isso, a partir da análise estratigráfica em seção geológica de cerca de 5 metros de altura, observou-se que existem camadas intemperizadas, intercaladas com camadas maciças. Tais estratos intemperizados se repetem em mesmos níveis estratigráficos em comparação com o talude da margem esquerda da rodovia.

A circulação de fluidos predomina nos estratos intemperizados, atacando quimicamente minerais componentes, o que fragiliza a estrutura da rocha, pois constituintes minerais são, aos poucos, removidos e cavidades são desenvolvidas. Trata-se, desta maneira, do processo de primocarste, conforme descrito por Rodet (1996) e

Rodet, (2014) e aplicado por Pontes *et al.* (2022) como modelo genético de processo de intemperismo químico para formação de cavernas e demais feições cársticas em rochas do Grupo Itararé. Este processo desestabiliza as camadas maciças e resulta na deflagração dos movimentos de massa. Pelo fato dessas camadas que se movimentam serem mais coesas e pouco alteradas, quando perdem sustentação e caem, se rompem pouco e geram fragmentos grandes de rocha, o que aumenta a periculosidade de acidentes no local.

Por fim, são nos períodos de alto índice pluviométrico que tais movimentos se intensificam, pois a ação mecânica da água ganha força e acelera os processos em substratos fragilizados pela alteração química.

IV. CONCLUSÃO

Os movimentos de massa constituem-se em processos naturais, mas que são intensificados por ações humanas. Por sua vez, promovem riscos aos transeuntes de rodovias, incluindo pedestres, ciclistas e motoristas em geral, como é o caso observado no trecho estudado da BR-277.

Com base no exposto, pôde-se constatar a ocorrência de movimentos como quedas, tombamentos e rolamentos, ambos mobilizando diamictitos sílticos e arenosos e arenitos da Formação Lagoa Azul, Grupo Itararé.

Destaca-se a necessidade da adoção de medidas técnicas no contexto da Geologia de Engenharia e Ambiental, considerando também os aspectos legais vigentes, com vistas a minimizar os riscos atualmente existentes. Sugere-se o uso de estruturas drenantes (barbacãs) e estabilização dos taludes com retificação dos mesmos para diminuir a inclinação, esta última, ação de maior custo econômico, contudo, a mais adequada para o caso analisado.

No que se refere às limitações, cabe salientar que por décadas este trecho da referida rodovia integrou uma concessão de uso. Temporariamente é o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) o órgão responsável pelas manutenções da pista e entorno, mas, atualmente, está em fase de leilão para definição da nova concessionária deste lote. Isso agrava o problema aqui analisado, pois a responsabilidade de resolução do problema envolve entes do Poder Público e do ente privado. Qualquer ação neste sentido necessita de investimentos financeiros, contudo, isso nem sempre ocorre de maneira eficiente e efetiva.

V. REFERÊNCIAS

ACEVEDO, Andrés Miguel González; PASSINI, Larissa de Brum; TALAMINI, Adriana; KORMANN, Alessandro Christopher Morales. Assessing limit equilibrium method approach and mapping critical areas for slope stability analysis in Serra do Mar Paranaense - Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 80, n. 17, p. 572, 2021.

BUENO, Karen Estefânia Moura; SCHULTZ, Gilson Bauer; SANTOS, Irani dos. Avaliação da sensibilidade dos parâmetros do modelo de simulação de deslizamentos SINMAP. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 47, 2020.

DE ANGELO, Ana Carolina Sanches; FONTÃO, Pedro Augusto Breda; DOS SANTOS, Irani. Águas de março: origem e excepcionalidade de evento extremo de precipitação ocorrido na Serra do Mar paranaense. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 31, p. 332-361, 2022.

DIAS, Vivian Cristina; VIEIRA, Bianca Carvalho. Parâmetros morfométricos e corridas de detritos: índice de suscetibilidade e magnitude de bacias hidrográficas na Serra do Mar. **GEOUSP**, v. 26, 2022.

FACURI, Gabriel Guimarães; DE LIMA PICANÇO, Jefferson. Evaluations and proposals for the debris flow hazard mapping method of the GIDES Project. **Landslides**, v. 18, n. 1, p. 339-352, 2021.

FORNASARI FILHO, Nilton; FARIA, Mariana Sgarbi Claro. Relevo e dinâmica superficial. In: OLIVEIRA, Antônio Manoel dos Santos; MONTICELI, João Jerônimo **Geologia de Engenharia e Ambiental**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2018, p. 204-228.

PINTO, Roberto Carlos; PASSOS, Everton; CANEPARO, Sony Cortese. Classificação dos movimentos de massa ocorridos em março de 2011 na Serra da Prata, Estado do Paraná. **Geoinfórmica: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**, v. 4, n. 1, Dez./2012, p. 3-27. ISSN 2175-862X. Disponível em: <<https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Geoinfomica/article/view/49152/751375140347>>. Acesso em 12 de ago. 2023.

PONTES, Henrique Simão; FERNANDES, Luiz Alberto; DE MELO, Mário Sérgio; GUIMARÃES, Gilson Burigo; MASSUQUETO, Laís Luana. Características litofaciológicas e aspectos genéticos de feições cársticas da Formação Furnas e Arenito Vila Velha no município de Ponta Grossa (Paraná, Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 23, n. 1, p. 1207, 2022.

QUEIROZ, Rudney da Conceição. **Geologia e Geotecnia básica para Engenharia Civil**. Rio de Janeiro: Edgard Blücher, 2016.

RODET, Joel. Une nouvelle organisation géométrique du drainage karstique des craies: le labyrinthe d'altération, l'exemple de la grotte de la Mansionnière (Bellou-sur-Huisne, Orne, France). **Comptes rendus de l'Académie des Sciences**, v. 322, n. 12, p. 1039-1045, 1996.

RODET, Joel. The primokarst, former stages of karstification, or how solution caves are born. **Geologica Belgica**, v.17, p. 58–65, 2014.

SILVEIRA, Claudinei Taborda da; FIORI, Alberto Pio; SCHILIPACK, Priscila; DIAS, Sara Manzoli. Mapeamento preliminar da suscetibilidade natural a movimentos de massa da Serra do Mar Paranaense apoiado na análise digital do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 15, n. 1, Abr./ 2014, p. 3-22. ISSN 2236-5664. Disponível em: <<https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/366>>. Acesso em 12 de ago. 2023.

VESELY, Fernando Farias; DELGADO, Daniele; SPISILA, André Luis; BRUMATTI, Mariane. Divisão litoestratigráfica do Grupo Itararé no estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 78. n. 1, 2021, p. 3-23. ISSN: 0067-964X. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/geociencias/article/view/80754/44681>>. Acesso em 12 ago. 2023.

ZALÁN, Pedro Victor; WOLFF, Sven; CONCEIÇÃO, João Cláudio de Jesus; VIEIRA, Inês Santos; ASTOLFI, Marco Antonio Mendonça. A divisão tripartite do Siluriano da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 17, n. 3, p. 242-252. 1987.

ZALÁN, Pedro Victor; WOLFF, Sven; CONCEIÇÃO, João Cláudio de Jesus; MARQUES, Airton; ASTOLFI, Marco Antonio Mendonça; VIEIRA, Inês Santos; APPI, Valéria Tiribi; ZANOTTO, Osmar Antônio. Origem e Evolução de bacias sedimentares. In: GABAGLIA, Guilherme Pederneiras Raja; MILANI, Edison José. **Bacia do Paraná**. Rio de Janeiro: Gávea/Petrobrás, 1990, p. 135-168.

VI. COPYRIGHT

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

ABORDAGEM LEAN SIX SIGMA APLICADA AO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO: PESQUISA-AÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

LEAN SIX SIGMA APPROACH APPLIED TO PRODUCTION PLANNING AND CONTROL: ACTION RESEARCH IN CIVIL CONSTRUCTION

Bruno Lacerda SANTOS¹
Janine Nicolosi CORRÊA²
Adriana P. L. SANTOS³

Resumo – A abordagem Lean Six Sigma pode ser uma alternativa para melhorar o desempenho do planejamento e controle de obras de construção civil, pois apresenta uma gestão estruturada que visa aprimorar a qualidade dos processos, eliminar defeitos e reduzir a variabilidade dos produtos e serviços. Esse artigo tem como objetivo apresentar os resultados da pesquisa-ação realizada em uma construtora, de edifícios residências de alto padrão, localizada em Curitiba – PR. O DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) foi utilizado como estratégia de ação para melhorar o desempenho do planejamento de médio e curto prazo, explorando o uso da ferramenta Last Planner e Look Ahead, dentre outras. A meta foi aumentar o Percentual do Planejado Concluído (PPC) para 90%, frente ao PPC inicial de 71%. Os principais problemas encontrados foram Planejamento incorreto (50,19%), Planejamento excessivo (10,64%), Equipe insuficiente (8,51%) e Surgimento de outras atividades emergenciais (6,38%). Com a implantação de algumas atividades do Plano de Ação proposto, o desempenho do PPC melhorou de forma significativa. O artigo também apresenta um dashboard para facilitar o controle do PPC bem como algumas ações que podem contribuir o aumento do desempenho do PCP das empresas de construção civil.

Palavras-chave: Construção Civil. Construção Enxuta. Planejamento e Controle da Produção - PCP

Abstract - The Lean Six Sigma approach can be an alternative to improve the performance of planning and control of civil construction works, as it presents a structured management that aims to improve the quality of processes, eliminate defects and reduce the variability of products and services. This article aims to present the results of research carried out in a residential

¹ Engenheiro Civil (UTFPR); Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC (UTFPR). Contato: brunolacerda99@gmail.com.

² Doutora em Ciências (UTFPR); Professora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC (UTFPR). Contato: janine@utfpr.edu.br.

³ Doutora em Engenharia Civil (UFSC); Professora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC (UTFPR). Contato: adrianapls@ufpr.br.

building construction company, located in Curitiba - PR. DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) was used as an action strategy to improve the performance of medium and short-term planning, exploring the use of the Last Planner and Look Ahead tools, among others. The goal was to increase the Percentage of Planned Completed (PPC) to 90%, since the initial PPC was around 72%. The main problems found were Incorrect planning (50.19%), Excessive planning (10.64%), Insufficient team (8.51%) and Emergence of other emergency activities (6.38%). With the implementation of some activities of the proposed Action Plan, the performance of the PPC improved significantly. The article also presents a dashboard to facilitate the control of the PPC as well as some actions that can contribute to increase the performance of the PCP of civil construction companies.

Keywords: *Construction. Lean Construction. Planning and Production Control - PPC*

I. INTRODUÇÃO

A construção civil no Brasil desempenha papel essencial tanto na economia quanto na esfera social. Além de ser um componente vital da economia, também desempenha papel crucial na inclusão social e na geração de empregos (RAMOS et al., 2019). De acordo com a Associação Brasileira de Incorporadoras (ABRAIN, 2022), a construção civil foi responsável por aproximadamente 10% dos postos de trabalho diretos e indiretos em 2022. A relevância dessa indústria para a sociedade é abordada por Barros (2021), que destaca sua capacidade de inserir indivíduos marginalizados na sociedade e ressalta a influência do dinheiro na vida dos trabalhadores de classe média-baixa.

A natureza baseada em projetos da indústria da construção civil a diferencia de outros setores, o que resulta em desafios específicos de gerenciamento e processos (BRAVO et al., 2020). A cultura de atraso e ineficiências é evidente nos processos e níveis de gerenciamento existentes, levando a desperdícios significativos nos canteiros de obras. No entanto, essa realidade tem passado por transformações recentes (THOMAS et al., 2022). A profissionalização das principais incorporadoras do país, impulsionada pela explosão de IPOs (Oferta Pública Inicial) e o aumento nos preços dos materiais de construção têm levado as empresas a buscar melhorias nos processos para garantir sua rentabilidade em um ambiente que se mostra cada vez mais desafiador.

Antony et al. (2017) destacam a aplicação do Lean Six Sigma na indústria da construção, ressaltando a dificuldade de adaptar metodologias de indústrias seriadas à realidade da construção civil. A falta de uma metodologia sistemática para avaliar taxas de defeito e melhorias de desempenho também é identificada como um desafio (JULIANI e OLIVEIRA, 2020; CORREA et al., 2017).

Nesse contexto, este artigo visa responder o seguinte problema de pesquisa: Quais são os desafios que envolvem a aplicação do Lean Six Sigma no processo de Planejamento e Controle de Obras de construção civil? A pesquisa-ação realizada abrange a aplicação DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) no planejamento de médio e curto prazo na construção de edifícios residenciais, explorando o uso das ferramentas Last Planner, Look Ahead, dentre outras.

O Six Sigma é uma metodologia de gestão estruturada que visa aprimorar a qualidade dos processos, eliminar defeitos e reduzir a variabilidade dos produtos e serviços (ANTONY et al., 2017). O principal objetivo do Six Sigma é atingir um nível de qualidade em que a probabilidade de ocorrerem defeitos ou erros em um processo seja extremamente baixa, chegando a uma taxa de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) (DIXT et al., 2017). Para alcançar esse objetivo, o Six Sigma utiliza uma abordagem baseada em dados, combinando técnicas estatísticas e

ferramentas de melhoria contínua tais como o DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) (HUSSAIN, 2023).

Dentro da primeira etapa do método DMAIC (Define), o escopo do projeto deve ser definido com precisão. Aqui, cabe um entendimento do problema e definição de qual o objetivo meta ao final do processo (CARDOSO e SANTOS, 2017). Deve-se, também, avaliar quais os históricos da situação, retorno econômico e impacto sobre o cliente, com o objetivo de entender se o projeto é prioritário e se os gestores patrocinarão o processo (JESUS et.al., 2021). Um dos diferenciais do DMAIC é a adoção de indicadores estatísticos para análise de problemas e resultados (LIN, 2022). Neste contexto, a fase de aferição dos indicadores (Measure) é fundamental para confiabilidade do processo. Nela, deve-se avaliar se os dados disponíveis são confiáveis ou se é necessário iniciar uma nova coleta de novos dados. A confiabilidade dos dados é pré-requisito para um bom resultado na identificação e solução dos problemas identificados durante a etapa de definição (SAKR e NASSAR, 2022). Para determinar as causas do problema prioritário, deve ser realizada a análise do processo gerador do problema (Analyze). O resultado esperado é a identificação e organização das causas potenciais dos problemas. Uma vez que as causas fundamentais dos problemas prioritários foram levantadas, a etapa de melhoramento (Improve) inicia pela geração de ideias que visam a eliminação dessas causas (SINDHWANI, 2021). A última etapa do DMAIC (Control) busca avaliar se de fato a meta foi atingida em larga escala (SREEDHARAN *et al.*, 2018). Para a padronização dos processos é comum a adoção de procedimentos padrão e a implementação de Poka Yokes (SAMPAIO et.al., 2019). Por fim, deve-se implementar um plano para monitoramento da performance dos processos e das metas já considerando ações caso surjam problemas na continuidade das atividades.

Neste contexto, o presente estudo busca compreender as complexidades e desafios enfrentados pela indústria da construção civil, examinando como o Lean Six Sigma pode ser aplicado de forma eficaz para otimizar processos, reduzir desperdícios e melhorar o desempenho geral do setor.

II. METODOLOGIA

A pesquisa abordada nesse artigo é do tipo aplicada, visto que busca identificar o comportamento da aplicação da abordagem Lean Six Sigma no planejamento e controle de obras na construção civil. Pode ser considerada tanto quantitativa como qualitativa pois utiliza dados reais das obras bem como interage com os agentes que atuam diretamente no campo. É exploratória e descritiva, pois busca contribuir com um assunto ainda pouco explorado na construção civil. Caracteriza-se como pesquisa-ação, com intervenção experimental longitudinal, pois busca implantar ações que possam melhorar o desempenho do PCP na construção civil utilizando a abordagem Lean Six Sigma.

As etapas da pesquisa desenvolvida foram: Etapa 1: Identificação do problema; Etapa 2: Exploração do tema; Etapa 3: Definição da unidade de análise e meta a ser atingida; Etapa 4: Mensuração dos dados reais que envolvem o PCP; Etapa 5: Análise dos dados; Etapa 6: Implantação das ações de melhoria e Etapa 7: Controle do desempenho das ações implantadas.

Durante a Etapa 6 (Implantação das ações de melhoria) foi possível aplicar as ferramentas Last Planner e Look Ahead. Com frequência semanal, por meio de entrevistas, foi perguntado, aos encarregados de cada frente de trabalho, sobre as atividades do cronograma da obra e sobre os planos para a próxima semana (Last Planner) e para as três semanas seguintes (Look Ahead). Nas semanas seguintes, foram realizados o levantamento sobre o andamento dos itens planejados no Last Planner e foi feito o replanejamento do Look Ahead. Essa atividade foi realizada pelo Engenheiro da Obra e responsável pelas

tarefas avaliadas. O Quadro 1 apresenta as perguntas utilizadas nas entrevistas semi-estruturadas.

Quadro 1- Questionário semanal utilizado

Questionário Semanal

1. Planejamento: *Look Ahead e Last Planner*

a) (Mostrando o planejamento feito na semana interior) Quais atividades serão realizadas nas próximas três semanas? Detalhando duração, início e fim.

b) Quais são as restrições para a realização de cada uma destas atividades?

2. Controle *Last Planner*

a) Quando as tarefas iniciaram e terminaram?

b) (Para as tarefas que fugiram do planejado) Quais foram as causas para os desvios?

c) Qual o tamanho da equipe usada em cada tarefa?

Fonte: Autores (2023)

As informações coletadas nas reuniões semanais foram armazenadas em planilha eletrônica preparada para calcular o Percentual do Planejado Concluído (PPC) por empreiteiro e global e contabilizar, no caso de não cumprimentos, as causas para as não realizações. O PPC semanal era calculado por meio da seguinte equação (BALLARD, 1996):

$$PPC(\%) = \frac{N^{\circ} \text{ de atividades concluídas}}{N^{\circ} \text{ de atividades planejadas}}$$

III. RESULTADOS

Foi aplicada a ferramenta do Lean Six Sigma DMAIC para a realização das tarefas da Pesquisa Ação desenvolvida. A seguir são apresentados os principais resultados obtidos em cada etapa.

- DEFINE

Foi identificado que as obras da construtora estudada possuíam dificuldade em alinhar as tarefas planejadas e as realizadas no canteiro de obras. O resultado dessa deficiência do Planejamento e Controle das Obras gerava atrasos de entregas parciais, assim como estouro no prazo previsto para a execução dos empreendimentos.

Um dos indicadores de desempenho de tarefas na construção civil é o Percentual do Planejado Concluído (PPC). Essa métrica avalia o desempenho do planejamento e controle da produção de curto e médio prazo, servindo não só para monitorar os prazos do projeto, etapa a etapa, mas, também, para ajustar expectativas.

O cálculo do PPC depende de um bom planejamento das atividades, na dimensão tempo, que precisam ser executadas. Todas elas devem estar organizadas em etapas e frentes de trabalho, com previsão de execuções diárias. Dessa forma, é possível verificar rotineiramente se os planos estão sendo concluídos conforme o previsto.

- MEASURE

Analisando o PPC da obra avaliada percebeu-se que esse indicador ficou na média de 71%. Isto significa que, aproximadamente metade das tarefas tinham problemas em relação ao prazo de entrega. O projeto de melhorias tinha como meta atingir um PPC médio de 90%.

- ANALYSE

Foi possível identificar 10 problemas afetavam diretamente a realização das tarefas e consequentemente, a entrega dentro dos prazos estabelecidos. A Tabela 1 mostra os problemas identificados e aponta que o Planejamento incorreto, o Planejamento excessivo, a Equipe insuficiente e outras atividades emergenciais surgiram correspondiam a 79% dos problemas listados.

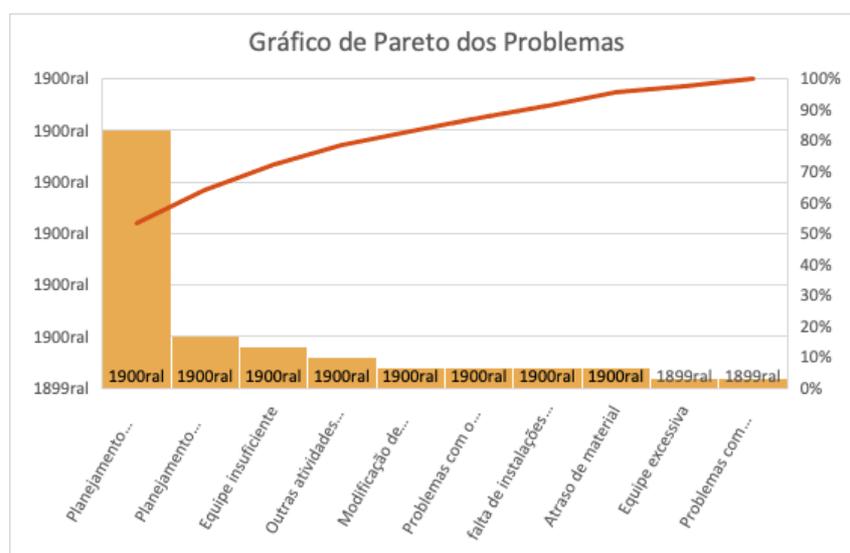
Tabela 1 - Recorrência das causas

Problema	Quantidade	% acumulado
Planejamento incorreto	25	53%
Planejamento excessivo	5	64%
Equipe insuficiente	4	72%
Outras atividades emergenciais surgiram	3	79%
Modificação de projeto	2	83%
Problemas com o endurecimento do concreto	2	87%
Falta de instalações de segurança	2	91%
Atraso de material	2	96%
Equipe excessiva	1	98%
Problemas com transporte vertical	1	100%

Fonte: Autores (2023)

Com a identificação dos problemas levantados durante a aplicação do Look Ahead e Last Planner foi traçado o Diagrama de Pareto (Figura 1) a fim de identificar os problemas com maior incidência. Na sequência foi aplicado o Diagrama de Ishikawa para verificar a causa raiz dos problemas mais significativos (Quadro 2).

Figura 1 - Gráfico de Pareto das causas identificadas



Fonte: Autores (2023)

Quadro 2 - Resumo da aplicação do Ishikawa nas causas mais significativas

Problema	Planejamento Incorreto	Planejamento excessivo	Equipe Insuficiente	Surgimento de outras atividades
Medidas				
Métodos	a) Mestres não tem acesso ao planejamento de longo prazo	a) Compra de aço cortado b) Fragmentação exagerada de tarefas	a) Priorização de outras frentes	a) Falta de planejamento de outras atividades b) Interferências externas
Pessoas	a) Funcionários doentes ou faltantes	a) Funcionários em excesso	a) Falta de pessoal	a) Funcionários doentes ou faltantes
Máquinas	a) Problemas com minigrua b) Problemas com elevador cremalheira	a) Aluguel de equipamentos não previstos	a) Problemas com equipamento de transporte	a) Problemas com minigrua
Ambiente	a) Chuva		a) Chuva: Redução de tempo	c) Chuva
Materiais				a) Chegada de materiais

Fonte: Autores (2023)

- IMPROVE

Com as causas elencadas e detalhadas, foi realizado um brainstorming com os envolvidos, a fim de listar ações com potencial de reduzir ou evitar a recorrências dos não cumprimentos. Foi utilizada a ferramenta 5W1H (WERKEMA, 2012) (a dimensão custo não foi abordada nesta pesquisa) para organizar as ideias e propor um plano de ação (Quadro 3).

Quadro 3 - 5W1H para apresentação de plano de ação

5W1H					
What (o que)	When (quando)	Why (porque)	Where (onde)	Who (quem)	How (como)
Apresentação do andamento do cronograma de médio e longo prazo	Mensalmente	Para que os mestres estejam atualizados	Na obra	Engenheiros e mestres de obra	Por meio de reuniões
Definição da produtividade, ritmo de trabalho e dimensionamento de equipes mínimas (mesmo em caso de empreita)	Sempre que uma frente de trabalho for iniciar	Gerar uma obrigação por parte dos empreiteiros em manter uma equipe mínima	Planejamento de curto prazo	Engenheiros	Por meio de composições
Planejamento com folgas para o transporte de ao menos dois dias	Em todos os serviços que envolvem o uso de equipamentos de transporte vertical	Evitar que um dia de interrupção com equipamentos ocasione atrasos	Planejamento de curto e médio prazo	Mestres e Engenheiros	Considerando ao menos um dia de folga para transporte
Planejamento com folgas considerando a possibilidade de chuva	Em serviços que são prejudicados pela chuva	Evitar atrasos em decorrência da Chuva	Planejamento de curto e médio prazo	Mestres e Engenheiros	Considerando uma folga para a execução de serviços afetados
Planejamento global da obra e acompanhamento de médio e curto prazo	No início, mensalmente e semanalmente	Manter todos os <i>stakeholders</i> a par do andamento dos serviços	Escritório e obra	Diretores, engenheiros e mestres	Pela aplicação de ferramentas de gestão
Implementação de um ERP voltado para suprimentos	Imediatamente	Criar um Fluxo de informação de compras	Escritório e obra	Diretores, engenheiros, mestres e almoxarife	Por meio da contratação de um sistema

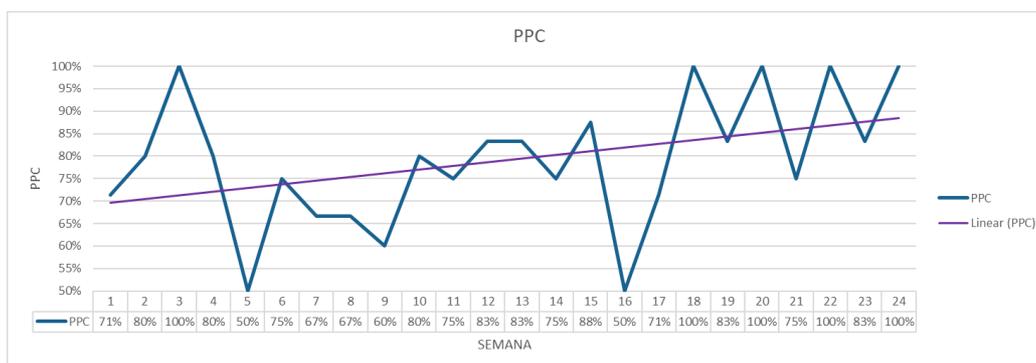
Fonte: Autores (2023)

- CONTROL

Tendo o Plano de Ação estruturado, foi aplicada a Ferramenta Last Planner e Look Ahead propostas por Ballard (1996) na obra estudada.

As informações coletadas nas reuniões semanais foram armazenadas em planilha eletrônica que calculava o Percentual do Planejado Concluído (PPC) por empreiteiro e global e contabilizava, no caso de não cumprimentos, as causas para as não realizações. A figura 2 ilustra o PPC total obtido ao longo do período (26 semanas). O levantamento dos problemas permitiu analisar a curva de aprendizagem de cada empreiteiro durante a pesquisa e principalmente os principais problemas enfrentados bem como as soluções tomadas para ajustar às tarefas ao cronograma da obra.

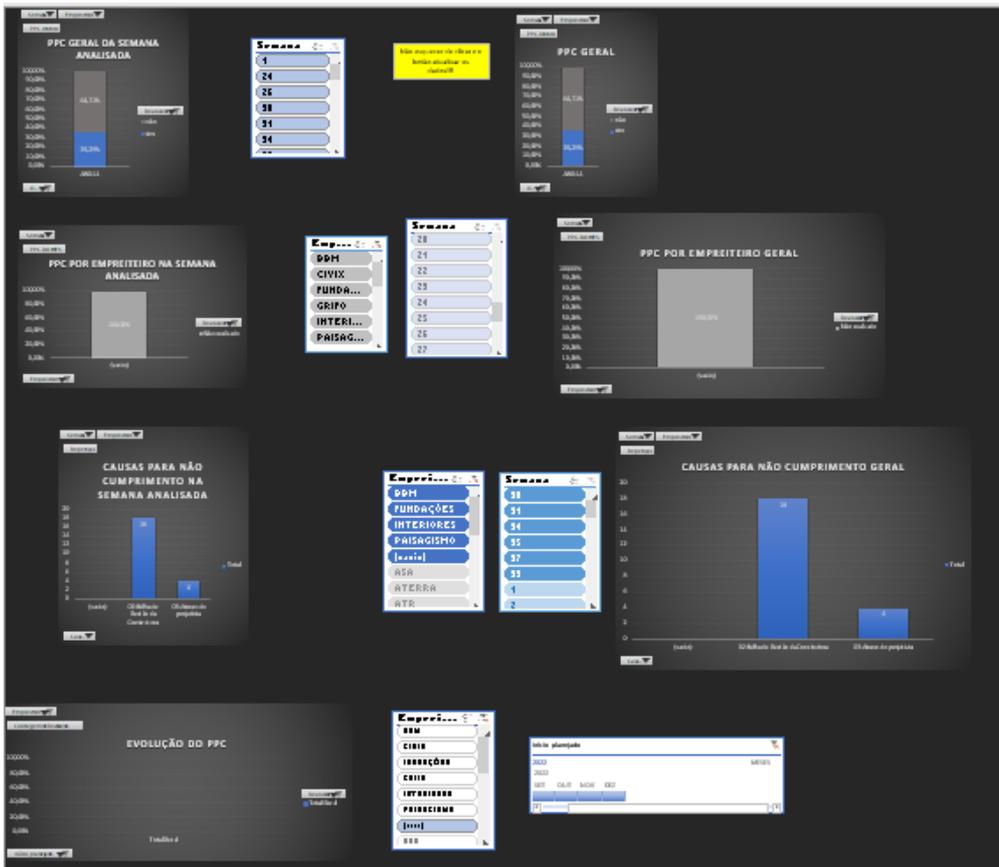
Figura 2 - Evolução do PPC no decorrer da pesquisa



Fonte: Autores (2023)

A partir das ações implantadas foi possível, a partir da semana 18, atingir a meta geral média do PPC de 90%. Essas eram repassadas aos terceirizados e toda a gestão da informação passou a ser realizada por meio de tabelas dinâmicas que abasteciam o dashboard de controle desenvolvidos (Figura 3).

Figura 3 - Dashboard desenvolvido



Fonte: Autores (2023).

IV. CONCLUSÃO

O estudo em questão lançou luz sobre a aplicação do Lean Six Sigma na indústria da construção civil, explorando suas nuances e desafios em busca da melhoria contínua. A discussão sobre a aplicação do Lean Six Sigma revelou desafios inerentes à adaptação de metodologias de indústrias seriadas à complexidade da construção civil. A falta de uma metodologia sistemática para avaliar taxas de defeito e melhorias de desempenho apresentou-se como um obstáculo a ser superado. No entanto, os esforços de pesquisa enfatizaram a necessidade de abordagens adaptativas e personalizadas para a indústria, refletindo a natureza única de cada projeto e as particularidades de um canteiro de obras.

O estudo também abordou a aplicação do Lean Six Sigma no planejamento de curto e médio prazo na construção de edifícios residenciais, utilizando ferramentas como o Last Planner e o Look Ahead, dentre outras. A análise detalhada dessas aplicações demonstrou como essas ferramentas podem ser incorporadas para melhorar a eficiência, reduzir desperdícios e identificar problemas ao longo da execução das tarefas em canteiro de obras e tem impacto direto no cumprimento do cronograma.

A fase de implementação das melhorias no PCP das atividades de um canteiro de obras da empresa estudada foi realizada em 26 semanas permitindo identificar uma curva de aprendizagem. Essa pesquisa teve como limitação a aplicação de ações que envolvem o Lean Office, isto é, as atividades administrativas que têm impacto direto no PCP. Sugere-se que a implementação dessas ações seja realizada em três fases:

- Fase 1: Implantação das modificações referentes a fluxo de informações de planejamento entre obra e gestores;
- Fase 2: Modificações referentes as considerações de planejamento de projeto (foco maior em suprimentos);
- Fase 3: A partir das necessidades geradas nas fases 1 e 2 sugere-se a implantação de um sistema ERP voltado à organização do fluxo de informação da empresa.

Essas fases contribuirão para uma maior organização das ações bem como permitirão que os envolvidos se adaptem e que custos financeiros e operacionais sejam melhor distribuídos no tempo. Nesse sentido, corrobora-se com a ideia de que o sucesso da implementação da filosofia Lean Construction em uma empresa está atrelado principalmente ao suporte da gerência e da diretoria, assim como, ao compromisso de todos os participantes. Neste contexto, o sucesso da adoção das ferramentas propostas como parte da cultura da empresa é diretamente proporcional a postura adotada pelas peças principais envolvidas.

V. REFERÊNCIAS

- ABRAINCA; FIPE. **Informe de julho de 2021**. p. 27, 1. jul. 2021. São Paulo.
- ANTONY, J.; SNEE, R.; HOERL, R. Lean Six Sigma: yesterday, today and tomorrow. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 34, n. 7, p. 1073–1093, 2017.
- BALLARD, G. **Lookahead Planning: The Missing Link in Production Control**. Universidade da Califórnia, Berkeley, USA. 1997.
- BARROS, S. C. O operário da construção civil: as funções dos significados do trabalho e do dinheiro. Athenea Digital. **Revista de pensamento e investigación social**, v. 21, n. 2, 2021. Disponível em: <<https://atheneadigital.net/article/view/v21-n2-barros>>. Acesso em: 19/6/2023.
- BRAVO, M.; EUPHROSINO, C. A.; PUCHARELLI FONTANINI, P. S. DMAIC manual for an integrated management system: Application in a construction company. **Anais IGLC 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction**. p.169–180, 2020. The International Group for Lean Construction. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85104885782&doi=10.24928%2f2020%2f0106&partnerID=40&md5=3eac83f234332669f59be193b43fdc98>>.
- CARDOSO, T.A., SANTOS, A.P.L. Multicriteria methods of decision aid in the planning of constructions and reforms of buildings. **Revista Espacios**, v. 38, n. 37, p. 12, 2017.
- CORREA, V.A.; NOGUEIRA, L.M.; NUNES, L.E.N.P. Aplicabilidade da metodologia seis sigma para diferentes ramos de atuações áreas de saúde, construção civil e industrial. **Revista Sodebras [on line]**. v. 12, n.137 – Mai./ 2017, p.141-147. ISSN 1809-3957. Disponível em: <<http://www.sodebras.com.br/edicoes/N137.pdf>>.
- DIXIT, S.; MANDAL, S. N.; SAWHNEY, A.; SINGH, S. Area of linkage between lean construction and sustainability in Indian construction industry. **International Journal of Civil Engineering and Technology**. v. 8, n. 8, p. 623–636, 2017. IAEME Publication.

HUSSAIN, K.; HE, Z.; AHMAD, N.; IQBAL, M.; NAZNEEN, S. Mapping Green, Lean, Six Sigma enablers through the lens of a construction sector: an emerging economy's perspective. **Journal of Environmental Planning and Management**. v. 66, n. 4, p. 779–812, 2023. Routledge.

HUSSAIN, K.; HE, Z.; AHMAD, N.; IQBAL, M.; SAEED, M. Z. Establishing a Green, Lean and Six Sigma implementation model for sustainable construction industry: an analysis of driving forces through ISM-MICMAC approach. **Environmental Science and Pollution Research**. v. 30, n. 11, p. 30462–30492, 2023. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.

JESUS, N.M.R., SOUZA, R.S., CONTINI, R.C.M.S., SOUZA, T.M., CASTRO, T.S. Proposal of the application of the 5s methodology in a composite material processing laboratory. **Revista Sodebras [on line]**. v.16 – n.187 – jul./ 2021, p. 20-26. ISSN 1809-3957 DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.16.2021.187.20>

JULIANI, F.; DE OLIVEIRA, O. J. Lean Six Sigma principles and practices under a management perspective. **Production Planning and Control**. v. 31, n. 15, p. 1223–1244, 2020. Taylor and Francis Ltd.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford University, 1992.

LIN, P.-Y.; CHEN, K.-Y.; CHENG, C.-Y.; SU, W.-H.; LU, L. Y. Y. The Academic Development Trajectories of the Lean Production Based on Main Path Analysis Method. **Processes**, v. 10, n. 8, p. 1495, 2022. Basel: MDPI AG.

RAMOS, V.M.K., SANTOS, P.L.S, A., MACENO, M.M.C. Bibliometric analysis of comparative studies between a conventional and a prefabricated construction using LCA. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, 2019, 8(1), pp. 81–99

SAKR, T. A.; NASSAR, A. H. Improving Project Management at the Design Phase by Applying Lean Six Sigma as a Troubleshooting System. **IEEE Engineering Management Review**, v. 50, n. 3, p. 213–227, 2022. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

SAMPAIO, N.A.S.; BARROS, J.G.M.; ALMEIDA, M.G.D.; BASTOS, B.; ARAUJO JUNIOR, A.H.; PEREIRA, R.S. Emprego de ferramentas da qualidade, para reduzir o índice de avarias e os custos com seguro no processo logístico de uma automobilística. **Revista Sodebras [on line]**. v.14, n.165. set./2019. ISSN 1809-3957, p.18-25. DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.14.2019.165.18>

SENAI; CBIC. Informativo Econômico. Informativo Econômico, p. 9, jun. 2021.

SINDHWANI, R.; VAIDYA, O. S.; ANTONY, J.; SHOKRI, A. Evaluating Performance of Projects Using Six Sigma Approach. **IEEE transactions on engineering management**, p. 1–14, 2021. IEEE.

SREEDHARAN V, R.; SANDHYA, G.; RAJU, R. Development of a Green Lean Six Sigma model for public sectors. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 9, n. 2, p. 238–255, 2018. Emerald Group Holdings Ltd.

TAYEH, B. A. Success Factors and Barriers of Last Planner System Implementation in the Gaza Strip Construction Industry. **The Open Construction and Building Technology Journal**, Gaza, v. 12, Nov. 2018. Acesso em 20 de oct. 2021. <http://dx.doi.org/10.2174/1874836801812010389>.

THOMAS, D.; KHANDUJA, D. ISM–ANP hybrid approach to prioritize the barriers in green lean Six Sigma implementation in construction sector. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 13, n. 2, p. 502–520, 2022.

WERKEMA, C. **Lean Seis Sigma**. Elsevier Editora Ltda, 2012.

VI. COPYRIGHT

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

METODOLOGIA DE VALIDAÇÃO DE ANÁLISE COMPUTACIONAL DO EFEITO DE ESTRIBOS INCLINADOS E UHPFRC NA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE VIGAS

VALIDATION METHODOLOGY OF COMPUTATIONAL ANALYSIS OF THE EFFECT OF INCLINED STIRRUPS AND UHPFRC ON BEAM SHEAR STRENGTH

Paulo Sergio Mota dos Santos Junior¹

Paulo Victor Prazeres Sacramento²

Vitor Hugo Lopes Branco³

Denio Ramam Carvalho de Oliveira⁴

Resumo – Para a análise foram feitas calibrações computacionais a partir de um experimento de viga de concreto armado de resistência convencional sob cisalhamento. A viga não possui armadura transversal e apresenta ruptura por cisalhamento. O modelo calibrado previu adequadamente o comportamento experimental. A análise paramétrica mostrou que as vigas reforçadas com estribos inclinados apresentaram ganhos significativos de resistência. No entanto, os maiores ganhos foram encontrados quando o concreto convencional foi substituído por UHPFRC. O modelo analítico desenvolvido para estimar o comportamento das vigas UHPFRC pôde prever com eficiência a carga de falha do Modelo Computacional UHPFRC e de 4 (quatro) vigas experimentais previamente testadas da literatura, e provou ser uma ferramenta simples e eficaz para estimar o comportamento das vigas UHPFRC ao cisalhamento com erro menor que 3,2 % em relação aos resultados experimentais.

Palavras-chave: Viga. Cisalhamento. UHPFRC.

Abstract – For the analysis the computational calibrations were performed on a experimental conventional-strength reinforced concrete beam under shear stress. The beam had no transverse reinforcement or shear failure. The calibrated model adequately predicted the experimental behavior. Parametric analysis showed that beams reinforced with inclined stirrups exhibited significant strength gains. However, the greatest gains were found when conventional concrete was replaced with UHPFRC. The analytical model developed to estimate the behavior of UHPFRC beams could effectively predict the failure load of the UHPFRC

¹ Doutorando em Estruturas e Construção Civil (UFPA); Contato: paulosergiomotta2@hotmail.com.

² Doutorando em Estruturas e Construção Civil (UFPA); Contato: paulo.sacramento@ifpa.edu.br.

³ Professor Doutor em Estruturas e Construção Civil (IFPA); Contato: vitor.branco@ifpa.edu.br.

⁴ Professor Doutor em Estruturas (UFPA); Contato: denio@ufpa.br.

Computational Model and of 4 (four) experimental beams from the literature, and proved to be a simple and efficient tool to estimate the behavior of UHPFRC beams with 3.2 % error in relation to experimental results.

Keywords: Beam. Shear. UHPFRC.

I. INTRODUCTION

As countless researchers continue to present different methods to estimate the shear capacity of concrete structures in different countries, experimental and computational research is increasingly necessary to make more accurate predictions. According to Yin *et al.* (2019), a reliable computational model enables an effective improvement of structural performance, cost reduction, and a smaller number of tests in the laboratory.

Concrete Damaged Plasticity (CDP) contains five parameters that establish the failure criterion, for example, dilation angle (ψ), eccentricity (ϵ), biaxial-to-uniaxial ratio (σ_{b0}/σ_{c0}), shape factor (k_c) and viscosity (μ). Table 1 lists the parameters of the failure criterion for CDP (which was implemented in the Abaqus software) that have been used for conventional concrete in different studies. The key differences are in the dilation angle, biaxial-to-uniaxial compressive strength ratio f_{bc}/f_c , and viscosity. The dilation angle governs the ratio of the volumetric strain to the diverting plastic strain (ABAQUS, 2014), and it is specific for each material. Speck (2008) provided experimental evidence that an increase in the compressive strength can decrease the f_{bc}/f_c ratio. The ratio of 1.16 was determined using the values for compressive strength of concrete of 18, 25, and 57 MPa, as reported by Kupfer (1969). The viscosity parameter, on the other hand, is a mathematical resource to reduce the effect of permanent strain localization, which usually poses processing challenges to constitutive models that represent softening.

Therefore, sensitivity analyses are required to enable the application of beam models. Thus, a computational study was developed based on an experimental test with a reinforced concrete beam designed by Leonhardt and Walther (1962). The effects of CDP parameters, sizes and types of mesh elements, and mesh refinement were tested in the computational models. After calibration of the model, a parametric study was carried out to evaluate other important aspects that affect beam shear strength, such as the use of transverse reinforcement, ultra-high-performance fiber-reinforced concrete (UHPFRC), and the shear span-to-effective depth ratio (a/d).

Table 1 - CDP parameters for conventional concrete

Autors	CDP parameters					Mesh type	
	Ψ	ϵ	f_{bc}/f_c	k_c	μ	Reinforcement	Concrete
Genikomsou & Polak (2016)	40°	0.10	1.16	0.667	0.0	T3D2, B32, S4R, C3D8R	C3D8R
Labibzadeh, Zakeri & Shoaib (2017)	35°	0.12	1.16	0.670	0.0	T3D2	C3D8R, C3D4
Santos <i>et al.</i> (2017)	36°	0.10	1.16	0.667	0.0	-	C3D8
Navarro, Ivorra & Varona (2018)	36°	0.10	1.16	0.667	0.00001	T3D2	C3D8R
ČURČIN <i>et al.</i> (2018)	13°	0.10	1.16	0.667	0.0001	T2D2	CPS4
Rewers (2019)	35°	0.10	1.16	0.667	0.0001	T3D2	C3D8R
Pinto, Branco & Oliveira (2019)	38°	0.10	1.16	0.667	-	T3D2	C3D8

Miligan <i>et al.</i> (2020)	45°	0.10	1.16	0.667	-	T3D2	C3D8R
Navarro, Ivorra & Varona (2020)	36°	0.10	1.16	0.667	0.00001	T3D2	C3D8R
Lee <i>et al.</i> (2020)	38°	0.10	1.18	0.729	0.5	T2D2	CPS4R
Qingfu, Wei & Yihang (2020)	30°	0.10	1.16	0.666	0.0005	T3D2	C3D8R
Chen <i>et al.</i> (2021)	30°	0.10	1.16	0.667	0.001	T3D2	C3D8R
Kadhim <i>et al.</i> (2021)	40°	0.10	1.16	0.667	0.0	T3D2	C3D8R
Miligan <i>et al.</i> (2022)	45°	0.10	1.16	0.667	-	T3D2	C3D8R
Zheng <i>et al.</i> (2023)	25° to 45°	0.10	1.16	0.667	0.00001	T3D2	C3D8R

Ψ (Dilatation angle), ϵ (eccentricity), f_{bc}/f_c (Max. compression axial/biaxial), k_c (Shape parameter) and μ (viscosity)

II. METHODOLOGY

2.1 – Experimental Model

In this study, Leonhardt and Walther (1962) tested a reinforced concrete beam. The rectangular (190 × 320 mm) beam had an 810 mm shear span, 330 mm pure bending span, and two Ø26 mm longitudinal reinforcement bars. The beam had no transverse reinforcement or shear failure. Tables 2 and 3 list the properties of the materials used for the calibration of the computational model. Further details are available in Leonhardt and Walther (1962) and Krahl *et al.* (2018).

Table 2 - Concrete properties

Type of concrete	Modulus of elasticity (E_c)	Poisson's ratio (ν)	Compression strength (f_c)	Peak tensile stress (f_t)	Fracture energy (G_f)
-	GPa	-	MPa	MPa	N/mm
Concrete	31.72	0.2	28.48	1.64	0.1
UHPFRC	43.40	0.2	150.50	6.50	-

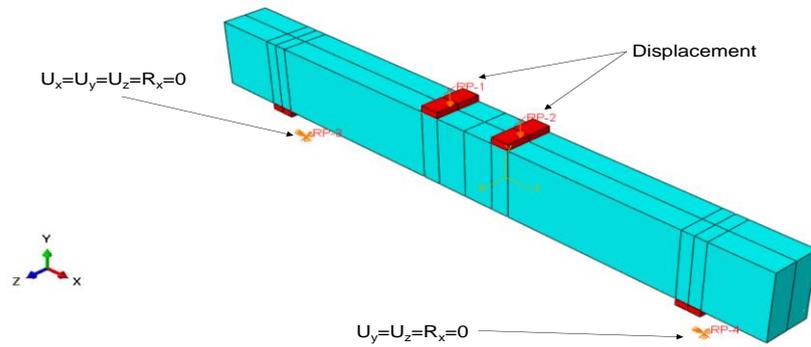
Table 3 - Steel Properties

Type of reinforcement	Modulus of elasticity (E_s)	Poisson's ratio (ν)	Yield stress rebars (σ_{ys})	Yield strain rebars (ϵ_{ys})
-	GPa	-	MPa	%
Flexural	208	0.3	560	2.69
Shear	210	0.3	550	2.61

2.2 – Computational Model

The computational model shown in Figure 1 was designed according to the geometric specifications, loads, and boundary conditions presented previously. The reinforcement-concrete interaction used an embedded region constraint to simulate perfect adhesion between steel and concrete. The interaction between the steel plates and beam was modeled with a tie constraint, disregarding the possibility of displacement at the interface. The steel plates were assumed to exhibit linear elastic behavior. The reference points (RPs) created to apply the loads and constraints on the supports were linked to the surfaces of the plates through the coupling constraint.

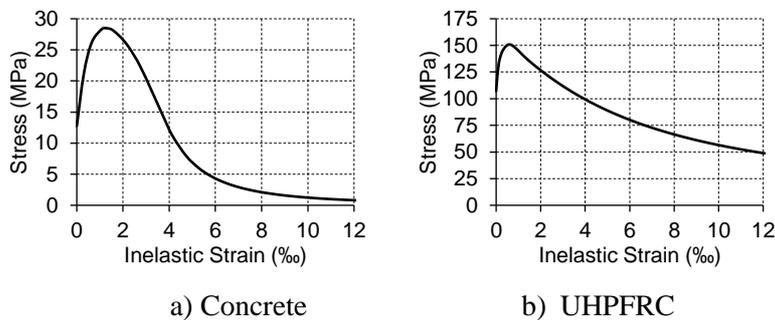
Figure 1 – Geometry, loads and boundary conditions



Source: Authors, 2023.

Two different curves were used for compressed concrete: one for conventional concrete (CC) and one for ultra-high-performance fiber-reinforced concrete (UHPFRC). The stress-strain curve proposed by the 1990 Model Code (CEB-FIP, 1990) was used for conventional concrete, whereas the curve calibrated by Krahl *et al.* (2018) was used for UHPFRC. Figure 2 shows the curves for these two models based on the compressive strength values listed in Table 1.

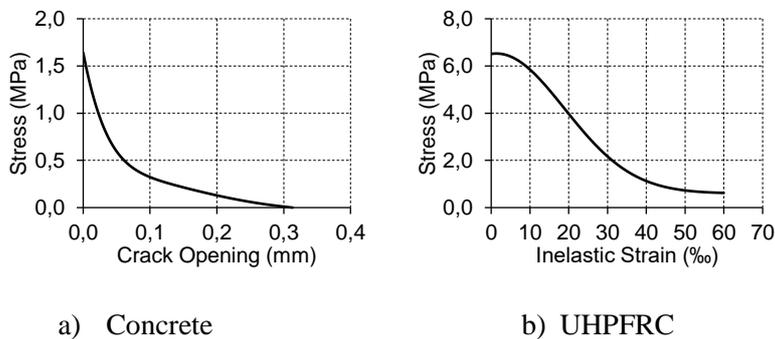
Figure 2 – Behavior of concrete under uniaxial compression



Source: Authors, 2023.

The tensile behavior of conventional concrete was determined using the stress-crack width relationship, which can be of different forms: linear, bilinear, or exponential. This study used the exponential form of the stress-crack width proposed by Hordijk (1991). For the UHPFRC, the curve calibrated by Krahl *et al.* (2018) was used. Figure 3 shows the curves for these two models based on the tensile strength values listed in Table 2.

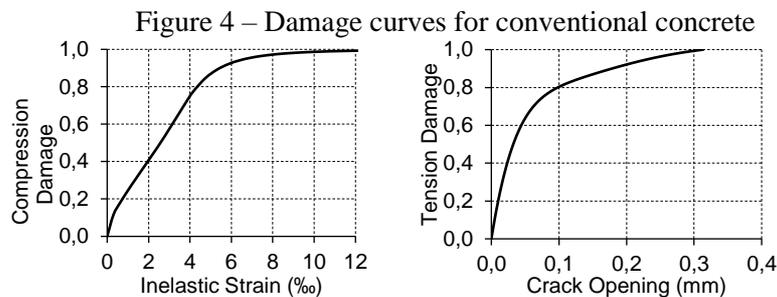
Figure 3 – Behavior of concrete under uniaxial tensile stress



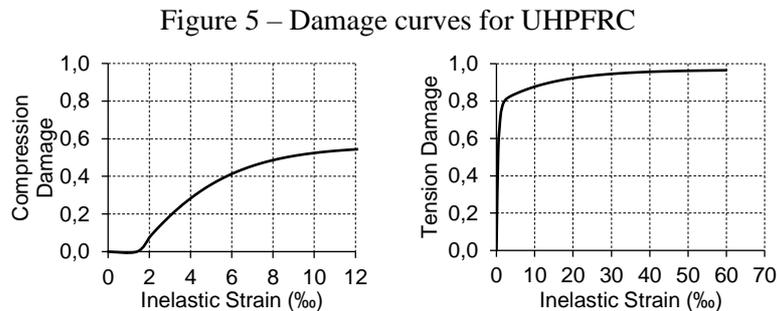
Source: Authors, 2023.

Damage was introduced in the Concrete Damaged Plasticity (CDP) model according to the process of stiffness degradation for tension and compression. The magnitude of the stiffness degradation is governed by a scalar damage variable, namely “ d_c ” for concrete under compression and “ d_t ” for concrete under tension. This variable can take values ranging from zero to one for undamaged and fully damaged materials, respectively.

The variables for compression and tension damage were considered null for the linear elastic regime. To calculate the damage curves for conventional concrete under both tension and compression, the equations of Birtel & Mark (2006) and Mahmud, Yang, & Hassan (2013) were used. The damage curves for the UHPFRC were the same as those used by Krahl *et al.* (2018). Figures 4 and 5 show the graphs of the damage curves used for both conventional concrete and UHPFRC, respectively.



Source: Authors, 2023.



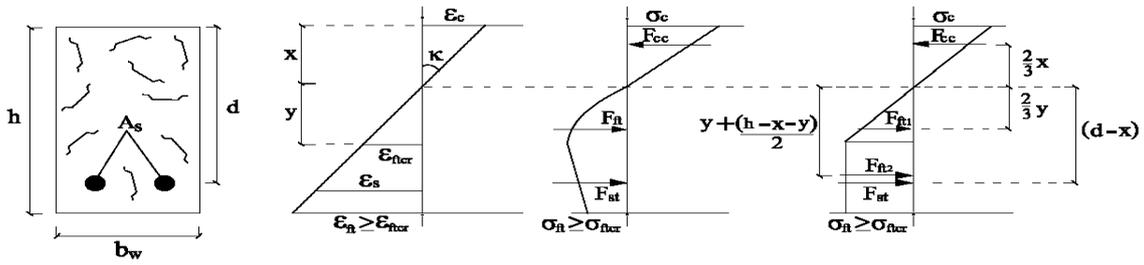
Source: Authors, 2023.

2.3 – Moment-Curvature Diagram

To analytically estimate the experimental behavior of the UHPFRC beams, the first step was to determine the moment-curvature diagrams of each beam. Subsequently, the load-displacement curves were calculated.

The moment-curvature diagram was calculated using the equilibrium equations of the UHPFRC cross-sections designed by Leutbecher and Fehling (2013) and Fehling *et al.* (2014). Figure 6 shows the distribution of stresses and strains for a rectangular cross-section under an axial force (N) and bending moment (M).

Figure 6 – Stress and strain diagrams for the cracked cross-section



Source: Authors, 2023.

It should be noted that x is the position of the neutral axis; F_{cc} is the force resulting from the compressed UHPFRC, acting at “ $x/3$ ”; F_{ft1} and F_{ft2} are forces resulting from compression of UHPFRC, acting at “ $y/3$ ” and “ $y+(h-x-y)/2$ ”, respectively; and F_{st} is the force resulting from the reinforcements.

The distribution of tensile stresses on the concrete was treated in a simplified manner. There was triangular behavior for the linear-elastic branch and rectangular behavior for the branch where cracking occurred. These distributions are given by Equations (1) and (2), respectively, where h is the beam height, x is the depth of the neutral axis, b is the beam thickness, σ_{fcr} is the cracking stress of UHPFRC, and y is the height that limits the branch between cracked and noncracked concrete, as given by Equation (3).

The resultant of the distribution of compression stresses (F_{cc}) is determined by Equation (4), whereas the tensile strength in steel (F_{st}) is given by Equation (5), in which the tensile stress in the reinforcements is determined through the perfect elastoplastic constitutive model. Equations (1), (2), (4), and (5) can be used to establish the balance of forces, according to Equation (6). In relation to the neutral axis (M), the bending moment was calculated, as shown in Figure 7 and Equation (7). A compression strain value was assumed for concrete (ε_c), and the neutral axis (x) was set to range from 0 to h until the forces were balanced [Equation (7)]. Subsequently, the curvature (k), strain in the reinforcements (ε_{st}), and tensile strain of the concrete (ε_{ft}) were calculated according to Equations (8), (9), and (10), respectively. Importantly, Equations (8), (9), and (10) represent the compatibility of deformations in the cross section, as shown in Figure 8. According to Yoo and Yoon (2015), the moment-curvature curve can be converted to the load-displacement curve using Equations (11) and (12).

$$F_{ft1} = \begin{cases} 0.5 \cdot (h - x) \cdot b \cdot E_c \cdot \varepsilon_{ft} & \varepsilon_{ft} < \varepsilon_{fcr} \\ 0.5 \cdot y \cdot b \cdot \sigma_{fcr} & \varepsilon_{ft} \geq \varepsilon_{fcr} \end{cases} \quad (1)$$

$$F_{ft2} = \begin{cases} (h - x - y) \cdot b \cdot \sigma_{fcr} & \varepsilon_{ft} \\ \geq \varepsilon_{fcr} \end{cases} \quad (2)$$

$$y = \begin{cases} \frac{\varepsilon_{fcr}}{\varepsilon_{ft}} \cdot (h - x) & \varepsilon_{ft} \geq \varepsilon_{fcr} \end{cases} \quad (3)$$

$$F_{cc} = \begin{cases} 0.5 \cdot x \cdot b \cdot E_c \cdot \varepsilon_{ft} & \varepsilon_{ft} < \varepsilon_{ftcr} \\ 0.5 \cdot x \cdot b \cdot E_c \cdot \varepsilon_c & \varepsilon_{ft} \geq \varepsilon_{ftcr} \end{cases} \quad (4)$$

$$F_{st} = \begin{cases} \varepsilon_{ft} \cdot E_c \cdot A_s & \varepsilon_{st} < \varepsilon_{ys} \\ A_s \cdot \sigma_{ys} & \varepsilon_{st} \geq \varepsilon_{ys} \end{cases} \quad (5)$$

$$0 = -F_{cc} + F_{ft1} + F_{ft2} + F_{st} \quad (6)$$

$$M = F_{cc} \cdot \left(x - \frac{1}{3}x\right) + F_{ft1} \cdot \left(y - \frac{1}{3}y\right) + F_{ft2} \cdot \left(y + \frac{h-x-y}{2}\right) + F_{st} \cdot (d-x) \quad (7)$$

$$k = \frac{\varepsilon_c}{x} \quad (8)$$

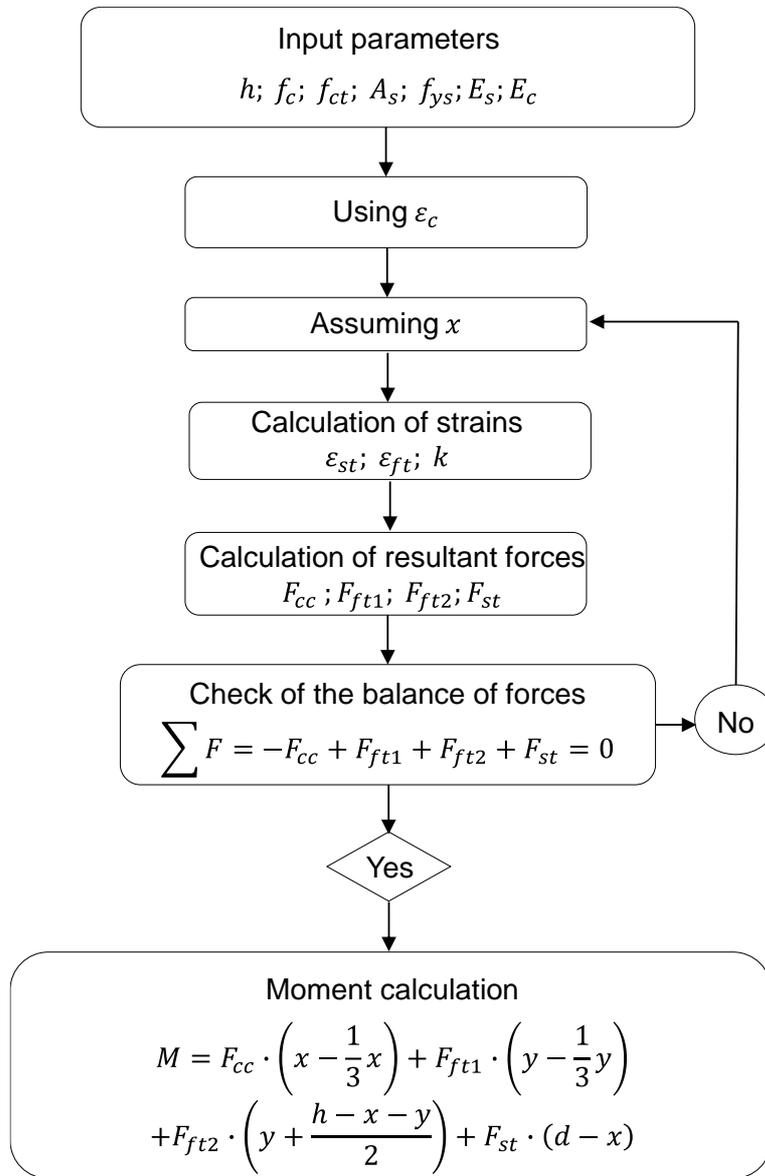
$$\frac{\varepsilon_c}{x} = \frac{\varepsilon_{st}}{d-x} \quad (9)$$

$$\frac{\varepsilon_c}{x} = \frac{\varepsilon_{ft}}{h-x} \quad (10)$$

$$\frac{M}{k} = EI \quad (11)$$

$$\delta_{\max} = \frac{Pa}{24EI} (3L^2 - 4a^2) \quad (12)$$

Figure 7 – Flowchart to determine the moment-curvature diagram

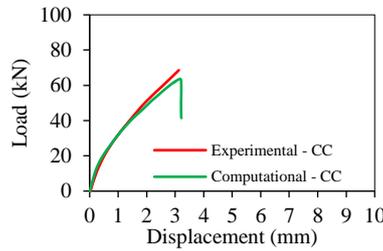


Source: Authors, 2023.

III. RESULTS

Figure 8 shows a comparison of the load-displacement ratio between the computational and experimental results. The experimental curve represents the average of the two tests. The CC computational model satisfactorily represented the experimental behavior of the beam. Table 4 lists the percentages of the errors calculated from the experimental and computational results.

Figure 8 - Load-displacement curve



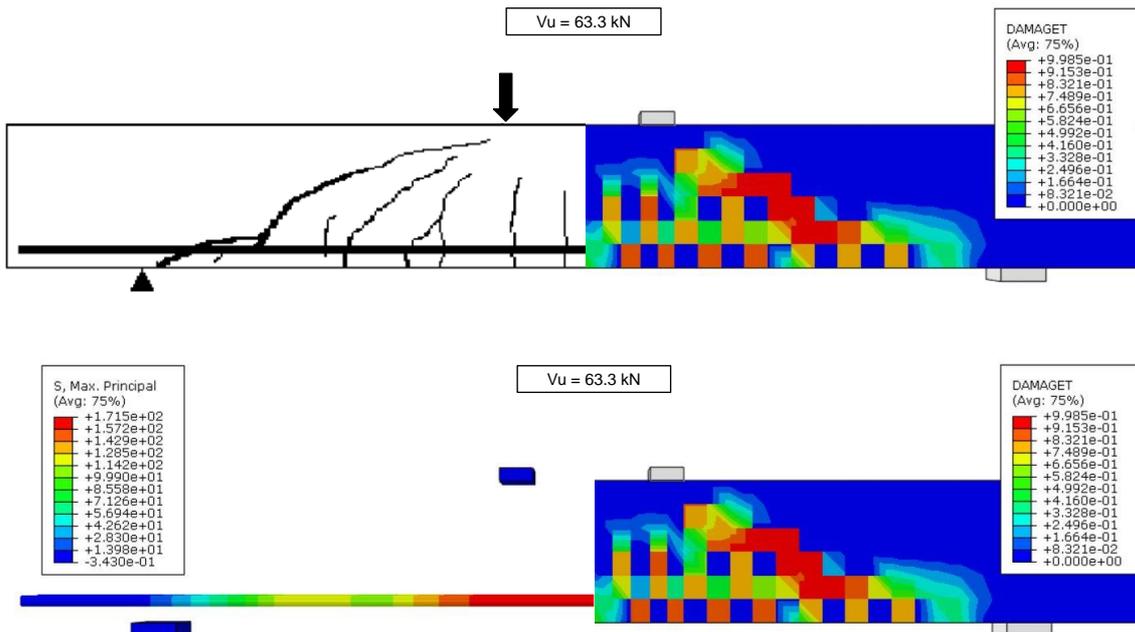
Source: Authors, 2023.

Table 4 - Experimental and computational results

Experimental result - CC		Computational result - CC			
Failure load (kN)	Deflection failure (mm)	Failure load (kN)	Error (%)	Deflection failure (mm)	Error (%)
68.2	3.1	63.6	6.7	3.2	3.2

Damage is the best way to represent the analysis of beam cracking, as one can check how much penalty has been applied to the concrete. As previously discussed, this variable can take values ranging from zero to one, for undamaged and fully damaged materials, respectively. Figure 9 shows a comparison between the experimental map cracking and the CC computational model. The computational model satisfactorily predicted shear failure. In addition, the bending cracks in the computational model were similar to those in the experimental results.

Figure 9 - Experimental map cracking - Computational for CC

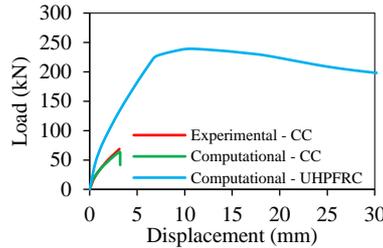


Source: Authors, 2023.

Figure 10 shows the failure modes of the CC and UHPFRC computational models. It was found that UHPFRC could change the failure mode of the beam from brittle to ductile, thus increasing the shear strength and causing bending shear failure of the beam. When the UHPFRC model was compared to that of the beams with transverse

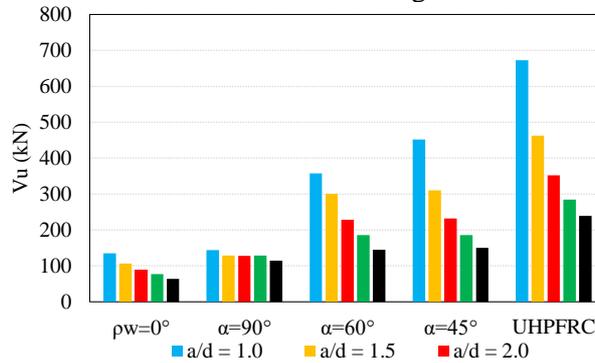
reinforcement, as shown in Figure 11, it was found that UHPFRC significantly increased the beam shear strength for all the “ a/d ” ratios tested. Therefore, it is an excellent option for avoiding shear failure.

Figure 10 - Load-displacement curve



Source: Authors, 2023.

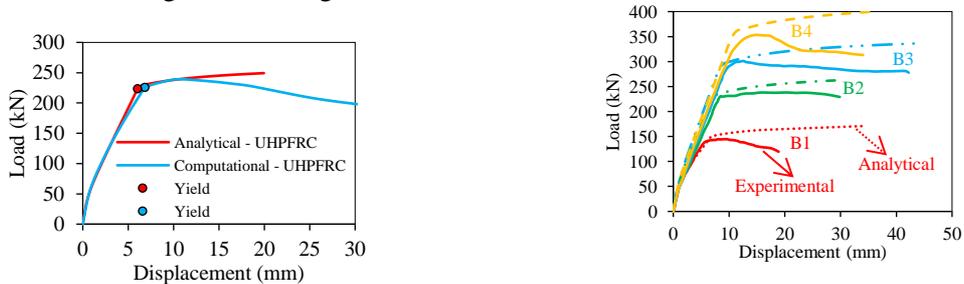
Figure 11 - Influence of the a/d ratio on beam shear strength for different types of reinforcement



Source: Authors, 2023.

To validate the UHPFRC Computational Model, the analytical methodology previously presented was applied to both the UHPFRC Computational Model and the 4 (four) experimental UHPFRC beams developed by Chen *et al.* (2018). As shown in Figure 12, the load-displacement diagram of the Analytical Model satisfactorily predicted the behavior of the UHPFRC beams.

Figure 12 - Diagrams of the behavior of UHPFRC beams



a) Analytical UHPFRC – Computational UHPFRC

b) Analytical UHPFRC – Experimental UHPFRC

IV. CONCLUSIONS

This study reported the results of the methodology for computational non linear calibrations of a conventional-strength reinforced concrete beam. To calibrate the model, different values were used for the CDP parameters and for the sizes and types of mesh elements. The calibrated model satisfactorily predicted the experimental behavior. The

failure mode of the finite element C3D8R/T3D2 was more similar to that determined experimentally. Parametric analysis showed that the beams reinforced with inclined stirrups had significant strength gains; however, the greatest gains occurred when conventional concrete was replaced with UHPFRC. The analytical model could effectively predict the failure load of the UHPFRC Computational Model and of 4 (four) experimental beams that were tested. This proved to be a simple and efficient tool for estimating the behavior of UHPFRC beams, presenting 6.7 % error for max load and 3.2 % error for deflection.

V. REFERENCES

- Abaqus Theory Manual (6.14). **Dassault Systems**, Providence, RI, USA, 2014.
- BIRTEL, V.; MARK, P. Parameterized Finite Element Modelling of RC Beam Shear Failure. **Abaqus User's Conference**, p. 95–108, 2006.
- CHEN, Shiming *et al.* Flexural behavior of rebar-reinforced ultra-high-performance concrete beams. **Magazine of Concrete Research** 70 (19) 997-1015, 2018.
- CHEN, Wensu *et al.* Numerical investigation of flexural behaviours of precast segmental concrete beams internally post-tensioned with unbonded FRP tendons under monotonic loading. **Engineering Structures**, v. 249, 113341, 2021.
- COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. **CEB-FIP Model Code 1990**: Design Code Thomas Telford Publishing, 1993.
- ĆURČIN, Anka STARČEV *et al.* **Nonlinear Static Analysis Of Rc Wall Using Abaqus Program**. Doctoral Thesis, 2018.
- FEHLING, E. *et al.* **Ultra-High Performance Concrete UHPC**. [s.l.] Ernst and Sohn, 2014.
- GENIKOMSOU, Aikaterini S.; POLAK, Maria Anna. Finite element analysis of reinforced concrete slabs with punching shear reinforcement. **Journal of Structural Engineering**, v. 142, n. 12, p. 04016129, 2016.
- HORDIJK, D. A. **Local Approach to Fatigue of Concrete**. Doctor dissertation, Delft University of Technology, Netherlands. ISBN 90/9004519-8. 1991.
- KADHIM, Majid M.A.; SALEH, Abdul Ridah; CUNNINGHAM, Lee S.; SEMENDARY, Ali A. Numerical investigation of non-shear-reinforced UHPC hybrid flat slabs subject to punching shear. **Engineering Structures**, v. 241, 112444, 2021.
- KRAHL, Pablo Augusto; CARRAZEDO, Ricardo; EL DEBS, Mounir Khalil. Mechanical damage evolution in UHPFRC: experimental and numerical investigation. **Engineering Structures**, v. 170, p. 63-77, 2018.
- KUPFER, Helmut; HILSDORF, Hubert K.; RUSCH, Hubert. Behavior of concrete under biaxial stresses. In: **Journal proceedings**. 1969. p. 656-666.
- LABIBZADEH, Mojtaba; ZAKERI, Mojtaba; SHOAI, Abdol Adel. A new method for CDP input parameter identification of the ABAQUS software guaranteeing uniqueness and precision. **International Journal of Structural Integrity**, 2017.
- LEE, Swoo-Heon *et al.* ABAQUS modeling for post-tensioned reinforced concrete beams. **Journal of Building Engineering**, v. 30, p. 101273, 2020.
- LEONHARDT, Fritz; WALTHER, René. **Schubversuche an einfeldrigen Stahlbetonbalken mit und ohne Schubbewehrung zur Ermittlung der Schubtragfähigkeit und der oberen Schubspannungsgrenze**. Ernst, 1962.

- LEUTBECHER, T.; FEHLING, E. **A simple design approach for UHPFRC in bending.** n. 1, p. 509–518, 2013.
- MAHMUD, Goran H.; YANG, Zhenjun; HASSAN, Aram MT. Experimental and numerical studies of size effects of Ultra-High Performance Steel Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC) beams. **Construction and Building Materials**, v. 48, p. 1027-1034, 2013.
- MILLIGAN, Graeme J.; POLAK, Maria Anna; ZURELL, Cory. Finite element analysis of punching shear behaviour of concrete slabs supported on rectangular columns. **Engineering Structures**, v. 224, 111189, 2020.
- MILLIGAN, Graeme J.; POLAK, Maria Anna; ZURELL, Cory. Finite element analysis of punching shear behavior of reinforced concrete slabs supported on walls. **Structural Concrete**, v. 23, p. 1118-1133, 2022.
- NAVARRO, M.; IVORRA, S.; VARONA, F. B. Parametric computational analysis for punching shear in RC slabs. **Engineering Structures**, v. 165, p. 254-263, 2018.
- NAVARRO, M.; IVORRA, S.; VARONA, F. B. Parametric finite element analysis of punching shear behaviour of RC slabs reinforced with bolts. **Computers and Structures**, v. 228, 106147, 2020.
- PINTO, Valdemir Colares; BRANCO, Vitor; OLIVEIRA, Denio Ramam. Punching in two-way RC flat slabs with openings and L-section columns. **Engineering Computations**, 2019.
- QINGFU, Li; WEI, Guo; YIHANG, Kuang. Parameter calculation and verification of concrete plastic damage model of ABAQUS. In: IOP Conference Series: **Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2020. p. 012036.
- REWERS, Iga. Numerical analysis of RC beam with high strength steel reinforcement using CDP model. In: IOP Conference Series: **Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2019. p. 022025.
- SANTOS, C. F. R. *et al.* Numerical and experimental evaluation of masonry prisms by finite element method. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 10, n. 2, p. 477-508, 2017.
- SPECK, Kerstin. Beton unter mehraxialer Beanspruchung: ein Materialgesetz für Hochleistungsbetone unter Kurzzeitbelastung. Inst. für Massivbau, Techn. Univ., 2008.
- YIN, Hor; SHIRAI, Kazutaka; TEO, Wee. Finite element modelling to predict the flexural behaviour of ultra-high performance concrete members. **Engineering Structures**, v. 183, p. 741-755, 2019.
- YOO, Doo-Yeol; YOON, Young-Soo. Structural performance of ultra-high-performance concrete beams with different steel fibers. **Engineering Structures**, v. 102, p. 409-423, 2015.
- ZHENG, Bowen; ZHENG, Wenzhong; CAO, Bang; ZHANG, Yanzhe. Nonlinear finite element analysis of non-symmetrical punching shear of rectangular flat slabs supported on square columns. **Engineering Structures**, v. 277, 115451, 2023.

VI. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors gratefully acknowledge the financial support of CNPQ, CAPES and IFPA.

VII. COPYRIGHT

The authors are solely responsible for the material included in the article.

INOVAÇÃO PARA REDUZIR O USO DO AR- CONDICIONADO: EXPLORANDO PROTÓTIPOS DE MATERIAIS PARA UM RESFRIAMENTO SUSTENTÁVEL

INNOVATION TO REDUCE AIR CONDITIONING USAGE: EXPLORING MATERIAL PROTOTYPES FOR SUSTAINABLE COOLING

Luana Ribeiro PINHEIRO¹
João Dalton DAIBERT²

Resumo – A inovação impulsiona o desenvolvimento humano ao substituir métodos mais arcaicos, o que pode ser crucial para a evolução da construção civil no Brasil. Quando alinhada ao uso de tecnologias, são abertas novas oportunidades que podem levar ao desenvolvimento de novos materiais. Este artigo se trata de uma revisão bibliográfica que tem por objetivo expor e expandir conhecimentos sobre protótipos inovadores que compartilham da finalidade de substituir ou reduzir o uso de ventiladores e ar-condicionado, promovendo o consumo consciente de energia e reduzindo a emissão de CO₂ para a implementar o crescimento da Engenharia Civil e melhorar a qualidade de vida. Esta revisão foi feita através de pesquisas e separação de informações pertinentes de artigos e websites relacionados com o assunto. Foi exposta a diversidade de protótipos de materiais que foram produzidos ao redor do mundo, cada um seguindo uma filosofia e tecnologias diferentes que, independente do custo, causariam impactos positivos nas questões ambientais e tecnológicas, além de promover a utilização de novos materiais e métodos nas obras. Em suma, notou-se a importância do incentivo a criação desses materiais em prol da redução da emissão de CO₂ e ao encontro do setor da construção civil com a sustentabilidade.

Palavras-chave: Hidrocerâmica. Sustentabilidade. Inovação. Tecnologia.

Abstract - Innovation drives human development by replacing more archaic methods, which can be crucial for the evolution of civil construction in Brazil. When aligned with the use of technologies, new opportunities are opened that can lead to the development of new materials. This article is a literature review that aims to expose and expand knowledge about innovative prototypes that share the purpose of replacing or reducing the use of fans and air conditioning, promoting conscious energy consumption, and reducing CO₂ emissions to implement the growth of Civil Engineering and improve the quality of life. This review was conducted through research and the extraction of relevant information from articles and websites related to the subject. The diversity of material prototypes produced around the world was exposed, each

¹ Graduanda de Engenharia Civil (IFSP/Campus Caraguatatuba). Contato: luanaribeiro_p@hotmail.com.

² Docente de Engenharia Civil (IFSP – Campus Caraguatatuba). Contato: prof.joaldalton@ifsp.edu.br

following a different philosophy and technologies that, regardless of cost, would have positive impacts on environmental and technological issues, as well as promoting the use of new materials and methods in construction. In summary, the importance of encouraging the creation of these materials for the reduction of CO₂ emissions and the convergence of the construction sector with sustainability was noted.

Keywords: *Hydroceramic. Sustainability. Innovation. Technology.*

I. INTRODUÇÃO

A inovação tem sido essencial para o desenvolvimento humano ao longo da história ao substituir métodos antigos e simplificar a vida das pessoas. Sua importância perdura impulsionando a evolução da sociedade. A Lei nº 10.973/2004, conhecida como "Lei da Inovação", define a inovação como:

“Introdução de novidade ou aperfeiçoamento no ambiente produtivo e social que resulte em novos produtos, serviços ou processos ou que compreenda a agregação de novas funcionalidades ou características a produto, serviço ou processo já existente que possa resultar em melhorias e em efetivo ganho de qualidade ou desempenho (BRASIL, 2004).”

A Lei explica que a inovação também abrange melhorias do que já existe, não apenas criação, o que pode impulsionar produtos acessíveis, vantagem competitiva e melhorias de processo. Na construção civil, a inovação tecnológica pode aprimorar fatores de tempo e custo. Aprimorar ou criar materiais na construção traz vantagens, como redução de processos e aumento de lucratividade da empresa. De acordo com Pott, Eich e Rojas (2017), “todos procuram qualidade e rapidez nas obras, que seja aliada com a redução de custos. E tudo isso é possível com a tecnologia, que desenvolve novos materiais, novos métodos, novos programas entre outros.”

Além do aprimoramento de tempo e custo da obra serem bem-vindos, a construção também precisa se preocupar com o impacto ambiental gerado. De acordo com dados da ABRELPE, a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em 2022 foi de aproximadamente 81,8 milhões de toneladas, o que corresponde a 224 mil toneladas diárias (ABRELPE, 2022). Sendo que, em 2021, foram coletados mais de 48 milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) (ABRELPE, 2022). A grande quantidade de resíduos da construção afeta negativamente o meio ambiente e exige responsabilidade para reparar os danos causados à natureza. De acordo com o United Nations Environment Programme (2022), “em economias em rápido crescimento de países em desenvolvimento, materiais de construção estão prestes a dominar o consumo de recursos, com expectativa de que as emissões de gases de efeito estufa associadas dobrem até 2060.”

“A sustentabilidade aplicada à construção civil, visa diminuir os problemas causados pelos métodos arcaicos que ainda predominam no setor”. (CONCEIÇÃO; SANTOS, p.427, 2021). A questão ambiental incentivou a criação de alternativas dentro do sistema construtivo tradicional, de forma a colaborar com o desenvolvimento sustentável e de restaurar ao máximo os danos causados não só pelo setor, mas também pelo conjunto de outras áreas e ações humanas que levaram a degradação ambiental.

Uma das formas de reconciliação da construção civil com o meio ambiente pode ser chamada de “construção sustentável”.

“Construção sustentável é um sistema construtivo que realiza alterações de maneira consciente no entorno, atendendo as necessidades de

edificação, habitação e uso do homem atual, preservando o meio ambiente e os recursos naturais, garantindo a qualidade de vida às gerações atuais e futuras (Araújo, 2008 *apud*. ROTH; GARCIAS, p.124, 2009).”

Para atingir estes objetivos, ações como o uso de materiais menos agressivos e racionalização de recursos naturais foram necessárias.

“Algumas ações, tais como: o uso de materiais menos agressivos de forma geral, diminuição de desperdícios com água e energia, a utilização de energia solar, ações que visem a melhoria da qualidade do ar e do espaço interno podem fazer uma grande diferença e vem sendo implementadas pouco a pouco nas construções sustentáveis (CONCEIÇÃO; SANTOS, p.427, 2021).”

Há diversas formas de fazer com que uma construção seja classificada como sustentável, uma delas é recorrer ao uso de materiais diferentes dos utilizados habitualmente. Materiais reaproveitados ou totalmente novos que tragam a abordagem sustentável são bem-vindos ao setor e podem ser chamados de materiais sustentáveis. “Um produto dito sustentável apresenta características menos poluentes ou teve menor consumo de energia, água ou recursos naturais na sua produção, quando comparado com os produtos convencionais” (CAIADO, 2014 *apud*. CONCEIÇÃO; SANTOS, 2021).

II. METODOLOGIA

Para a elaboração do artigo foi utilizada a revisão bibliográfica como método de desenvolvimento. A pesquisa do material foi feita por meio da internet através de leitura de artigos, separação de informações em websites, livros e de outras ferramentas que foram úteis para o auxílio de coleta de informações.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

"Hidrocerâmica" é o nome dado a um protótipo de material com a habilidade de isolar e refrigerar um espaço fechado independentemente de recursos externos, como eletricidade ou intervenção humana. Esse material em desenvolvimento é uma forma de cerâmica que pode ajustar a temperatura interna baseando-se na situação climática externa.

“O protótipo final “Hidrocerâmica” funciona como um dispositivo de resfriamento evaporativo que reduz a temperatura e aumenta a umidade e é capaz de baixar a temperatura do ambiente interno em cerca de 5 a 6 graus. Sua inteligência passiva incorporada torna seu desempenho diretamente proporcional ao calor no ambiente externo, ou seja, esfria mais quando está mais quente e não esfria quando não está ocorrendo evaporação (MITROFANOVA; RATHEE; SANTAYANON, 2013).”

O protótipo, ilustrado pela Figura 1, foi concebido em 2013 por três estudantes do Instituto de Arquitetura Avançada de Catalunha (IAAC): Akanksha Rathee, Elena Mitrofanova e Pongtida Santayanon. Eles faziam parte do grupo de pesquisa "Digital Matter - Intelligent Constructions", que visava aprimorar a eficiência na construção civil por meio de simulações digitais e fabricação.

Figura 1 – Hidrocerâmica



Fonte: MITROFANOVA; RATHEE; SANTAYANON, 2013.

Elena Mitrofanova, Akanksha Rathee e Pong Santayanon propuseram um material com dupla função: atuar como isolante térmico e refrigerar espaços fechados, promovendo economia de energia. A visão era substituir ventiladores e ar-condicionado em residências e edifícios. Esse material foi criado pela combinação de partículas de hidrogel e placas cerâmicas feitas de argila comum.

“A hidrocerâmica é um projeto que especula sobre os processos termodinâmicos em edifícios e como estes podem ser abordados passivamente com uma classe de materiais chamada "hidrogel". Ao combinar a propriedade de evaporação dos hidrogéis com a massa térmica e a propriedade de controle de umidade da cerâmica e tecido argiloso, um material composto responsivo ao calor e à água foi criado. A solução proposta é um sistema de evapotranspiração passiva capaz de baixar a temperatura de um espaço interior em 5°C (INSTITUTE FOR ADVANCED ARCHITECTURE OF CATALONIA, 2014).”

A Hidrocerâmica é composta por hidrogel, argila e tecido cortado a laser. O hidrogel é crucial e será detalhado mais adiante. A argila é usada na cerâmica e testada para condução térmica e umidade. “Argila, Alumínio e Acrílico foram testados contra um controle que ajudou a determinar que é a natureza porosa da argila que faz com que ela auxilie as propriedades de resfriamento do hidrogel da melhor maneira.” (MITROFANOVA; RATHEE; SANTAYANON, 2013)

O tecido cortado a laser é um tecido com padrões de corte e é testada principalmente para absorção de água e expansão. O foco de testagem dos componentes é compreender sua condutividade e comportamento em relação à água e expansão, princípios relacionados a funcionalidade do hidrogel. A Figura 2 a seguir ilustra o elemento hidrogel.

Figura 2 – Hidrogel



Fonte: Institute for Advanced Architecture of Catalonia (IAAC), 2014

O hidrogel é um conjunto de polímeros que tem a capacidade de absorver até 400 vezes o seu peso seco com pouco tempo em contato com a água. Também apresenta alta capacidade de reter e absorver água sem a possibilidade de sua decomposição.

“Quimicamente podem ser polímeros insolúveis de hidroxietilacrilato, acrilamida, óxido de polietileno, entre outros. Como um auxiliar de resfriamento, eles funcionam expondo a água absorvida a uma grande área de superfície. Como o calor de vaporização da água é de cerca de 0,6 quilocalorias por grama, ocorre um efeito de resfriamento (MITROFANOVA; RATHEE; SANTAYANON, 2013).”

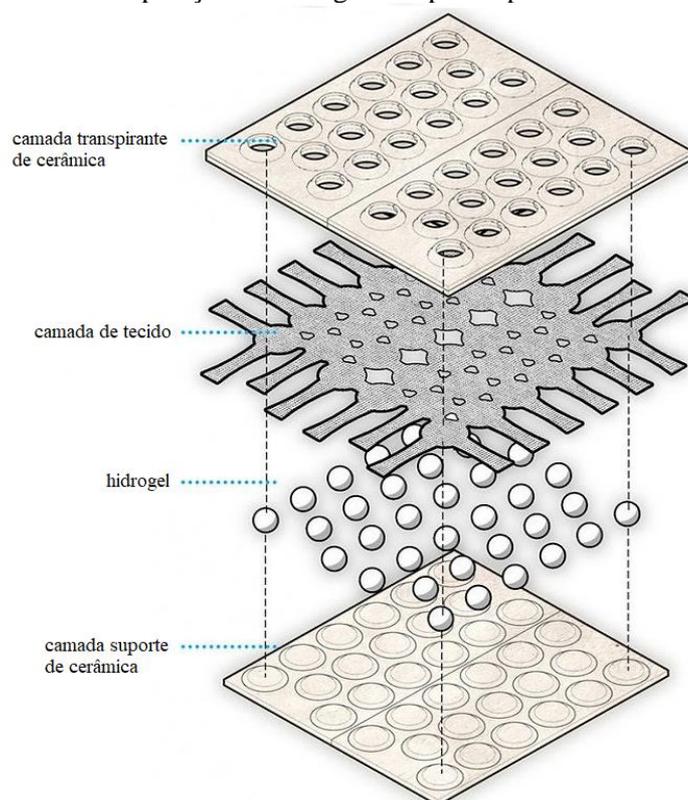
A expansão do hidrogel ao entrar em contato com a água é o mecanismo chave para o funcionamento da Hidrocerâmica. Em dias frios ou chuvosos, o hidrogel absorve a água oriunda da chuva ou da umidade e aumenta de tamanho. Em uma placa de Hidrocerâmica, são colocadas várias bolinhas de hidrogel que, ao aumentarem seu tamanho e peso, formam uma camada isolante que mantém a temperatura do ambiente fechado. Vale pontuar que a Hidrocerâmica não “esquenta” o ambiente, mas mantém a temperatura do local gerando conforto térmico em dias mais frios.

Em dias quentes, graças ao calor, a água absorvida pelo hidrogel entra em processo de evaporação. “Uma camada de tecido puxa e canaliza a água, e se comporta como um transmissor de líquido por todo o sistema, enquanto, por sua elasticidade, mantém o hidrogel em posição” (MARKOPOULOU, p.13, 2019). O processo libera vapor de água e esse vapor entra em contato com a argila (cerâmica) que, por sua vez, será responsável por diminuir a temperatura do vapor e pela transferência de resfriamento, para dentro do ambiente. Esse processo é chamado de resfriamento evaporativo.

“A camada de argila que fica em direção ao exterior é projetada e fabricada como uma superfície disposta com formas cônicas abertas, para aumentar a ventilação e permitir o acesso de água - em seus diversos estados - e ar para alcançar o hidrogel. As geometrias cônicas dessa camada são personalizadas com base na orientação da fachada do edifício para otimizar tanto a absorção de água quanto a direção da evaporação (MARKOPOULOU, p.13, 2019).”

Como o material exige poucos componentes, sua montagem acaba por ser simples. A Hidrocerâmica é revestida por uma cerâmica com furos em forma de bolhas que ajudam o hidrogel a expandir durante o crescimento sem se danificar. Entre as duas placas de cerâmica, há um tecido cortado a laser que funciona como um canal de água, permitindo que a água flua e entre em contato com o hidrogel. Esse tecido também permite que o hidrogel se expanda. Por fim, o hidrogel é inserido entre a placa cerâmica e o tecido, desempenhando sua função principal no material. A Figura 3 a seguir ilustra como a montagem da Hidrocerâmica é feita.

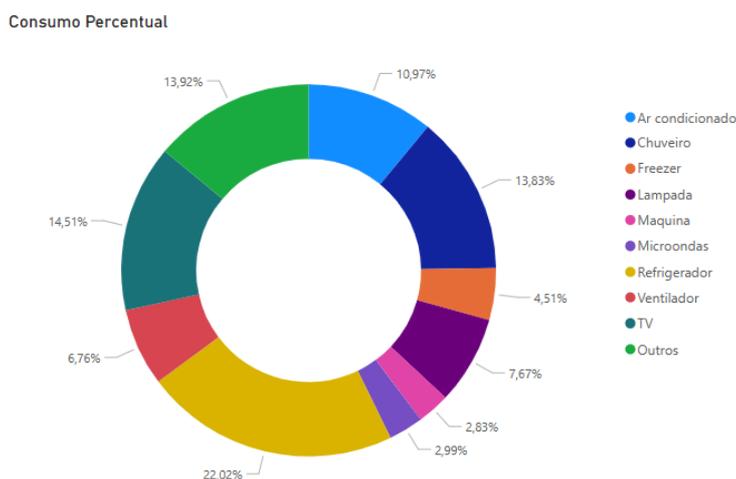
Figura 3 – Composição e montagem do protótipo da Hidrocerâmica



Fonte: MITROFANOVA; RATHEE; SANTAYANON, 2013, modificado pela autora.

De acordo com PROCEL (2019) os condicionadores de ar são responsáveis por cerca de 11% de toda energia elétrica consumida por eletrodomésticos no país na classe residencial, como indicado na Figura 4. Conforme Mitrofanova, Rathee e Santayanon (2013), a Hidrocerâmica “pode ajudar a economizar até 28% do consumo total de eletricidade causado pelo ar-condicionado tradicional e pode ser usado como uma tecnologia de construção alternativa de baixo custo, pois tanto a argila quanto o hidrogel são baratos.”

Figura 4 – Consumo Percentual de Aparelhos Elétricos no Brasil

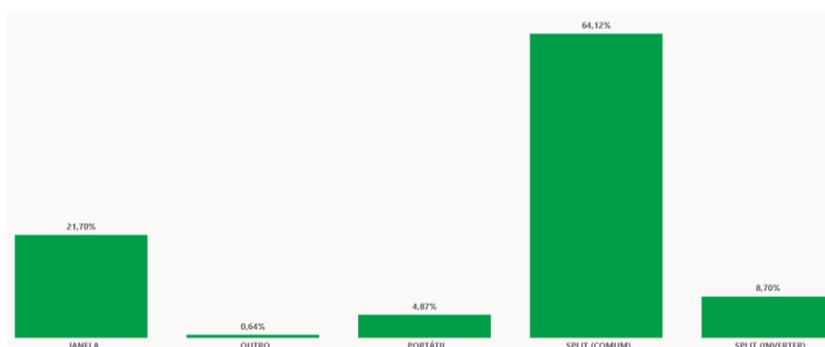


Fonte: PROCEL, 2019.

Como evidenciado, o material tem a capacidade de gerar impactos tanto no âmbito ambiental quanto no econômico. De acordo com o estudo realizado por Mitrofanova, Rathee e Santayanon (2014), um aumento de apenas 1°C na temperatura do ar-condicionado resulta em uma economia de 7% no consumo total de energia. Com a utilização da Hidrocerâmica, é possível alcançar um aumento de 4°C no aparelho, o que resultaria em uma economia de 28% no consumo de energia.

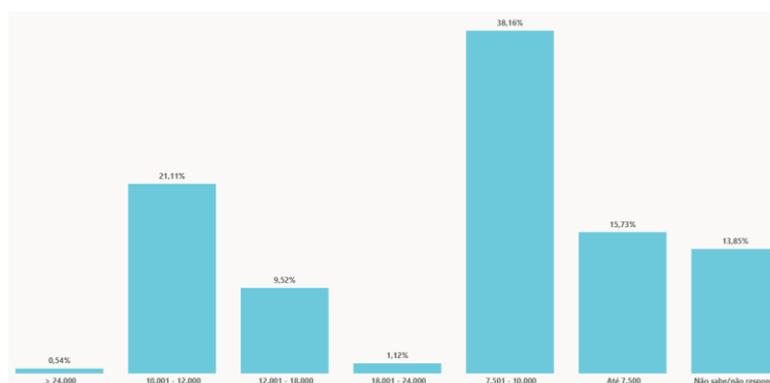
Segundo PROCEL (2019), os condicionadores de ar mais utilizados no setor residencial apresentam capacidade entre 7051 e 10000 Btu/h. As Figuras 5 e 6 a seguir mostram os tipos de ar-condicionado mais utilizados e suas capacidades térmicas que serão utilizados como base nos cálculos seguintes.

Figura 5 - Tipo de Aparelho de Ar-condicionado mais utilizado no Brasil



Fonte: PROCEL, 2019.

Figura 6 – Capacidade Térmica dos aparelhos mais utilizados (BTU/h)



Fonte: PROCEL, 2019.

Ao considerar um ar-condicionado do tipo split com capacidade menor ou igual a 10.000 BTU/h como base, que possui um consumo médio de 142,28 kWh por mês (ligado por 8 horas diárias) (Figura 7) e levando em consideração que cada 1 kWh de eletricidade consumida gera aproximadamente 0,7 kg de emissão de CO₂, pode-se calcular:

$$1 \text{ kWh} \rightarrow 0,7 \text{ kg de CO}_2$$

$$142,28 \text{ kWh} * 0,7 \text{ kg de CO}_2 = 99,60 \text{ kg de CO}_2 \text{ emitidos por mês}$$

A Hidrocerâmica ajuda a economizar até 28% do consumo de energia:

$$142,28 \text{ kWh} * 0,28 = 39,84 \text{ kWh}$$

$$39,84 \text{ kWh} * 0,7 \text{ kg de CO}_2 = 27,89 \text{ kg de CO}_2$$

Conclui-se que haverá uma redução de 27,89 kg de CO₂ emitidos mensalmente ao utilizar a Hidrocerâmica, considerando apenas o caso residencial.

Figura 7 – Consumo Médio Mensal de Aparelhos Elétricos (KWh)

Aparelhos Elétricos	Dias Estimados Uso/Mês	Média Utilização/Dia	Consumo Médio Mensal (kWh)
Aparelho de blu ray	8	2 h	0,19
Aparelho de DVD	8	2 h	0,24
Aparelho de som	20	3 h	6,60
Aquecedor de ambiente	15	8 h	193,44
Aquecedor de mamadeira	30	15 min	0,75
Aquecedor de marmita	20	30 min	0,60
Ar-condicionado tipo janela menor ou igual a 9.000 BTU/h	30	8 h	128,80
Ar-condicionado tipo janela de 9.001 a 14.000 BTU/h	30	8 h	181,60
Ar-condicionado tipo janela maior que 14.000 BTU/h	30	8 h	374,00
Ar-condicionado tipo split menor ou igual a 10.000 BTU/h	30	8 h	142,28
Ar-condicionado tipo split de 10.001 a 15.000 BTU/h	30	8 h	193,76
Ar-condicionado tipo split de 15.001 a 20.000 BTU/h	30	8 h	293,68
Ar-condicionado tipo split de 20.001 a 30.000 BTU/h	30	8 h	439,20
Ar-condicionado tipo split maior que 30.000 BTU/h	30	8 h	679,20

Fonte: PROCEL, 2019.

O material hidrocerâmico funciona automaticamente, sem energia ou intervenção humana. Em contraste, o ar-condicionado precisa de energia e é afetado pela "carga térmica", influenciando seu consumo. Segundo Souza (2010), a carga térmica pode ser descrita como a “taxa de calor que deve ser retirada ou fornecida a um ambiente para que o mesmo se mantenha a temperatura e umidade constantes.”

“Um dos fatores responsáveis pelo consumo energético dos aparelhos de ar-condicionado é a carga térmica, que depende diretamente do projeto de edificação. Dessa maneira, constata-se que a carga térmica por insolação de uma edificação contribui de forma expressiva no consumo de energia, em especial quando se usa aparelhos de ar-condicionado (SOUZA, p.15, 2010).”

Além da Hidrocerâmica, há outros protótipos que buscam reduzir ou substituir o ar-condicionado para economizar energia e minimizar impactos ambientais. Por exemplo, o refrigerador cerâmico de baixa tecnologia (Figura 8), desenvolvido em 2022 pelo estúdio francês Entreaute, segue uma abordagem similar à Hidrocerâmica e foi criado em cerâmica com uma impressora 3D exclusiva para o laboratório do estúdio. “A máquina é alimentada por um tanque cilíndrico no qual a terra é colocada e empurrada por um pistão para o bocal. A terra é assim depositada camada após camada em um fio contínuo, como uma bobina.” (ENTREAUTRE, 2022)

Figura 8 – Refrigerador cerâmico de baixa tecnologia



Fonte: Entreaute, 2022.

Quando o estúdio recebeu a impressora 3D, usou-a para criar objetos de cerâmica que seriam impossíveis de fazer manualmente, os modelos criados acabaram servindo de inspiração para criar o design interno do refrigerador cerâmico. Segundo o estúdio Entreaute (2022), o protótipo partiu de um “princípio simples inspirado em práticas tradicionais: um recipiente de terracota (poroso) cheio de água. Graças a um sistema de ventilação (REEE), o fluxo de ar em contato com a parede molhada permite que a água evapore para produzir frio.” A terracota é um material composto por argila e água; apresenta um tom avermelhado e é bastante utilizada em construções e fabricação de cerâmicas. REEE é a sigla para Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos que Afonso, J. C. (2018) define como:

“[...] resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) ou simplesmente resíduos eletroeletrônicos (REE), ou ainda lixo eletroeletrônico (e-waste ou WEEE), são equipamentos que possuem em suas partes internas componentes elétricos e eletrônicos responsáveis pelo funcionamento dos mesmos, e que por razões de obsolescência (perceptiva ou programada) e impossibilidade de conserto são descartadas pelos seus consumidores (AFONSO, J. C., 2018).”

Como exemplos de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos, podem ser citados os celulares, televisores, equipamentos médicos, eletrodomésticos, entre outros. No refrigerador, um REEE foi utilizado para criar um sistema de ventilação para aumentar o efeito de resfriamento do ar ao entrar em contato com o material cerâmico, como mostra a Figura 9.

Figura 9 – Sistema de ventilação integrada ao protótipo (REEE)



Fonte: Entreaute, 2022.

O material possui um interior estruturado de maneira semelhante à árvore de coral, formando um labirinto que facilita a circulação de água para umidificar as paredes, como mostra a Figura 10. A natureza porosa da terracota possibilita a eficaz absorção e retenção de umidade. Quando o material úmido entra em contato com o ar circundante, ocorre a evaporação, liberando ar fresco no ambiente e consequentemente resfriando o espaço.

Figura 10 – Design do Refrigerador Cerâmico no seu interior



Fonte: Entreaute, 2022.

Outro protótipo a ser lançado no mercado foi desenvolvido pela equipe de pesquisa do MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts) em 2022. Trata-se de um dispositivo de resfriamento passivo que, segundo Chandler no portal do MIT (2022), tem o objetivo de preservar alimentos e complementar os condicionadores de ar convencionais em edifícios, sem necessidade de energia e apenas uma pequena necessidade de água.

“O sistema, que combina resfriamento radiativo, resfriamento evaporativo e isolamento térmico em um pacote fino que pode se assemelhar aos painéis solares existentes, pode fornecer até cerca de 19 graus Fahrenheit (9,3 graus Celsius) de resfriamento a partir da temperatura ambiente, o suficiente para permitir o armazenamento seguro de alimentos por cerca de 40% mais tempo em condições muito

úmidas. Pode triplicar o tempo de armazenamento seguro em condições de secagem (CHANDLER, 2022).”

O projeto visa conservar alimentos sem alto gasto energético. Além disso, o protótipo pode enviar água gelada através de tubos para resfriar o condensador do ar-condicionado e diminuir seu consumo de energia. “Em locais que têm sistemas de ar-condicionado existentes em edifícios, o novo sistema poderia ser usado para reduzir significativamente a carga sobre esses sistemas, enviando água fria para a parte mais quente do sistema, o condensador.” (CHANDLER, 2022) O sistema é composto por três camadas, em que juntas permitem com que o aparelho possa combinar o resfriamento evaporativo, resfriamento radiativo e o isolamento térmico.

“A camada superior é um aerogel, um material que consiste principalmente de ar fechado nas cavidades de uma estrutura semelhante a uma esponja feita de polietileno. O material é altamente isolante, mas permite livremente a passagem de vapor de água e radiação infravermelha. A evaporação da água (subindo da camada abaixo) fornece parte do poder de resfriamento, enquanto a radiação infravermelha, aproveitando a extrema transparência da atmosfera da Terra nesses comprimentos de onda, irradia parte do calor diretamente pelo ar e para o espaço – ao contrário dos condicionadores de ar, que expõem ar quente para o ambiente circundante imediato (CHANDLER, 2022).”

Abaixo da camada de aerogel, há uma camada de hidrogel que será responsável pelo resfriamento evaporativo e funcionará da mesma forma ocorre na Hidrocerâmica. Ainda segundo Chandler (2022) abaixo do hidrogel há:

“(…) uma camada semelhante a um espelho reflete qualquer luz solar recebida que tenha chegado até ela, enviando-a de volta através do dispositivo, em vez de deixá-la aquecer os materiais e, assim, reduzir sua carga térmica. E a camada superior do aerogel, sendo um bom isolante, também é altamente reflexiva ao ar solar, limitando a quantidade de aquecimento solar do dispositivo, mesmo sob forte luz solar direta (CHANDLER, 2022).”

Contrariamente à Hidrocerâmica, o refrigerador do MIT usa o aerogel como componente-chave. Contudo, esse material é caro, produzido em laboratório e requer equipamentos especiais para secagem sem danos. Sua produção em massa exige desenvolvimento adicional. Para resolver o problema, de acordo com Chandler (2022), a “equipe de pesquisa está atualmente explorando maneiras de tornar esse processo de secagem mais barato, como usando liofilização, ou encontrar materiais alternativos que possam fornecer a mesma função isolante a um custo mais baixo, como membranas separadas por uma lacuna de ar.” Ao contrário da Hidrocerâmica, o equipamento exige manutenção ao demandar adição de água para que haja o processo de evaporação, no entanto, ocorreria a cada 4 dias.

IV. CONCLUSÃO

O setor da construção civil tem potencial para integrar tecnologia e lidar com seu impacto ambiental. A Hidrocerâmica oferece um sistema inteligente de resfriamento e isolamento térmico que reduz a necessidade de ar-condicionado, diminuindo o consumo de energia e emissões de gás carbônico, além de ser um sistema automático e de baixo

custo. O projeto Entreautre utiliza materiais porosos, como a terracota e explora tecnologias inovadoras, como a impressão 3D. A combinação de tecnologias, como demonstrado pelo protótipo do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), tem potencial para criar materiais mais eficazes, mesmo considerando fatores de custo e complexidade.

Essas soluções sustentáveis de resfriamento abrangem sistemas inteligentes e multidisciplinares que visam um futuro autossustentável com menos gasto energético e emissão de gás carbônico, fatores dos quais são importantíssimos para questões climáticas, como a colaboração da redução dos efeitos do aquecimento global. À medida que a tecnologia avança, novos materiais irão surgir com o uso de disciplinas e tecnologias cada vez mais diferentes, impulsionando a construção de casas e edifícios com resfriamento sustentável.

A revisão bibliográfica apresentada neste artigo serve como base e incentivo a trabalhos futuros com o desenvolvimento destes protótipos ou novos materiais semelhantes.

V. REFERÊNCIAS

AFONSO, Júlio Carlos. Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos: o antropoceno bate à nossa porta. **Revista Virtual de Química**, [S.L.], v. 10, n. 6, p. 1849-1897, 2018. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20180121>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022**. São Paulo: ABRELPE, 2022. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 02 out. 2023.

BRASIL. Lei n. 10.973, de 2 de dezembro de 2004. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 dez. 2004.

CHANDLER, D. L.. **Passive cooling system could benefit off-grid locations**. 2022. Disponível em: <<https://news.mit.edu/2022/passive-cooling-off-grid-0920>>. Acesso em 30 jul. 2023.

CONCEIÇÃO, J. F. da; SANTOS, M. P. dos . Construção Sustentável. **Epitaya E-books**, [S. l.], v. 1, n. 6, p. 426-458, 2021. DOI: 10.47879/ed.ep.2021250p426. Disponível em: <<https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/194>>. Acesso em 28 jun. 2023.

ENTREAUTRE (França). **Nossas experiências em torno da impressão 3D cerâmica**. 2022. Disponível em: <<https://www.entreautre.com/case-study/i3d-ceramique-design-recherche-drome/>>. Acesso em 29 jul. 2023.

FERNANDES, A. V. B.; AMORIM, J. R. R. **Concreto sustentável aplicado na construção civil**. Cadernos de Graduação Ciências Exatas e Tecnológicas, Aracaju, v. 2, n. 1, p.79-104, jun. 2014. Disponível em <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/cadernoexatas/article/view/1093>>. Acesso em: 6 abr. 2023.

INSTITUTE FOR ADVANCED ARCHITECTURE OF CATALONIA (IAAC). **Hidrocerâmica**, 2014. Disponível em: <<https://iaac.net/project/hydroceramic/>>. Acesso em 15 mar. 2023

MARKOPOULOU, Areti. **DESIGN BEHAVIORS**: programming the material world for responsive architecture. 2019. 160 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura, Department: Projectos Arquitectónicos, Universidad Politécnica de Catalunya (Upc), Barcelona, 2019.

MITROFANOVA, Elena; RATHEE, Akanksha; SANTAYANON, Pong. **HYDROCERAMIC**. Materiability Research Group, 2013. Disponível em: <<http://materiability.com/portfolio/hydroceramic/>>. Acesso em 13 set. 2022.

POTT, Luana Mariana; EICH, Monique Costa; ROJAS, Fernando Cuenca. Inovações tecnológicas na construção civil. **Seminário Interinstitucional De Ensino, Pesquisa E Extensão**, v. 22, 2017.

PROCEL. **Dicas de Economia de Energia**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D>>. Acesso em 21 maio 2023.

ROTH, C. das G.; GARCIAS, C. M. Construção Civil e a Degradação Ambiental. **Desenvolvimento em Questão**, [S. l.], v. 7, n. 13, p. 111–128, 2011. DOI: 10.21527/2237-6453.2009.13.111-128. Disponível em: <<https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/169>>. Acesso em 19 abr. 2023.

SOUZA, Edson Palhares de. **ECONOMIA DE ENERGIA EM AR CONDICIONADO NO BRASIL**: eficiência e economicidade. 2010. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1451/1/dissertacao_0036194.pdf>. Acesso em 05 abr. 2023.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **2022 Global status report for buildings and construction**: towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and constructions sector. Nairobi, 2022.

VI. COPYRIGHT

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

ANÁLISE DE VULNERABILIDADE EM LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA

VULNERABILITY ANALYSIS IN POWER TRANSMISSION LINES

Murilo Almeida Evaristo¹
Valdomiro Vega García²
Marcos Rosa dos Santos³

Resumo – Este é um trabalho de análise de estabilidade em linhas de transmissão de energia elétrica baseado em conceitos matemáticos para mensurar a importância dos barramentos das subestações de energia com técnicas de cálculo de centralidades, possibilitando testes em qualquer rede de transmissão de energia elétrica, garantindo maior confiabilidade e diminuindo riscos de ocorrências de interrupções desnecessárias. Para a implementação do algoritmo, cálculos de centralidade de grau (degree) e intermediação (betweenness), foi utilizada a linguagem de programação Python, resultando no apontamento das barras sensíveis, visando os indicadores de confiabilidade pré-estabelecidos. As redes IEEE 14, 57 e 118 barras foram modeladas no aplicativo SINAPgrid®, a fim de se obter, através de cálculos de fluxo de potência, a comprovação das fragilidades dos sistemas estudados. O estudo demonstrou, através dos resultados, a classificação e apontamento de barras com grau elevado de fragilidade operacional, permitindo tomadas de decisão e ações de melhorias no planejamento e expansão do sistema elétrico de potência, seja por agentes geração, transmissão, distribuição ou mesmo por agentes de operação, neste caso o Operador Nacional de Sistema Elétrico (ONS).

Palavras-chave: Centralidade de Intermediação. Centralidade de Grau. Rede de Transmissão. Confiabilidade. Grafo.

Abstract – This is a work of stability analysis in electrical power transmission lines based on mathematical concepts to measure the importance of substation busbars using centrality calculation techniques, enabling testing on any electrical power transmission network, ensuring greater reliability, and reducing the risk of unnecessary interruptions. For the algorithm implementation, degree and betweenness centrality calculations were used in the Python programming language, resulting in the identification of critical busbars, aiming to meet predefined reliability indicators. The IEEE 14, 57, and 118 busbar networks were modeled in the SINAPgrid® application to verify the vulnerabilities of the studied systems through

¹ Bacharel em Engenharia Elétrica (UPM). Contato: muriloalmeidae@gmail.com.

² Doutor em Sistemas Elétricos de Potência (USP); Mestre em Sistemas Elétricos de Potência (UIS); Bacharel em Engenharia Elétrica (UIS). Contato: valdomiro.garcia@mackenzie.br.

³ Doutor em Sistemas Elétricos de Potência (USP); Mestre em Sistemas Elétricos de Potência (USP); Bacharel em Engenharia Elétrica (Centro Universitário da FEI). Contato: marcos.rosa@mackenzie.br.

power flow calculations. The study, through the results, demonstrated the classification and identification of busbars with a high degree of operational vulnerability, allowing decision-making and improvement actions in the planning and expansion of the power system, whether by generation, transmission, distribution agents, or even by operation agents, in this case, the National Electric System Operator (ONS).

Keywords: *Betweenness Centrality. Degree Centrality. Transmission Network. Reliability. Graph.*

I. INTRODUÇÃO

A importância de manter o fornecimento de energia advém do impacto econômico causado por eventuais falhas em linhas de transmissão que, dependendo do grau de contribuição para o sistema elétrico, pode acarretar desligamentos e consideráveis prejuízos, deixando milhares de pessoas sem energia.

Em 2018, uma falha na linha de transmissão ligada à usina de Belo Monte, resultou em um apagão que afetou 70 milhões de pessoas. Outro exemplo foi a interrupção no fornecimento para a população do Amapá em 2020, deixando 800 mil pessoas sem energia elétrica por cerca de 20 dias.

Segundo dados do Operador Nacional do Sistema (ONS), no ano de 2022, 71,40% das falhas registradas foram nas LTs da rede básica, enquanto nas subestações 24,71% e só 3,89 fora da rede básica (ONS, 2023).

Visando diminuir ocorrências como as supracitadas, o estudo de fragilidades em linhas de transmissão de energia elétrica ganha relevância no setor elétrico, uma vez que o impacto causado por falhas em equipamento do sistema elétrico de potência (SEP) pode resultar em perdas econômicas e desconforto para os consumidores de forma geral, sejam industriais, comerciais, residenciais, poder público, órgão público, iluminação pública etc.

A teoria dos grafos (redes complexas) é aplicada na análise de problemas relacionados à rede de dados. Em um dos estudos desenvolvidos por Borba (2013), o método de centralidades foi utilizado para identificar pontos críticos em uma rede de dados com 94 nós. Neste estudo foi observado que as simulações de falhas iniciais que têm mais impacto são aquelas em que são escolhidos nós de maior proximidade e maior intermediação.

A teoria de grafos pode ser também aplicada como metodologia para melhorar a confiabilidade em sistemas de transmissão de energia elétrica (GOMES, 2020).

O presente trabalho trata-se de uma modelagem matemática com cálculos de centralidades baseados nos conceitos de redes complexas, além da realização de simulações através do software SINAPgrid® e Python®, a fim de comprovar pontos de vulnerabilidades em linhas de transmissão de energia elétrica.

Pode-se consultar o desenvolvimento completo da metodologia implementada em Python através do link <https://github.com/Murilo140/TCC-Analise-de-fragilidade-em-linhas-de-transmiss-o-falhas-/blob/main/centralidades>.

II. METODOLOGIA

O cálculo de centralidade é comumente utilizado para identificar vértices (nós) mais importantes no que tange à análise de redes, aplicado também em problemas de mobilidade urbana, transmissão de energia elétrica, entre outros. Contudo, este método é aplicado para elucidar adversidades causadas pela interação em rede (REIS, 2015). Isto posto, são definidos os tipos de centralidade utilizados nesta pesquisa:

- Centralidade de grau: indica o número de arestas que se conectam ao nó (vértice).

- Centralidade de Intermediação: identifica o número de vezes que um nó (vértice) atua como caminho entre dois outros nós, ou seja, vértices que fazem a intermediação.

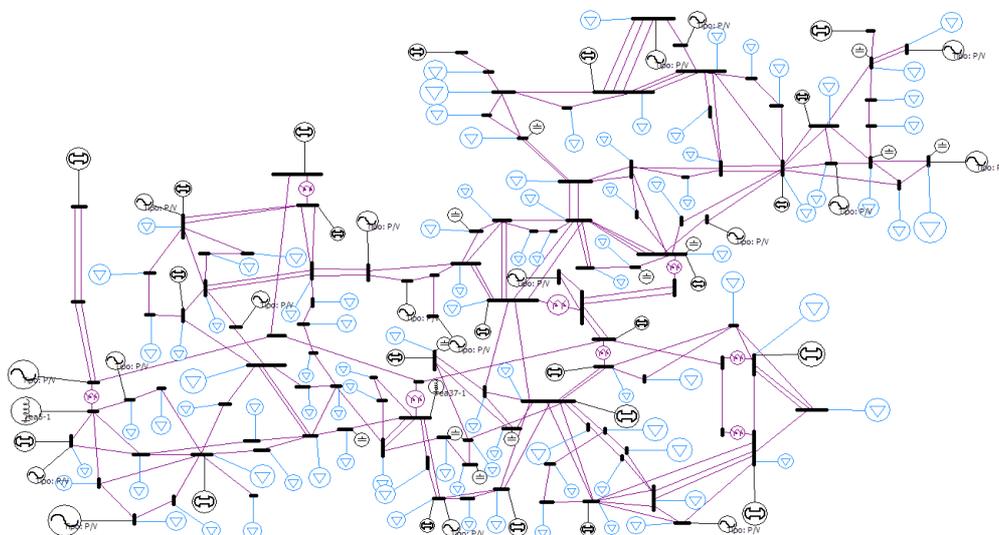
No trabalho realizado por Reis (2015) foi proposta uma metodologia de cálculos das centralidades de grau, intermediação, fragilidade e proximidade para determinar o nó mais importante para o sistema. Os resultados foram conferidos com o software Anarede.

A partir das configurações das redes IEEE 14, 57 e 118 barras, modelos amplamente utilizados, foram adotados dados como, comprimentos de linhas de transmissão, conexões entre equipamentos e códigos de barramentos, em que desenvolvidos cálculos de centralidade de grau (degree) e de centralidade de intermediação (betweenness).

Para a comprovação da metodologia, os autores realizaram o estudo considerando todas as redes IEEE supracitadas, porém neste artigo os resultados estão enfocados somente no modelo de rede IEEE 118, visto que as demais redes possuem menor quantidade de equipamentos, logo menor complexidade.

Como parte do desenvolvimento, apresenta-se através da Figura 1, a rede IEEE 118 barras modelada no software SINAPgrid®.

Figura 1 - Rede IEEE 118 barras



Fonte: Autores, usando SINAPgrid, 2023.

Para a implementação da metodologia em Python foi utilizada a biblioteca livre Networkx. Esta possibilita o cálculo das centralidades e ainda a representação das redes por meio de grafos (HAGBERG, 2008), (MARIANO, 2020).

É denominado grafo um conjunto de vértices conectados um ao outro por arestas, sendo assim, é utilizado para simplificação na visualização do sistema, onde as barras são representadas por nós enquanto as linhas de transmissão por arestas (FREITAS, 2010).

Além de transformar a rede IEEE em grafo, a biblioteca Networkx é capaz de calcular os métodos de centralidades rapidamente e com pouco esforço computacional, facilitando a replicação do método em outros estudos. Esta ferramenta é uma alternativa livre e simples na solução de problemas de análise de fragilidade em SEP de qualquer dimensão, sendo limitado à quantidade de barras suportadas pelo software de simulação.

Após obter a centralidade de grau e intermediação, o próprio algoritmo exporta o arquivo no formato .xlsx, adequado para Excel.

Quando se analisa a centralidade de grau e intermediação é importante salientar que quanto maior a centralidade de grau, maior é a quantidade de arestas que se conectam ao nó. Pode-se notar que a centralidade de intermediação é influenciada pela quantidade de nós que se conectam ao nó referência, ou seja, quanto maior o número de arestas em um nó, maior a probabilidade daquele nó atuar como ponte entre outros dois nós, situação que define a centralidade de intermediação (BAI, 2015).

Posteriormente é calculada a média ponderada, a qual é ordenada de forma decrescente indicando a ordem de desligamento dos barramentos, sendo a média ponderada a razão do produto da centralidade de grau e de intermediação com o somatório da centralidade de grau de todos os barramentos, como pode ser observado através da equação 1.

$$M_p = \frac{C_g \times C_i}{\sum_{k=1}^j C_{GB}}$$

Em que:

- M_p = Média ponderada;
- C_g = Centralidade de grau;
- C_i = Centralidade de intermediação;
- C_{gb} = Centralidade de grau dos barramentos.

(1)

Após a ordenação dos valores, é utilizada a seguinte metodologia para as simulações no software SINAPgrid:

- Desligamento de todas as linhas que se conectam na barra indicada pelo algoritmo, até o desligamento total do sistema elétrico;
- Desligamento de todas as linhas que se conectam na barra com grau menor de centralidade indicada pelo algoritmo.

Dessa forma, será possível obter informações e realizar a análise sobre a robustez do sistema de transmissão de energia elétrica. Apesar de ter realizado neste estudo simulações para as redes IEEE 14, 57 e 118 barras, os resultados estão focados na última.

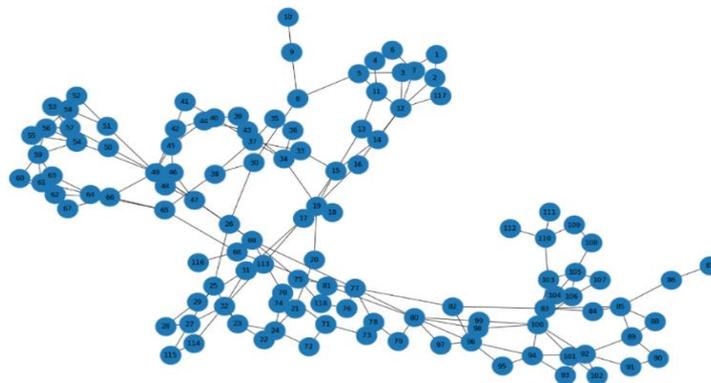
III RESULTADOS

Na sequência são apresentados os resultados focando na rede IEEE 118 barras.

3.1 - Rede padrão IEEE 118

A rede IEEE 118 possui 118 barramentos. O suprimento do sistema é conformado por 18 grupos geradores e 23 condensadores síncronos. A representação da rede IEEE 118 barras em forma de grafo pode ser observada na Figura 2.

Figura 2: Grafo rede IEEE 118 barras



Fonte: Autores.

Na análise realizada na rede IEEE 118 foi possível encontrar 69% dos barramentos com centralidade de grau igual ou inferior que 3 e, que devido a quantidade elevada de dados, não foram apresentados em sua totalidade na Tabela 1, só os 10 primeiros. Esta configuração apresenta uma boa distribuição das linhas de transmissão, em que apenas 3% dos barramentos possuem centralidade de grau maior ou igual a 6.

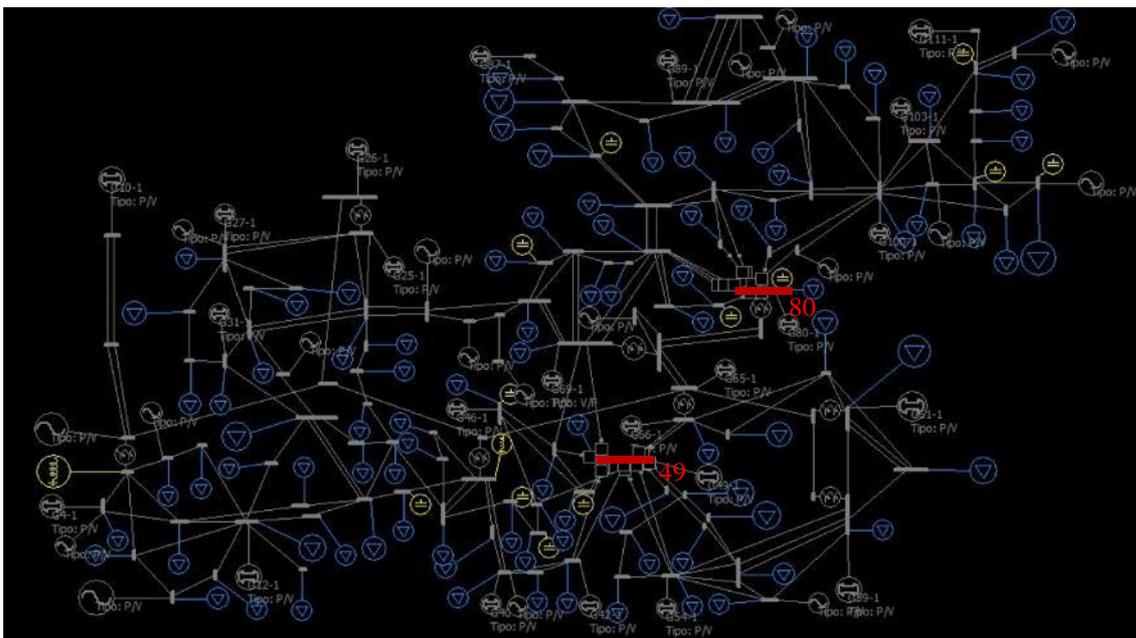
Tabela 1 - Centralidades e média ponderada para IEEE 118

Barramento	Centralidade de Grau	Centralidade de Intermediação	Média Ponderada
49	9	1785,3	44,9
80	7	1904,6	37,2
69	6	2168,0	36,3
77	6	2012,9	33,7
100	8	1394,9	31,2
65	4	1699,9	19,0
70	5	1261,1	17,6
37	6	1015,8	17,0
68	4	1360,8	15,2
37	3	1597,1	13,4

Fonte: Autores.

Pode-se observar na Figura 2 que o fluxo de potência da rede IEEE 118 foi totalmente interrompido (cor cinza nas barras e linhas de transmissão) após os desligamentos dos barramentos 49 e 80, conforme indicado na sequência decrescente da Tabela 1.

Figura 2 - Desligamento total na rede IEEE 118



Fonte: Autores, usando SINAPgrid, 2023.

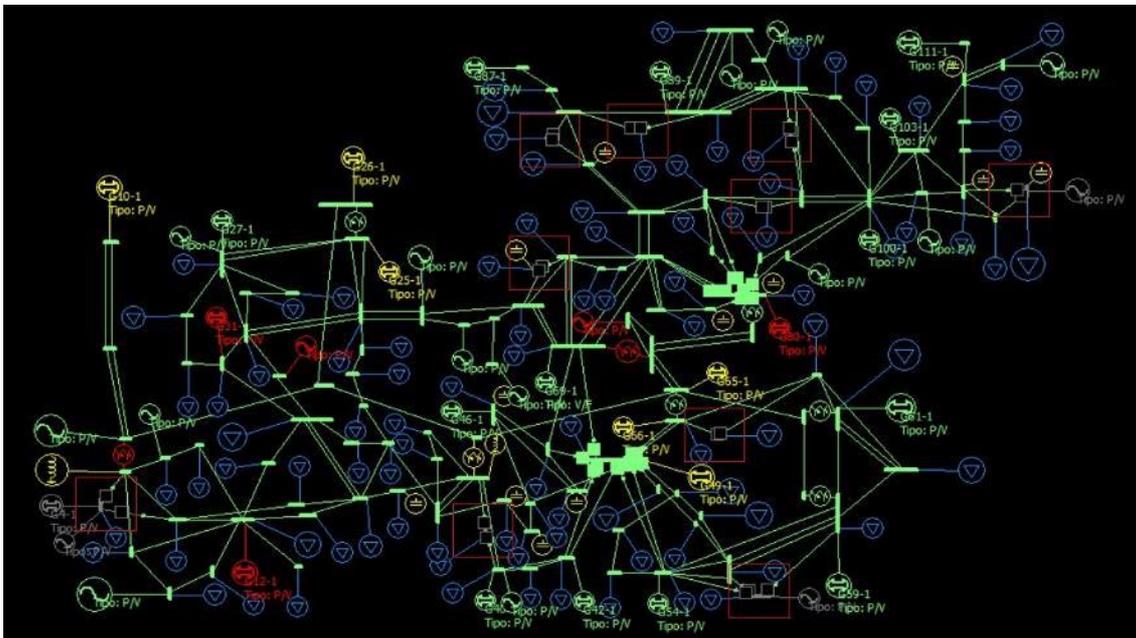
Na Tabela 2 podem ser observados os 10 últimos barramentos ranqueados pela média ponderada. Todos os 10 barramentos foram desligados na simulação. Nota-se que somente os barramentos desligados foram impactados (quadrados em vermelho), como apresentado na Figura 3. A maior parte da rede apresentou um fluxo de potência funcional (cor verde nas linhas de transmissão).

Tabela 2 - Barramentos Média Ponderada baixa. Rede IEEE 118

Barramento	Centralidade de Grau	Centralidade de Intermediação	Média Ponderada
55	3	0,0	0,0
4	2	0,0	0,0
39	2	0,0	0,0
107	2	0,0	0,0
95	2	0,0	0,0
93	2	0,0	0,0
67	2	0,0	0,0
84	2	0,0	0,0
74	2	0,0	0,0
88	2	0,0	0,0

Fonte: Autores.

Figura 3 - 10 barramentos impactados na rede IEEE 118



Fonte: Autores, usando SINAPgrid, 2023.

IV. CONCLUSÃO

Neste trabalho destaca-se fundamentalmente a análise de confiabilidade em redes de energia elétrica, seja de transmissão ou distribuição em sistemas de potência. A metodologia aplicada envolve conceitos de redes complexas que são comumente utilizadas em redes de transmissão de dados, porém o mesmo conceito discutido foi utilizado para as redes IEE 14, 57 e 118 barras, porém apresentados os resultados somente para a rede de transmissão mais complexa.

O algoritmo desenvolvido em linguagem de programação Python demonstrou boa efetividade para o método proposto de análise de fragilidade operacional da rede IEEE

118 barras, método este que pode ser facilmente aplicado em qualquer sistema elétrico de potência.

O método é recomendado para uso em redes com alto grau de complexidade, como por exemplo, redes com mais de 500 barras, em que a análise visual se torna inviável. Já para redes com número inferior a 50 barras a análise é simples e pode apontar fragilidades operacionais pelo método visual.

A confiabilidade da rede é alcançada com a melhor disposição de equipamentos e componentes que compõem o sistema elétrico. Redes de menor porte com número reduzido de barras, por exemplo, a rede IEEE 14, podem ser influenciadas pela distribuição correta de geradores, fazendo que se tornem mais robustas e capazes de suprir cargas quando do desligamento de linhas que interligam sistemas ou formam ilhas de cargas. Redes de pequeno porte possuem boa capacidade de superação de falhas quando do uso da metodologia proposta.

Para os casos de redes com maior número de nós, exemplo as redes IEEE 57 e 118, foram observados desligamentos que afetaram a totalidade dos sistemas elétricos quando da retirada de operação de algumas linhas de transmissão, considerando-se critérios como o aumento da média ponderada, bem como da centralidade de grau.

As redes IEEE 57 e IEEE 118 apresentaram criticidades quando dois de seus barramentos são desligados, provocando falhas operacionais em outros equipamentos, levando o sistema ao colapso total.

Para o avanço do conhecimento científico em relação à fragilidade operacional da rede, com o intuito de se aumentar a confiabilidade do sistema de transmissão de energia, recomenda-se a adaptação do algoritmo proposto com a inclusão de parâmetros elétricos como impedâncias e comprimentos de linhas de transmissão.

V. REFERÊNCIAS

BAI, Hao; MIAO, Shihong. Hybrid flow betweenness approach for identification of vulnerable line in power system. **Iet Generation, Transmission & Distribution**, [S.L.], v. 9, n. 12, p. 1324-1331, set. 2015. Institution of Engineering and Technology (IET). DOI: <http://dx.doi.org/10.1049/iet-gtd.2014.1016>.

BORBA, Elizandro Max. **Medidas de centralidades em grafos e aplicações em redes de dados**. 2013. 66 f. Dissertação (Mestrado em Matemática), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2013.

FREITAS, Leandro Quintanilha de. **Medidas de Centralidade em Grafos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

GOMES, Letícia Fernandes Bella; FREITAS, Karine Fatima de; BELLA, Ricardo Luiz Fernandes; DEL-VECCHIO, Renata Raposo; LIMA, Gilson Brito Alves. Centralidade de Grafos Aplicada à Projetos de Energia Renovável. **Mix Sustentável**, v. 6, n. 4, p. 105-114, 7 ago. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.mix2020.v6.n4.105-114>.

HAGBERG, Aric A.; SCHULT, Daniel A.; SWART, Pieter J. Exploring network structure, dynamics, and function using NetworkX, **in Proceedings of the 7th Python in Science Conference (SciPy2008)**, Gäel Varoquaux, Travis Vaught, and Jarrod Millman (Eds), (Pasadena, CA USA), pp. 11–15, Aug 2008.

MARIANO, Diego. **Analizando grafos com Python e a biblioteca Networkx**, 2020. Disponível em: <https://diegomariano.com/networkx/> Acesso em: 12 jul. 2023.

ONS. **Indicadores de Desempenho do SIN:** Número de Perturbações por Tipo de Equipamento Origem. 2023. Disponível em: <https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/qualidade-do-suprimento-paineis.aspx> Acesso em: 04 ago. 2023

REIS, Eduardo Nunes dos. **Análise de fragilidade de sistemas de transmissão de energia elétrica através do cálculo de centralidades.** 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2015.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Mackpesquisa (Fundo Mackenzie de Pesquisa e Inovação) pelo apoio no projeto nº 221057. Além da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie (Campus Higienópolis – São Paulo) pelos recursos e espaços utilizados durante a pesquisa.

VII. COPYRIGHT

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

CONSIDERAÇÕES GERAIS E DE CONTORNO APLICADAS NA METODOLOGIA PARA MODELAGEM DE MÁQUINAS ELÉTRICAS, VISANDO A ANÁLISE DE FENÔMENOS TRANSITÓRIOS DE CURTA DURAÇÃO

GENERAL AND CONTOUR CONSIDERATIONS APPLIED IN THE METHODOLOGY FOR MODELING ELECTRIC MACHINES, IN THE ANALYSIS OF TRANSIENT PHENOMENA

Clóvis José da Silva¹
Wagner Pimentel²
Mauricio Vilela Guerra³

Resumo – *Este trabalho é parte integrante da modelagem para qualquer tipo de máquinas elétricas, visando as simulações dos fenômenos envolvidos em transitórios rápidos, apresentando os aspectos envolvidos no caso do transformador. O estudo contempla informações importantes das condições de contorno que validam as aplicações, sejam entre as variáveis físicas e os modelos matemáticos do cálculo, portanto, os pormenores se fazem necessários para levar a clareza das premissas adotadas em cada etapa desse tipo de estudo. Nos dados e gráficos utilizados como exemplo adota-se o modelo do transformador na sua forma estilizada e se baseia na determinação dos coeficientes de indução e de potencial de um conjunto de espiras circulares, na aplicação geométrica da sua forma estilizada nas seguintes condições: paralelas e ortogonais; mas permite também a adoção de espiras inclinadas para representação dos cantos das curvas do núcleo. O modelo do condutor apresenta seção circular. No final determinou-se a função de transferência. O modelo do transformador foi testado através da análise da função de transferência e no cálculo da resposta a impulsos de corrente, de tensão e a excitação do tipo oscilatório amortecido. Os resultados observados na simulação corroboram os resultados previstos na prática. Pela extensão e dificuldade em comprimir todo estudo, que consiste além do apresentado aqui em: estudo do projeto inicial, materiais utilizados, tipos de núcleo, plotagem do campo magnético e do campo elétrico no interior da janela da máquina, modelagem do circuito elétrico, técnicas para solução e*

¹Engenheiro Eletricista, Professor, M.Sc. e D.Sc. COPPE – Engenharia Elétrica – Sistemas de Potência, Sistemas de Energia, ELETROBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras, CEFET – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - RJ/NI, RJ, Contatos: klovsj@gmail.com, clovis@eletrobras.com, clovis.silva@cefet-rj.br.

² Engenheiro de Sistemas e Computação, D.Sc. COPPE –Engenharia de Sistemas e Computação, CEFET – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca -RJ, RJ, wagner.pimentel@cefet-rj.br.

³ Engenheiro Eletrônico, D.Sc. PUC – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - Engenharia Eletrônica, CEFET – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - RJ/NI, RJ, Mauricio.guerra@cefet-rj.br.

determinação das variáveis elétricas envolvidas no circuito elétrico, modelagem matemática das funções de transferência para passagem do domínio da frequência para o domínio do tempo, e modelagem de formas de onda para simulação. A melhor compreensão e entendimento virão do detalhamento do estudo e isso será apresentado nos futuros trabalhos.

Palavras-chave: Modelagem. Máquinas. Transformador. Transitório. Impulso. Corrente. Tensão.

Abstract – This work is an integral part of the modeling for any type of electrical machines, for simulations of the phenomena involved in fast transients, presenting the aspects involved in the case of a transformer. The study includes important information on the boundary conditions that validate the applications, whether between the physical variables and the mathematical models of a calculation, therefore, the details are necessary to bring clarity to the assumptions adopted at each stage this type of study. In the data and graphs used as an example, it adopts the transformer model in its stylized form and is based on the determination of a induction and potential coefficients of a set of circular turns, in the geometric application its stylized form in the following conditions: parallel and orthogonal; but it also allows the adoption of inclined spirals to represent the corners of a core curves. The conductor model has a circular section. Finally, the transfer function was determined. The transformer model was tested by analyzing the transfer function and calculating the response to current, voltage and damped oscillatory excitation impulses. The results observed in the simulation corroborate the results predicted in practice. Due to the size and difficulty in compressing the entire study, which consists in addition to the one presented here in: study of a initial project, materials used, types of core, plotting the magnetic field and electric field inside the machine window, modeling the electrical circuit, techniques for solving and determining the electrical variables involved in the electrical circuit, mathematical modeling of transfer functions for passing from the frequency domain to the time domain, and modeling waveforms for simulation. The best understanding will come from the detailing of the study and this will be presented in future works.

Keywords: Modeling. Machines. Transformer. Transient. Impulse. Current. Voltage.

I. INTRODUÇÃO

Alguns cenários típicos em sistemas de energia são capazes de gerarem transitórios ao sistema, os quais propiciam impactos no comportamento de corrente e tensão. Ao considerar que não apenas os transformadores de potência são de suma importância no contexto dos sistemas elétricos, como também outros equipamentos relevantes para o seu funcionamento ideal, propõe-se o estudo da metodologia e suas condições de contorno, para simulação dos transitórios eletromagnéticos ocorridos nas redes elétricas, que sujeitam as máquinas elétricas a perturbações de corrente e tensão. Essa oscilação brusca pode gerar prejuízos tanto ao Transformador que é uma máquina de custo elevado e sua indisponibilidade pode gerar prejuízos e desconforto para os usuários, assim como para ao sistema em geral, portanto, os estudos e análises realizados em torno dos transitórios são fundamentais (ELEONORA, 2020).

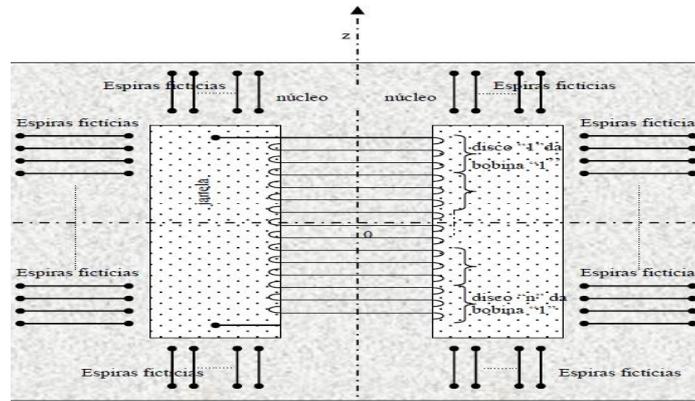
O Transformador, que é uma máquina de conversão de energia elétrica em energia elétrica, teve o início dos estudos e aplicação no final do século XIX, e os estudos dos modelos das formas estilizadas do núcleo, conforme pode ser visto na figura 1, e dos circuitos, conforme pode ser visto na figura 2, visando a simulação de transitórios eletromagnéticos de curta duração já data desde 1919, conforme as referências: (ABETTI, 1953), (BLUME, 1919), (DOMMEL, 1975), (KRONDL, 1941), (NAKRA, 1973) e (PALUEFF, 1929), (JEAN, 2021), (ELEONORA, 2020) e (SÉRGIO, 2023).

O interesse pelo estudo da metodologia para modelagem de máquinas elétricas que possibilitasse o cálculo dos parâmetros elétricos e que representasse os enrolamentos e o núcleo ferromagnético, além dos comportamentos dos campos elétrico e magnético

no interior destes equipamentos submetidos a fenômenos transitórios de curta duração levou ao desenvolvimento de um trabalho extenso e que nesse tratamos dos detalhes das premissas adotadas.

Para a aplicação das condições de contorno admitiu-se que o núcleo apresentava uma forma semelhante à estilizada, conforme pode ser visto na figura 1.

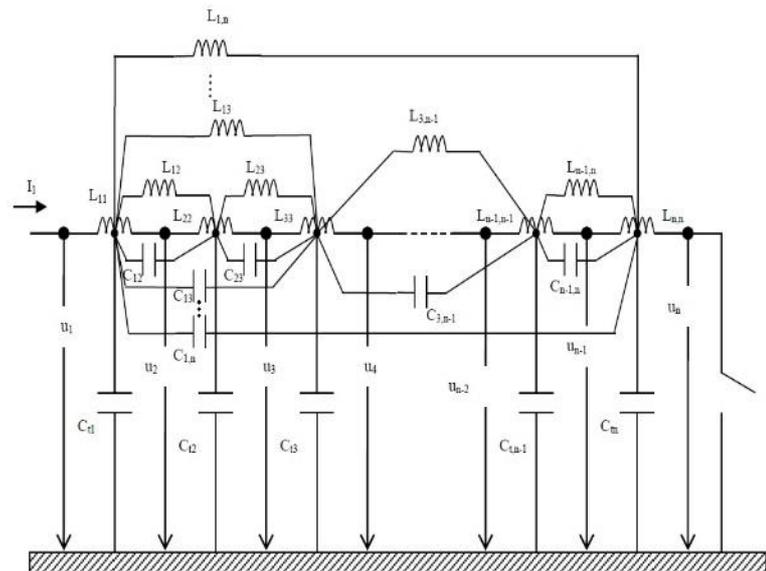
Figura 1 -Modelo Estilizado de Transformador



Fonte: Clovis J. da Silva, 2010.

Os acoplamentos próprios e mútuos de natureza indutivos e capacitivos entre todas as espiras são considerados nas etapas dos cálculos, conforme pode ser visto na figura 2. Nota-se também que as condições de paralelismo, ortogonalidade e inclinação das espiras são importantes para representação das condições de contorno na interface da janela. Nessa etapa a escolha do sistema coordenado é muito importante.

Figura 2 - modelo de circuito utilizado em estudos de fenômenos transitórios rápidos

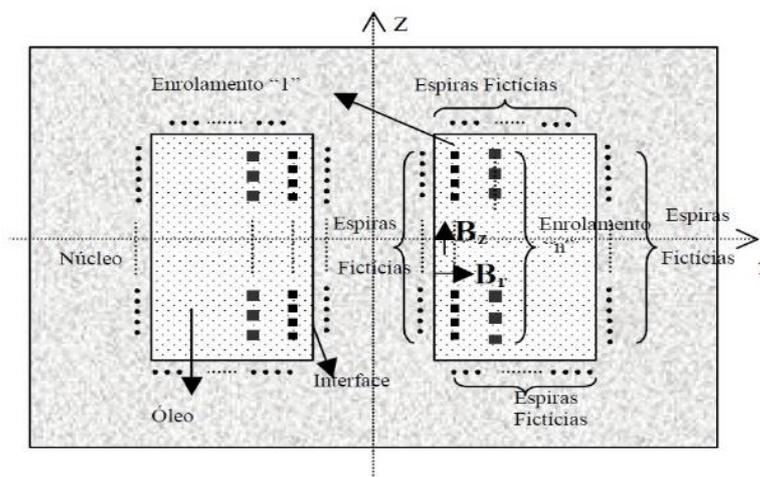


Fonte: Clovis J. da Silva, 2010.

Durante o estudo para modelagem de máquinas elétricas foram feitas considerações e hipóteses de cálculo que são apresentadas e discutidas conforme a seguir:

- O núcleo foi representado impondo condições de contorno dos campos elétricos e magnéticos nas interfaces óleo-núcleo cujo efeito foi provocado através de espiras fictícias, como pode ser visto na figura 3. Nesse caso, o efeito dessas espiras fictícias é embutido no tratamento das equações que representam o campo eletromagnético e que será objeto de outro trabalho.

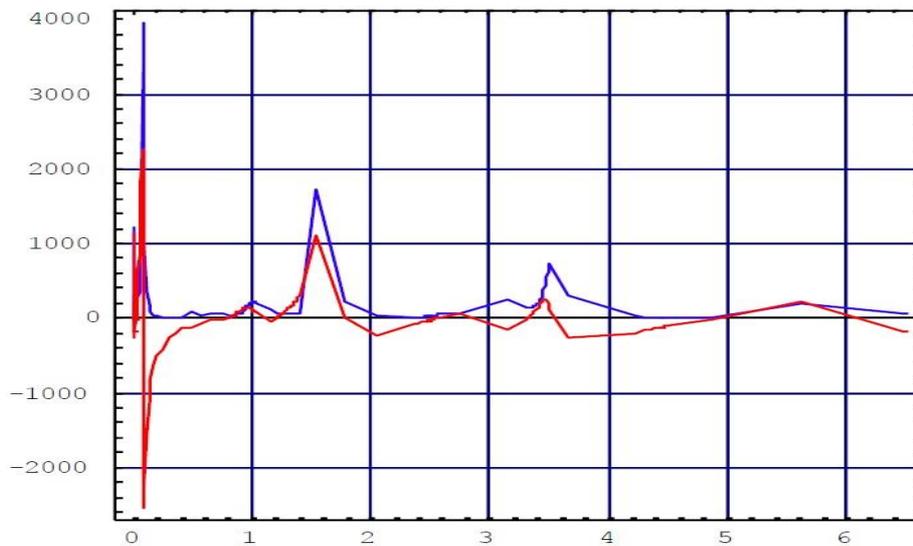
Figura 3 - Condições de contorno aplicadas a interface óleo-núcleo



Fonte: Clovis J. da Silva, 2010

- Os coeficientes de indução e de capacidade podem ser calculados para as espiras nas situações seguintes: paralelas, ortogonais e inclinadas. Essas condições se fazem necessárias porque representamos o núcleo através das condições de contorno com as colunas verticais e transversais e nos cantos ou curvas precisamos das espiras inclinadas, e a decisão do uso das espiras inclinadas depende da quantidade de espiras colocadas próximas a essas regiões.
- As impedâncias internas de todos os condutores foram expressas em função da frequência considerando o efeito das impedâncias mútuas entre espiras.
- O sistema coordenado utilizado para modelagem de máquinas elétricas é o que define a complexidade na solução das equações, levando em alguns casos funções elípticas ou hipergeométricas na degeneração ou redução dos valores dos campos eletromagnéticos envolvidos. Na aplicação do transformador foi adotado o sistema coordenado cilíndrico e os cálculos foram determinados com base no mesmo referencial, mas poderia ser adotado o sistema esférico que se verificou na prática melhor para a modelagem em algumas regiões do núcleo.
- O gráfico da função de transferência em função da frequência na faixa de [0 a 6 MHz] com um número elevado de frequências nos permite uma análise da região de vizinhança dos polos e zeros da função, mas a escolha da quantidade de frequências impacta diretamente na velocidade e para um estudo razoável o ideal é que a quantidade mínima seja superior a dez mil. O sistema montado para as determinações dos valores das tensões e correntes em função do tempo, utiliza a transformada rápida de Fourier e será também um dos temas tratados em outro trabalho, conforme referência (PORTELA, 1997).

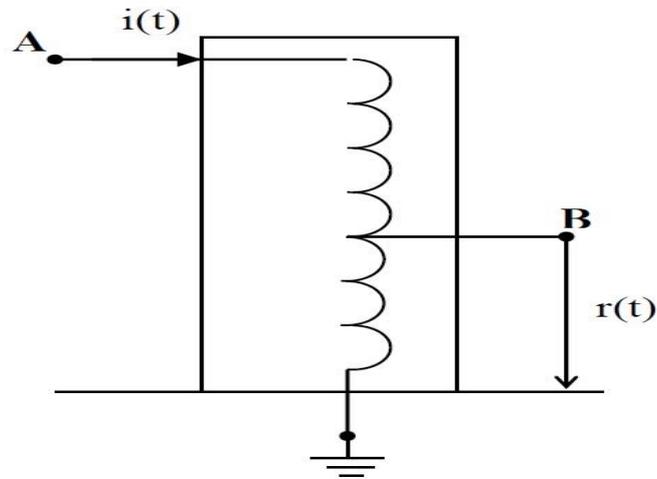
Figura 4 - Resposta de frequência no enrolamento secundário do Transformador



Fonte: Clovis J. da Silva, 2010.

- A disposição física e a quantidade das espiras fictícias apresentam papel importante na distribuição de fluxos elétricos e magnéticos na janela do transformador.
- A modelagem é fundamentada no modelo de parâmetros elétricos distribuídos, sendo os enrolamentos com espiras reais representados espira por espira e o núcleo por espiras fictícias. Para esse tipo de trabalho o modelo de parâmetros concentrados dificultaria a percepção dos efeitos eletromagnéticos oriundos dos acoplamentos múltiplos na janela do equipamento, semelhante ao utilizado em (EDUARDO, 2014)
- Todos os parâmetros elétricos são modelados em função da frequência com notação de números complexos.
- Na determinação das tensões e correntes nos enrolamentos do transformador utilizou-se uma metodologia de cálculo que já foi aplicada a circuitos de malha de terra, onde obtemos os valores no tempo das tensões em relação a uma referência e das correntes nas barras. Nesse tipo de estudo a corrente pode ser determinada nas espiras e a tensão em cada terminal de ligação das espiras tomando como referência um ponto muito afastado, conforme pode ser visto na figura 5.

Figura 5 - Injeção de corrente no enrolamento e medição de tensão em relação ao Terra



Fonte: Clovis J. da Silva, 2010.

- Admite-se existir distribuição de correntes na interface entre o núcleo e o material isolante na janela do transformador.
- Considera-se que os parâmetros do tipo, ϵ , μ , σ , ou similares, poderiam depender da frequência, conforme referência (PORTELA, 1995).
- Os parâmetros acima citados não dependiam de parâmetros termodinâmicos ou mecânicos.
- Admite-se a propagação em regime quase estacionário.
- Considera-se que o núcleo era anisotrópico.
- Considera-se que o material isolante na janela do Transformador era isotrópico.
- Considera-se que o núcleo apresentava permeabilidade e condutividade elevadas.
- Considera-se à hipótese de que havia corrente de deslocamento no material isolante na janela do Transformador.
- Admitiu-se que o material do condutor da espira era contínuo.
- As espiras fictícias (representação do núcleo através de condições de contorno dos campos elétricos e magnéticos) poderiam ter linhas de eixo diferentes, além de serem paralelas ou ortogonais entre si e com as espiras reais.
- Admitiu-se que a distribuição dos campos eletromagnéticos não tinha simetria cilíndrica.

II. METODOLOGIA

A aplicação dessa metodologia considera a regra do método que é a divisão do problema em partes. Logo, dividiu-se em etapas todas as fases do trabalho de modo a se

aprofundar e detalhar cada etapa do estudo e facilitar a compreensão de como aplicar em outras máquinas elétricas:

1ª etapa: A capacitação técnica frente aos possíveis sistemas de equações, o estudo dos materiais envolvidos, as relações básicas do eletromagnetismo e a determinação das condições de contorno para diferentes meios.

2ª etapa: A escolha do modelo físico da máquina, aqui representado pelo Transformador, de modo que represente a forma estilizada do núcleo, as dimensões, os enrolamentos, o tanque e o núcleo foram otimizados (secção dos condutores, composição do material ferromagnético, curva de saturação, espaçamento interno entre enrolamentos e núcleo, fluido refrigerante, etc.) veja que tudo isso faz parte de outro estudo que também é fundamental na compreensão final de todo trabalho e essa fase será apresentada em outro trabalho.

3ª etapa: Deve-se estabelecer as relações básicas com os parâmetros elétricos (R , L e C) do Transformador baseado no cálculo dos coeficientes de indução e potencial determinados em função da frequência, considerando as iterações mútuas entre todos os elementos do circuito.

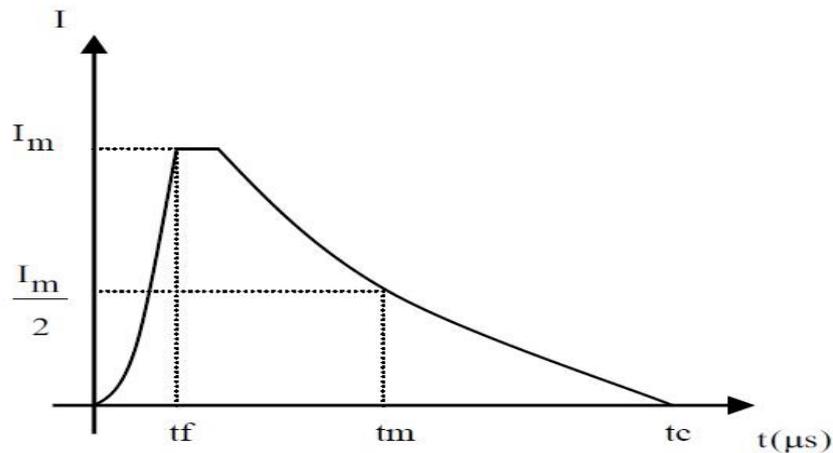
4ª etapa: Impõem-se as condições de contorno visando a inclusão do efeito do material ferromagnético, através dos campos elétricos e magnéticos no sistema de equações. Esses efeitos foram inseridos no sistema de equações determinados na 3ª etapa, cujo detalhamento dos cálculos será apresentado em outro trabalho.

5ª etapa: A metodologia adotada para solução das equações que apresentavam os parâmetros elétricos e o efeito do núcleo foi similar a utilizada em circuitos que modelam malhas de terra, onde se representaram as espiras ligadas por nós, e a partir daí foram determinadas as correntes nas entradas e saídas dos nós, além disso, foram determinadas as tensões transversais em cada nó considerando como referência um ponto muito afastado.

6ª etapa: Através das equações que relacionavam tensões e correntes determina-se a função de transferência, ou seja, o comportamento do circuito para as frequências características de fenômenos de curta duração.

7ª etapa: Aplicam-se vários impulsos de corrente, como pode ser visto na figura 6, e de tensão ao sistema de equações que representam o Transformador, visando ao estudo da resposta do circuito para possíveis condições que está sujeita a máquina. Nesta etapa são aplicadas a Transformada Rápida de Fourier para passagem da função para o domínio da frequência e a Transformada Rápida Inversa de Fourier para determinação da resposta do circuito no domínio do tempo, também utilizada em (MOISES, 2020).

Figura 6 - Modelo de Impulso de Corrente Atmosférico



Fonte: Clovis J. da Silva, 2010.

8ª etapa: As respostas dos comportamentos dos circuitos para as diferentes entradas: impulso de corrente, impulso de tensão e impulso de tensão oscilatória amortecida; são analisadas em função do tempo para todas as tensões e correntes na entrada e saída de cada espira ou num grupo de espiras.

9ª etapa: As conclusões foram baseadas nos resultados obtidos e nas comparações com resultados de outros trabalhos.

Deve-se observar que este trabalho foi realizado duas vezes a fim de identificar as etapas que exigiam precisão, robustez nos cálculos e formulação dos problemas não abordados na literatura usual.

III. PROCEDIMENTO

Resultados esperados da Simulação:

- Apresenta-se um tratamento que permite a modelagem do núcleo magnético com trechos horizontais e verticais sem a restrição de simetria cilíndrica global.
- cálculo dos coeficientes de indução utilizando métodos variacionais, baseados, por exemplo, na energia ou coenergia, é viável, mas implica num tempo elevado de cálculo computacional.
- A disposição e distribuição das espiras dos enrolamentos fictícios são fundamentais para a aplicação das condições de contorno na interface óleo-núcleo.
- A disposição e distribuição das espiras dos enrolamentos principais (reais) podem originar condicionamentos numéricos do tipo associados a singularidades das matrizes básicas envolvidas no cálculos.
- As técnicas para determinação da resposta no tempo através da função de transferência devem ser bem estudadas, a fim de evitar erros.

- modelo apresentado permite considerar explicitamente, de maneira coerente, as impedâncias do Transformador em função da frequência.
- É viável com uma formulação do tipo da apresentada, pelo menos para fenômenos rápidos, a aplicação em outros tipos de máquinas elétricas.
- modelo é bastante robusto e pode apresentar em alguns gráficos, a resposta em baixas frequências, apesar de não ter isso como principal objetivo.
- A disposição e distribuição das espiras dos enrolamentos fictícios são fundamentais para a aplicação das condições de contorno na interface óleo-núcleo.
- A disposição e distribuição das espiras dos enrolamentos principais (reais) podem originar condicionamentos numéricos do tipo associados a singularidades das matrizes básicas envolvidas no cálculos.

IV. CONCLUSÃO

O método de modelagem de máquinas elétricas utilizando o exemplo do Transformador apresentou de uma maneira geral bons resultados que podem ser usados na prática para:

- Estudo da região de vizinhança dos polos e zeros do circuito equivalente do Transformador.
- Determinação de frequências indesejáveis para o Transformador.
- Estudo de condições desfavoráveis nos enrolamentos de Transformadores quando submetidos a impulsos de corrente e tensão sem aplicação de ensaios destrutivos.
- Verificação da qualidade do projeto de Transformador.
- Estudo das distribuições de campos eletromagnéticos no interior de Transformadores.
- Estudo de ensaios com impulso de corrente e tensão com o secundário curto-circuitado.
- Estudo de comportamento do Transformador ligado a circuitos cuja resposta no domínio da frequência seja conhecida.

Deve-se deixar claro que as informações aqui prestadas foram determinadas também porque geralmente são as dúvidas daqueles que estão iniciando nesse tipo de estudo e que muitas vezes as literaturas usuais não abordam com essa profundidade as principais premissas que tornam robusta a metodologia, haja visto, que nas bibliografias apresentadas são poucos os detalhamentos físicos e das condições de contorno. Se nesse curto espaço fossemos acrescentar a discussão sobre: as técnicas necessárias para a otimização do projeto básico da máquina, a plotagem dos fluxos magnéticos e elétricos no interior das janelas, materiais utilizados, tipos de núcleo, plotagem do campo magnético e do campo elétrico no interior da janela da máquina, modelagem do circuito elétrico, técnicas para solução e determinação das variáveis elétricas envolvidas no

circuito elétrico, modelagem matemática das funções de transferência para passagem do domínio da frequência para o domínio do tempo, e modelagem de formas de onda para simulação; então seria pouco espaço para detalhar tudo, por isso, no próximo trabalho serão abordados os temas acima citados, considerando os seus pormenores.

V. REFERÊNCIAS

ABETTI, P.A. Transformers Models for the determination of transient voltages, **Trans.AIEE**, p. 468 – 475, 1953.

BLUME, L.F.; BOYAJIAN, A. Abnormal voltages within transformers, **Trans. AIEE**, p. 577 – 621, 1919.

DOMMEL, HERMANN W. **Transformer models in the simulation of eletromagnetic transients**, Power Systems Computation Conference, England, 1975.

EDUARDO H. Ferroni, FILIPE César, HUGO R. Vieira, MARCOS C. Luz, Análise das Metodologias para Cálculo de Campo Magnético Originado por Linhas de Transmissão, **Revista Sodebras [on line]**. v. 9, n. 107, Nov./2014, p.47-51. ISSN 1809-3957. Disponível em: <<http://www.sodebras.com.br/edicoes/N107.pdf>>. Acesso em 04 jul. 2023.

ELEONORA Fripp Lazzari, **Metodologia para Modelagem e Análise de Transitórios Eletromagnéticos de Unidades Geradoras em Sistemas de 525 kV**, Universidade de Santa Maria, 2020

JEAN Lucan Martins Vieira, **Modelagem Eletromagnética de Sistemas de Aterramento 3d em Baixas Frequências Utilizando o Método Meshless Iefgm**, Universidade Federal De São João Del-Rei, Centro Federal De Educação Tecnológica De Minas Gerais, 2021

KRONDL, M. e SCHELEICH, A. Predetermination of the transient voltages in transformers subject to impulse voltage, **Bulletin Oerlinkon**, n.º 342/343, p. 114 – 133, 1941.

MOISÉS Hamssés Sales de Sousa, CLEUMAR da Silva Moreira, EDGARD Luiz Lopes Fabricios, Medidor de Harmônicas em Instalações Industriais Usando Hardware Embarcado e Iot, **Revista Sodebras [on line]**. v. 15, n. 170, Fev./2020, p. 39-45. ISSN 1809-3957. DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.15.2020.170.39>

NAKRA, H. L.E.; BARTON, T. H., **Three Phase Transformer Transients**, **Trans.AIEE**, p. 1810 – 1819, 1973.

PALUEFF, K.K., **Effect of Transient Voltages on Power Transformer Design**, **Trans.AIEE**, p. 681 – 706, 1929.

PORTELA, C. **Frequency and Transient Behavior of Grounding Systems – II Practical Application Examples**, Proceedings, International Symposium on Eletromagnetic Compatibility, Austin – Texas, 1997.

PORTELA, C. **Fields and Waves**, COPPE/UFRJ, 1995.

SÉRGIO, Augusto Oliveira da Silva, Leonardo B. G. Campanhol, J.R.B.A. Monteiro, Vinicius Dario Bacon, **A Relevância Da Modelagem Dos Transitórios Eletromagnéticos Associados À Rede De Transmissão E Distribuição Nos Estudos De Estabilidade de Pequenos Sinais de Sistemas de Potência com Alta Penetração de Inversores Vsc**, XIX ERIAC - Décimo Nono Encontro Regional Ibero-Americano Do Cigre, maio – 2023.

SILVA, Clovis Jose, **Comportamento de Transformadores para Fenômenos Transitórios Rápidos**, COPPE-UFRJ, Tese de Doutorado, 2010.

VI. AGRADECIMENTOS

Agradecemos as seguintes Instituições: CEFET-RJ, CEFET-RJ/NI, COPPE - UFRJ, ELETROBRAS e ITAIPU/BINACIONAL por permitir adquirir conhecimentos fundamentais para entender melhor esse tipo de trabalho e em ESPECIAL IN MEMORIAM ao Dr. CARLOS MANUEL C. J. M. PORTELA que deu a orientação necessária.

VII. COPYRIGHT

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

MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS DE ALTA TENSÃO – LINHAS DE TRANSMISSÃO COM FOCO NA ANÁLISE DO HISTÓRICO E TIPOS DE MANUTENÇÕES REALIZADAS – EFEITO PANDEMIA

MAINTENANCE OF HIGH VOLTAGE ELECTRICAL EQUIPMENT – TRANSMISSION LINES; ANALYSIS OF HISTORY AND TYPES OF MAINTENANCE PERFORMED – PANDEMIC EFFECT

Clóvis José da Silva¹
Wagner Pimentel²
Mauricio Vilela Guerra³

Resumo – No período compreendido entre os anos de 2020 até 2021, estivemos sob os efeitos da pandemia do COVID-19, que de alguma forma afetou os hábitos e o comportamento da sociedade. Não obstante a esse cenário e considerando, especificamente as características do lockdown, imaginamos no que isso pode ter afetado o comportamento técnico sob o ponto de vista das diversas formas de manutenções, em função do acesso e da disponibilidade da mão de obra especializada em determinados equipamentos. A fim de manter a continuidade dos serviços, abriu-se um cenário diferente sob a perspectivas e desafios da Engenharia, que agora encontrava-se limitada ao acesso dos equipamentos, mudança nos hábitos de consumo e demanda do insumo Energia Elétrica, além da variação do perfil da carga que esses equipamentos ficaram submetidos, então buscou-se uma proposta cujo tema central foi estudar, com bases robustas no histórico das manutenções dos equipamentos elétricos de alta tensão, e nesse caso as Linhas de Transmissão da Rede Básica, tensões superiores a 230 kV, abordando os diversos tipos de intervenções, sejam elas: ampliação e reforço da rede, manutenções corretivas e manutenções preventivas. Verificou-se que o impacto da pandemia ainda mudou de forma significativa (elevada) nos quantitativos de manutenções realizadas.

Palavras-chave: *Linha de Transmissão. Manutenção. Corretiva. Preventiva. Histórico. Tensão. Tipos. Quantitativa. Classificação. Energia. Inspeção.*

¹Engenheiro Eletricista, Professor, M.Sc. e D.Sc. COPPE – Engenharia Elétrica – Sistemas de Potência, Sistemas de Energia, ELETROBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras, CEFET – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - RJ/NI, RJ, Contatos: klovsj@gmail.com, clovis@eletrobras.com, clovis.silva@cefet-rj.br.

² Engenheiro de Sistemas e Computação, D.Sc. COPPE –Engenharia de Sistemas e Computação, CEFET – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca -RJ, RJ, wagner.pimentel@cefet-rj.br.

³ Engenheiro Eletrônico, D.Sc. PUC – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - Engenharia Eletrônica, CEFET – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - RJ/NI, RJ, Mauricio.guerra@cefet-rj.br.

Abstract – In the period between 2020 and 2021, we were under the effects of the COVID-19 pandemic, which somehow affected society's habits and behavior. However this scenario and considering, specifically, the characteristics of the lockdown, we imagine how this may have affected the technical behavior from the point of view of the various forms of maintenance, depending on the access and availability of specialized labor in certain equipment. In order to maintain the continuity of services, a different scenario was opened in terms of the perspectives and challenges of Engineering, which was now limited to access to equipment, changes in consumption habits and demand for the Electric Energy input, in addition to the variation in profile of the load that this equipment was subjected to, so a proposal was sought whose central theme was to study, with robust bases in the history of maintenance of high voltage electrical equipment, and in this case the Transmission Lines of the Basic Network, voltages greater than 230 kV, addressing the various types of interventions, whether they are: expansion and reinforcement of the network, corrective maintenance and preventive maintenance. It was found that the impact of the pandemic still changed significantly (highly) in the amount of maintenance carried out.

Keywords: *Transmission line. Maintenance. Corrective. Preventive. Historic. Voltage. Types. Quantitative. Classification. Energy. Inspection.*

I. INTRODUÇÃO

No período compreendido entre os anos de 2020 até 2021, estivemos sob os efeitos mais intensos da pandemia do COVID-19, apesar de atualmente em 2022, haja a redução nos casos de contaminação e mortes, é fato que ao longo desse período houve de alguma forma a mudança nos hábitos e o comportamento da Sociedade. Não obstante a esse cenário e considerando, especificamente as características do lockdown, imaginamos no que isso poderia ter afetado o comportamento técnico sob o ponto de vista de diversas formas de manutenções, em função do acesso e da disponibilidade da mão de obra especializada em determinados equipamentos. A fim de manter a continuidade dos serviços, abriu-se um cenário diferente sob a perspectivas e desafios da Engenharia, que agora encontrava-se limitada ao acesso dos equipamentos, mudança nos hábitos de consumo e demanda do insumo energia elétrica, além da variação do perfil da carga que esses equipamentos ficaram submetidos, então, buscou-se uma proposta cujo tema central foi estudar, com bases robustas no histórico das manutenções dos equipamentos elétricos de alta tensão, as linhas de transmissão, com informações obtidas no sitio do Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, como intervenções, e nesse caso utilizou-se rede básica, ou seja, tensões iguais ou superiores a 230 kV. A ação de manutenção é uma sequência de atividades elementares de manutenção, efetuadas com uma dada finalidade, podendo ser: acompanhamento preditivo, aferição, ajuste, calibração, conservação, ensaio, inspeção, limpeza, lubrificação, modernização, monitoramento, reabilitação e substituição (MÓDULO 4.0, 2022).

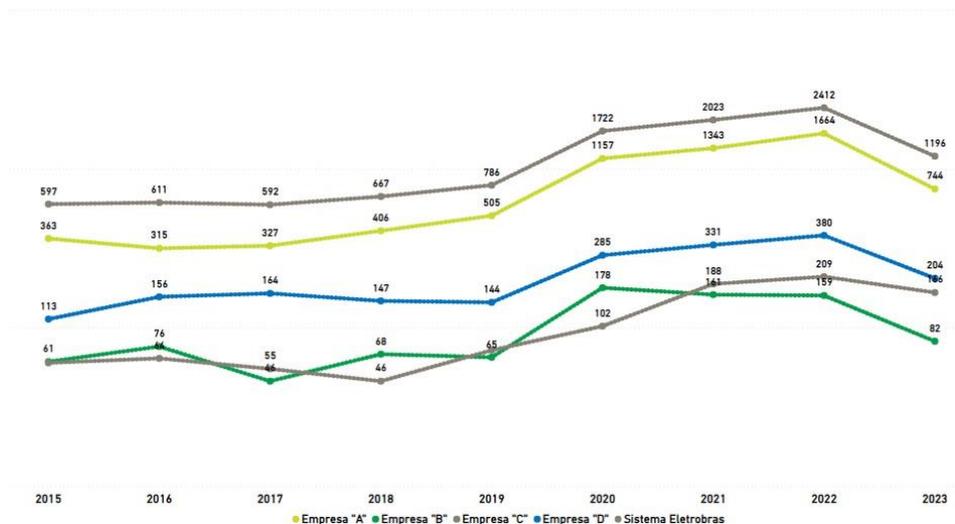
As práticas de manutenção variam significativamente entre os usuários da linha de transmissão e os possíveis fatores que podem influenciar são: as características e especificações da Linha de Transmissão, a qualidade dos componentes instalados, a função exigida da Linha, o ambiente em que a Linha possui geolocalização, o índice histórico de falhas da Linha e tipos de falha, o nível de redundância da Linha e as consequências de sua indisponibilidade, a modalidade da falha e os seus efeitos na segurança do Fluxo de Potência, a cultura e o foco de companhia baseados na manutenção, a disponibilidade e os custos do trabalho, o grau de implementação de tecnologias modernas e um programa de otimização da manutenção (MÓDULO 4.0, 2022). Uma vez que uma anormalidade é detectada, algumas ou todas as técnicas de diagnósticos disponíveis devem avaliar a sua gravidade e determinar se o equipamento

pode retornar à operação, com ou sem restrições. Sob o ponto de vista da manutenção das Torres das Linhas de Transmissão, podemos dizer que o Sistema de transmissão de energia elétrica brasileiro possui dimensões geográficas consideradas continentais, sendo composto por linhas de transmissão de longa distância conforme (RAUUP, 2016 apud SIMÕES, 2018). As Concessionárias de Transmissão, geralmente, possuem estrutura de manutenção enxuta e distribuída ao longo do trajeto de suas linhas de transmissão. Soma-se a este fato o grau de dificuldade para se percorrer as regiões por onde passam estes equipamentos, visto que estes podem estar, por exemplo, em áreas de preservação permanente, e o resultado é que a inspeção periódica de cada uma das torres acaba por se tornar esporádica demais para se observar determinados problemas. Por este motivo, as empresas de transmissão têm investido em projetos que permitam o monitoramento remoto dos estados das torres de Linha de Transmissão, como o projeto descrito na Revista (P&D ANEEL, 2009, RANGEL, 2009, apud SIMÕES, 2018). Sob o ponto de vista das cadeias de isoladores, podemos citar o caso em que a detecção de defeitos nas linhas de transmissão e faltas elétricas é uma tarefa difícil e, muitas vezes, muito demorada, uma vez que há a necessidade de percorrer toda Linha de Transmissão, além disso, deve envolver um custo operacional considerável, que pode levar a transmissão de energia elétrica a ser forçadamente interrompida por longos períodos, o que compromete diretamente a qualidade do fornecimento de energia elétrica por parte da concessionária (ADAMI, 2013).

Caso seja necessário, uma ação corretiva pode ser executada com a linha energizada ou não, e dependendo da condição da Linha, pode ser apropriado recorrer a uma intervenção mais intensa a fim de decidir se já é hora de revitalizar, reparar ou mesmo substituí-la, e dependendo dos resultados da avaliação que incluirá: considerações de segurança (tanto para a equipe de funcionários quanto para o público, em geral), as consequências ambientais e os aspectos de confiabilidade do Sistema de Operação (MÓDULO 4.0, 2022).

A solicitação para manutenção deve trazer algumas informações básicas, e dentre elas podemos citar: agente solicitante, tipo do equipamento (Linha de Transmissão), subestação envolvida, código do equipamento, período pretendido para a execução (datas e horas), tempo de retorno à operação, motivo da manutenção, tipo de manutenção: ampliação e reforço, preventiva, corretiva, emergência ou urgência, descrição detalhada dos serviços a serem executados, condições atmosféricas ou climáticas impeditivas à realização da intervenção (SUBMÓDULO 6.5, 2017). Cada empresa deve possuir um plano de manutenção e um plano de contingência para ocorrências inesperadas em seus equipamentos. Esses planos devem ter como base as recomendações dos manuais dos equipamentos e a experiência de cada empresa, englobando no mínimo: a inspeção visual, os registros de manutenção, o monitoramento de componentes, o registro da quantidade de energizações e religamentos, os efeitos das condições atmosféricas nos materiais que compõem a Linha, a avaliação térmica de contatos, terminais, isoladores, estruturas das torres e aterramentos (MÓDULO 4.0, 2022).

Gráfico 1 - Manutenções Realizadas pelo Sistema



Fonte – SGI – ONS, Elaborado pelo Autor.

O gráfico 1 corresponde ao quantitativo das manutenções realizadas pelo Sistema Eletrobras, Sistema, e por todas as Empresas do Sistema no período compreendido entre 2015 e 2022, onde 2023 estão incompletas por ainda estamos em curso, e a premissa é de que nesse gráfico contém os valores dos números de manutenções realizadas acumuladas até o final de cada ano, e assim, nos permite fazer uma análise comparativa na evolução do quantitativo de manutenções ao longo dos anos. Com as informações que dispomos, foram feitas conclusões e observações que provavelmente poderão ter melhorias quando a base de dados for atualizada nos próximos três anos. Os valores dos quantitativos demonstrados correspondem aos dados consolidados sob o ponto de vista dos níveis de tensões (230, 345, 440, 500, 525 e 765) kV, denominados de rede básica para o Sistema e para cada Empresa. Uma observação importante advém do fato de que as informações abaixo são analisadas isoladamente, ou seja, faltam outros pontos de vistas que conjugados podem apresentar conclusões finais diferentes das análises individuais, como por exemplo, podemos citar o caso de ter ocorrência de uma manutenção que durou alguns minutos ou uma manutenção que durou vários dias e independente do tempo foi contabilizada uma manutenção de cada.

As análises abaixo são baseadas no gráfico 1, e correspondentes aos quantitativos de manutenções realizadas por cada Empresa e para o Sistema.

Na Empresa “A”, verificou-se que o valor médio do número de manutenções foi 760, e a quantidade máxima foi de 1664, que ocorreu em 2022. A partir de 2020, ano mais sensível da pandemia, houve um aumento no quantitativo de manutenções realizadas. Outro fato importante é que anterior ao ano de 2018 o quantitativo era baixo, mas isso pode ter como fator o aumento no número de módulos pertencente a Empresa.

Na Empresa “B”, verificou-se que o valor médio do número de manutenções realizadas foi aproximadamente 102, e que o quantitativo máximo, 178, ocorreu em 2020, além disso, nota-se que nos anos anteriores a 2020, a demanda por manutenções era de certa forma estável, e que partir de 2021 esse quantitativo vem caindo

Na Empresa “C”, verificou-se que o valor médio do número de manutenções realizadas foi de aproximadamente 100, e que a partir de 2020 houve um aumento considerável, e que o valor máximo, 209, ocorreu em 2022, nesse caso o quantitativo praticamente triplicou em relação aos anos anteriores a 2019.

Na Empresa “D”, verificou-se que o valor médio do número de manutenções realizadas foi 215, e que o valor máximo, 380, ocorreu em 2022, além disso, nota-se que nos anos anteriores a 2020, a demanda por manutenções era baixa. Nesse caso também o valor, praticamente triplicou. No Sistema, verificou-se que o valor médio do número de manutenções foi de aproximadamente, 1177, e que o valor máximo, 2412, ocorreu em 2022, além disso nota-se que nos anos anteriores a 2020, a demanda por manutenções era baixa. Nota-se também que em julho de 2023 o valor já é superior a todos os anos anteriores ao ano de 2020.

II. METODOLOGIA

Os tipos de manutenções que aqui serão analisadas são considerados dos tipos 1, 2 e 3, ou seja, manutenções em equipamentos integrantes de instalações da rede básica.

Quanto à caracterização da manutenção serão consideradas as que ocorreram com e sem desligamento, ou seja, aquelas em que há ou não a necessidade, para a realização dos serviços, de que o equipamento esteja ligado ou desligado, ficando disponível ou indisponível para a operação.

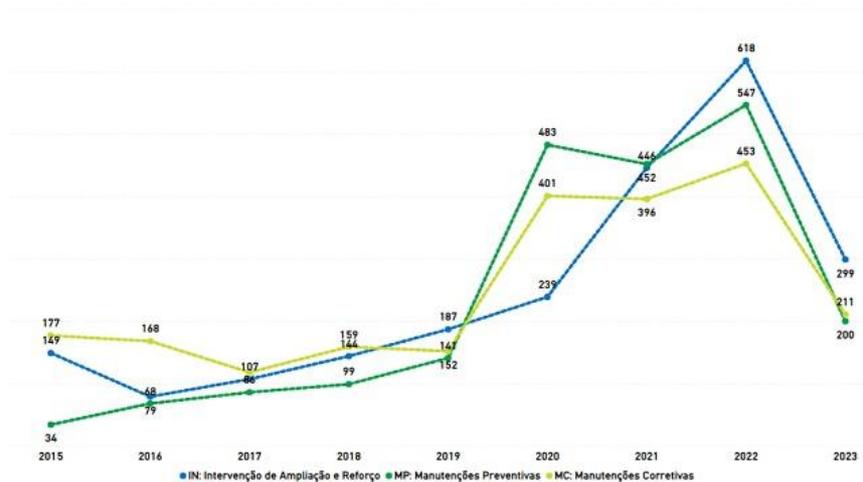
Quanto à natureza da manutenção serão consideradas as seguintes: manutenções corretivas mas que nesse caso a manutenção não impede as condições normais de utilização dos equipamentos; manutenções preventivas que nesse caso a manutenção é feita para controle, acompanhamento, conservação, testes e melhorias da Linhas, devendo ser executada com a finalidade de manter esses equipamentos em condições satisfatórias de operação; manutenções para implantação de ampliação, reforço e melhorias, que nesse caso a manutenções tem por finalidade a melhoria do Sistema Elétrico; Demais Manutenções que serão tratadas como outras, quanto ao prazo de solicitação da manutenção, considerou-se o seguinte: programada em regime normal que são solicitações feitas com antecedência maior ou igual a quarenta e oito horas; manutenções programadas em regime de emergência que são manutenções solicitadas com antecedência menor que quarenta e oito horas e maior ou igual a vinte e quatro horas; manutenções de urgência que são manutenções solicitadas com antecedência inferior a vinte e quatro horas, com relação ao horário da manutenção, ou com antecedência entre vinte e quatro horas e quarenta e oito horas, quanto à classificação do desligamento, considerou-se somente o desligamento programado ou não programado (SUBMÓDULO 6.5 2016). Os limites da abordagem nesse estudo, considerou também com base do histórico das manutenções a adoção das seguintes premissas: Base de dados compreendida no período do ano de 2015 até 2022, sendo 2023 incompleto; Abordar em todas as avaliações o período da pandemia; Análise quantitativa dos equipamentos e tipos de manutenções realizadas; Escalonar por nível de tensão; Análise do número de horas das manutenções; Verificar a possibilidade de determinação de índices associados ao quantitativo envolvido no período da manutenção (alguns desses estudos serão apresentados em oportunidades futuras). As informações, base de dados, foram obtidas no sítio do ONS, em arquivos no formato XML, que foram convertidos para Excel, e a apuração do conteúdo foi desenvolvido através da ferramenta VBA. A aplicação dessa metodologia considera a regra do método que é a divisão do problema em partes. Logo, dividiu-se em etapas todas as fases do trabalho de modo a se aprofundar e detalhar cada equipamento, nesse caso, Linhas de Transmissão.

III. PROCEDIMENTO

Estudo para cada tipo de Manutenção:

Na Empresa “A”, representada no gráfico 2, e considerando os sete anos de informações, verificou-se que as manutenções preventivas apresentaram um número elevado se comparado com as realizadas nos anos anteriores e os demais tipos de manutenção e isso provocou uma atenuação no crescimento das manutenções corretivas.

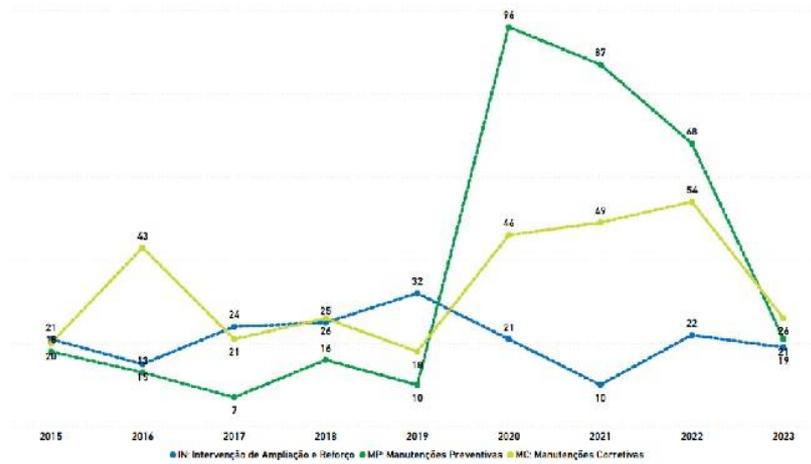
Gráfico 2 - Manutenções Realizadas por tipo na Empresa “A”



Fonte – SGI – ONS, Elaborado pelo Autor.

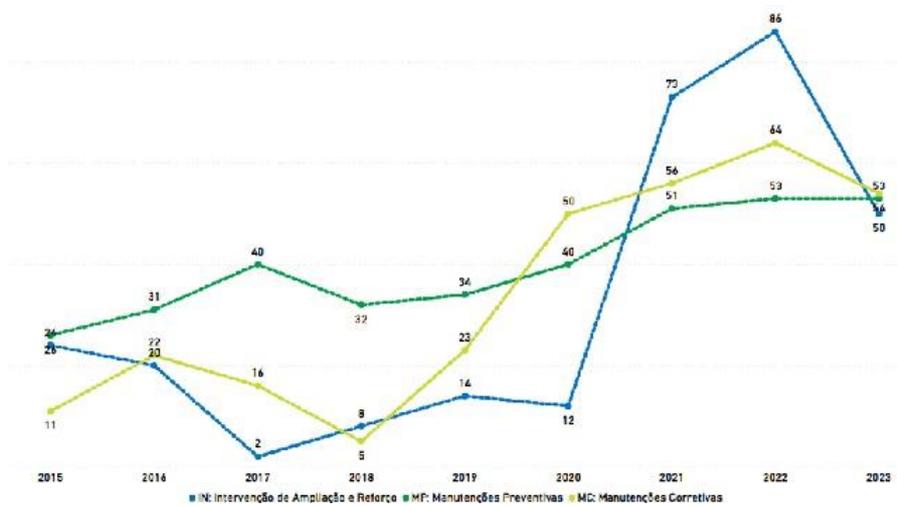
Em 2022, as manutenções preventivas e de ampliação e reforço receberam prioridade, mas essa posição revela o interesse da Empresa em reduzir o quantitativo de manutenções corretivas se comparado ao ano da Pandemia. Na Empresa “B”, representada no gráfico 3, verificou-se que a partir de 2020, as manutenções preventivas passaram a ser prioridade, o que manteve os valores das manutenções corretivas baixos, e antes da Pandemia, 2020, havia um bom trabalho nas manutenções de ampliação e reforço, tornando mais eficaz a redução no quantitativo da manutenção corretiva. Sob o ponto de vista da Empresa “C”, gráfico 4, e considerando os sete anos de informações, verificou-se que a quantidade de manutenções preventivas já era elevada antes da pandemia e isso estava reduzindo a quantidade de manutenções corretivas, ou seja, essa empresa também já vinha envidando esforços para que os quantitativos das manutenções corretivas fossem reduzidos, mas não houve o aumento nas manutenções para ampliação e reforço e apesar disso os quantitativos das manutenções corretivas eram baixos. Após 2020 foi dada prioridade na manutenção de ampliação e reforço, e a manutenção corretiva aumentou pouco, mas também houve um sensível aumento no quantitativo das manutenções preventivas. Sob o ponto de vista da Empresa “D”, representada no gráfico 5, e considerando os sete

Gráfico 3 - Manutenções Realizadas por tipo na Empresa “B”



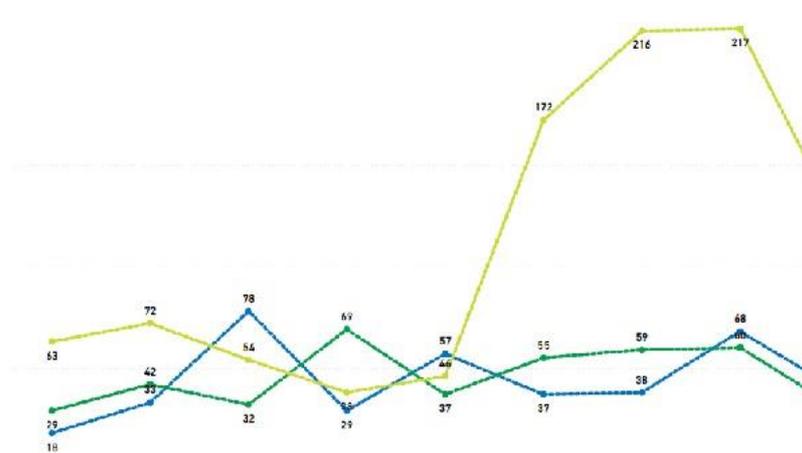
Fonte – SGI – ONS, Elaborado pelo Autor.

Gráfico 4 - Manutenções Realizadas por tipo na Empresa “C”



Fonte – SGI – ONS, Elaborado pelo Autor.

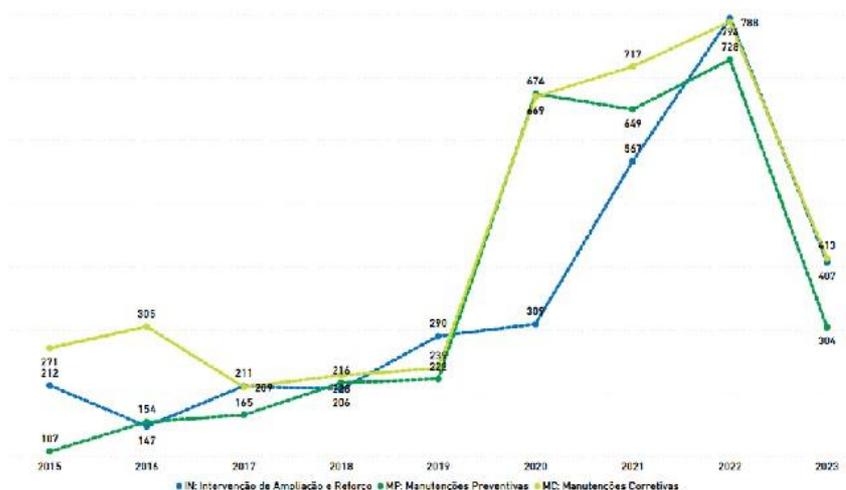
Gráfico 5 - Manutenções Realizadas por tipo na Empresa “D”



Fonte – SGI – ONS, Elaborado pelo Autor.

anos de informações, verificou-se que não foi dada prioridade nas manutenções preventivas e de ampliação e reforço, portanto o quantitativo de manutenções corretivas disparou, e nesse caso a Empresa foi pega de surpresa pois tinha antes de 2020 os níveis de manutenções corretivas baixo. Após 2020, o quantitativo da manutenção corretiva chegou a cinco vezes o quantitativo de anos anteriores. Além disso, as variações nos quantitativos dos demais tipos de manutenções não são significativos se comparados aos quantitativos dos anos anteriores. Sob o ponto de vista do equivalente a todas as Empresas juntas, ou seja, Sistema, representada no gráfico 6, e considerando os sete anos de informações, verificou-se que em 2022 a manutenção para ampliação e reforço do equipamento foi a que teve o percentual mais elevado, 150% em relação as realizadas no ano de 2020 (ano mais sensível da pandemia), seguida da manutenção corretiva que teve o acréscimo percentual de 17,7% em relação ao ano de 2020, além disso, nota-se que nos anos anteriores a 2020, a demanda por todos os tipos de manutenções oscilava em torno de 200, e já eram crescentes e isso estava provocando a manutenção dos quantitativos de manutenções corretivas. Com base nessas informações podemos concluir que o Sistema espera um impacto significativo nos quantitativos das manutenções corretivas a partir de 2022.

Gráfico 6 - Manutenções Realizadas por Tipo no Sistema



Fonte – SGI – ONS, Elaborado pelo Autor.

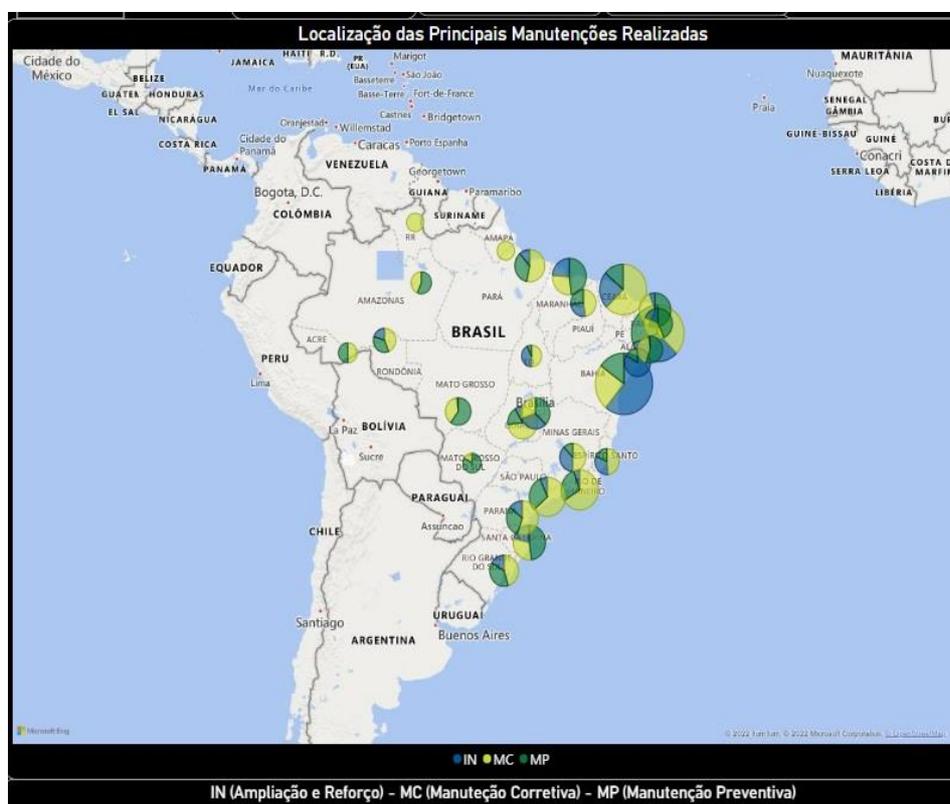
IV. ANÁLISE DE RESULTADOS

Para manter uma linha de transmissão em boas condições de funcionamento demanda um alto investimento tanto em equipamentos quanto em mão-de-obra especializada. O alto grau de confiabilidade exigido pelo Sistema Elétrico e as graves consequências no caso de uma interrupção no fornecimento de energia elétrica levam as empresas a busca permanente por métodos e equipamentos cada vez mais eficientes. Visando minimizar os problemas nas linhas de transmissão associados aos desligamentos dos circuitos ou mesmo energizados, deve-se reduzir drasticamente o tempo e o custo de reparo (ADAMI, 2013).

No início do ano de 2020 as Empresas foram pegas de surpresa com o avanço do COVID-19 e o lockdown da população, e subtende-se da mão de obra especializada na manutenção de equipamentos de alta tensão, nesse caso, Linhas de Transmissão, e com base nas informações acima apresentadas no conjunto ou individualmente, então podemos analisar através de uma visão conjunta, e concluir que a manutenção sofreu um

impacto significativo no período agudo da pandemia, lockdown, 2020, e que algumas Empresas já haviam adotado um aumento nas áreas da prevenção, ampliação e reforço, como por exemplo a Empresa “B” que a partir de 2019 aumentou de forma progressiva a quantidade de manutenções preventivas e por isso conseguiu atravessar com mais segurança esse período, e em outras Empresas houve a necessidade da realização de um número maior de manutenções de todos os tipos após o período agudo, ano de 2020. A figura 1, mostra o mapa das manutenções realizadas no ano de 2020, subdividido em manutenção de ampliação e reforço, manutenção corretiva e manutenção corretiva em todos os equipamentos do Sistema nesse caso (chaves, disjuntores, transformadores, compensadores, Linhas de Transmissão etc.), a ideia é mostrar que esse trabalho levou em consideração também o comparativo com o total de manutenções do sistema e o número de horas utilizado durante as manutenções e as análises consideram também algumas dessas informações não totalmente explícitas aqui.

Figura 1 - Geolocalização das Manutenções em 2020, por Tipo no Sistema



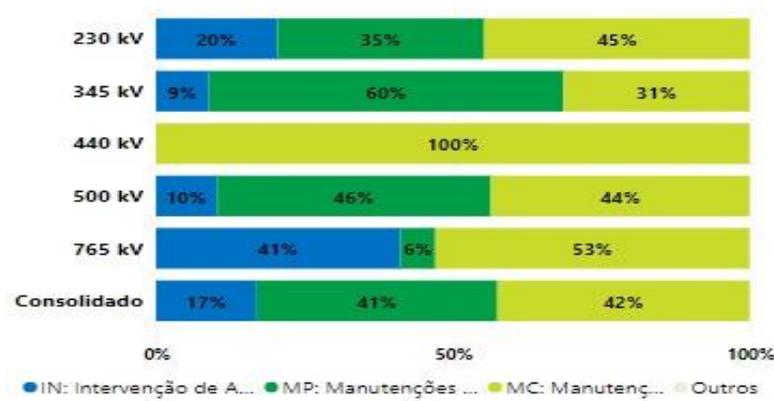
Fonte: SGI – ONS - Elaborado pelo Autor.

V. CONCLUSÕES

A fim de dar melhor entendimento ao trabalho informo que foi feito também o estudo que considerou somente as manutenções programadas com desligamento da linha de transmissão e que esse caso apresentou o maior impacto oriundo da pandemia, mas que seria muito extensivo abordar ambos os casos, até mesmo porque os quantitativos das manutenções foram bastante reduzidos. Além disso, verificou-se em ambos os estudos que o tempo de reparo da manutenção foi menor para cada serviço executado, o que permitiu aumentar o quantitativo de manutenções logo após o COVID-19.

Nesse estudo considerou-se também as manutenções realizadas com circuitos energizados e que nesses casos o quantitativo desse tipo de mão de obra é prioritário, e se pode deslocar trabalhadores de outras áreas, ou seja a sensibilidade é diferente, ou seja, a princípio, é que para esse tipo de trabalho a mão de obra parece ter pouca variação no quantitativo. Verificou-se que algumas Empresas demandam um quantitativo elevado de manutenções e isso poderia estar ligado ao número de número de módulos de cada Empresa, pois cada uma tem quantitativo diferente e nível de tensão próprios e que não são os mesmos uma das outras, por exemplo veja o gráfico 7,

Gráfico 7 - Manutenções Realizadas por Tipo no Sistema



Fonte – SGI – ONS, Elaborado pelo Autor.

o quantitativo do número de módulos, linhas de transmissão, varia muito pouco de um ano para outro porque depende da inserção de novos equipamentos, linhas de transmissão, esse quantitativo, ou seja, o número de módulos também serve como referência para comparativos com as quantidades que foram previstas as manutenções e não foram realizadas e isso também é um dos objetivos que darão continuidade nesse estudo. No caso da energia elétrica, em 2020, verificou-se um recuo na oferta interna de 5,4TWh (-0,8%) em relação a 2019 e a geração hidráulica reduziu 0,4%, acompanhando a queda na importação (-1,7%), cuja principal origem foi Itaipu (BEN, 2021), e essa retração reduziu as cargas associadas as linhas de transmissão, então, alguns desses equipamentos trabalharam em condições favoráveis e mesmo assim de uma forma geral houve no ano seguinte o aumento no número das manutenções realizadas de quase todos os tipos. Apesar da redução das cargas houve a necessidade da implementação de planos de inspeções de linhas de transmissão, bastante rigorosos e deve ter ajudado na implementação das manutenções imediatamente após o ano de 2020. Esse trabalho também mostra que assim como aprendemos nos racionamentos de energia elétrica e nas crises financeiras que atravessamos nos últimos 25 anos, devemos estar melhor preparados nas áreas técnicas de modo a evitar a descontinuidade da prestação dos serviços ligados ao insumo energia elétrica.

V. REFERÊNCIAS

ADAMI, José Feliciano; CAPELINI, Renato M.; MARTINEZ, Manuel L. B.; PARETONI, Marcel F. C.; AZEVEDO, Fernando Luiz; HOMRICH, Clayton. Localização Remota de Cadeias de Isoladores Danificadas em Linhas de Transmissão.

Revista Sodebras [on line]. v. 8, n. 87, Mar. 2013, p.60-66. ISSN 1809-3957. Disponível em: <<http://www.sodebras.com.br/edicoes/N87.pdf>>. Acesso em 04 Jul. 2023.

ANEEL - Revista de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL, Número 3, de julho de 2009, ISSN 1981-9803.

BEN 2021, Relatório Síntese, Ano base 2020. (Empresa de Pesquisa Energética – EPE, junho 2022.

Módulo 4.0, “Regras dos Serviços de Transmissão de Energia Elétrica”, Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, fevereiro 2022.

RANGEL, R. K; KIENITZ, K. H; BRANDÃO, P. M; Sistema de Inspeção de Linhas de Transmissão de Energia Elétrica utilizando Veículos Aéreos Não-Tripulados. Brazilian Symposium on Aerospace Eng. & Applications, 2009, Campos – SP.

RAUPP, Fabiano Maury; DA SILVA, Ana Cristina, **Custos em Geração de Energia: Evidências empíricas a partir do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda. Revista Sodebras [on line]**. v. 11, n.126, junho/2016, p. 17-22. ISSN 1809-3957. Disponível em: <http://www.sodebras.com.br/edicoes/N126.pdf>. Acesso em 16/07/2018.

SIMÕES, Tallis Amorim; SILVA, Alex de Lima e; NEVES, Fabrício; SILVA JÚNIOR, José Alves da. Desenvolvimento de um Sistema Inteligente de Detecção e Monitoramento para evitar Sinistros com Queda de Torres de Transmissão de Energia. **Revista Sodebras [on line]**. v. 13, n. 153, Set. 2018. p.108-112. ISSN 1809-3957. Disponível em: <<http://www.sodebras.com.br/edicoes/N153.pdf>>. Acesso em 04 Jul. 2023.

Submódulo 6.4, **Análise de Falhas em Equipamentos e Linhas de Transmissão**, Operador Nacional do Sistema Elétrico, junho 2021.

Submódulo 6.5, **“Programação de intervenções em instalações da Rede de Operação”**, Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, dezembro 2016

Submódulo 6.9, **Acompanhamento da manutenção de equipamentos e linhas de transmissão**, Operador Nacional do Sistema Elétrico, dezembro 2020.

VI. AGRADECIMENTOS

Agradecemos as seguintes Instituições: CEFET-RJ, CEFET-RJ/NI, COPPE - UFRJ, ELETROBRAS e ITAIPU/BINACIONAL por permitir adquirir conhecimentos fundamentais para entender melhor esse tipo de trabalho.

VII. COPYRIGHT

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

REVISÃO DE LITERATURA: POTENCIALIDADES E DESAFIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE USINAS MAREMOTRIZES NO BRASIL

LITERATURE REVIEW: POTENTIALS AND CHALLENGES FOR THE IMPLEMENTATION OF TIDAL POWER PLANTS IN BRAZIL

Gabriel Idalécio A.S. Silva¹
Ricardo José Bellam²

Resumo – A produção de energia elétrica no Brasil e no mundo é um fator determinante para o desenvolvimento tecnológico e industrial, no qual a proporção de energia produzida atualmente é insuficiente para as previsões futuras, proporcionando a necessidade de pesquisas que analisem os espaços físicos do nosso planeta, compreendendo os potenciais de geração de energia em relação aos seus obstáculos geográficos, científicos e tecnológicos. Delineia-se uma análise qualitativa a partir de uma revisão de literatura, compreendendo a tecnologia empregada e relacionando as mudanças na paisagem e seus possíveis reflexos ambientais, visando a relação da eficiência energética com o contexto geral dos impactos negativos e positivos de uma usina maremotriz. Dentre as fontes renováveis de energia, a energia maremotriz apresenta baixa participação na matriz energética brasileira, a despeito de um possível potencial em função da extensa costa litorânea do país. Conclui-se que no momento atual, uma usina maremotriz não tem capacidade de se tornar uma matriz principal, atuando principalmente como suplementar à outra matriz com maior eficiência energética, porém ressalta-se a necessidade de estudos mais aprofundados que possam explorar as capacidades geográficas de todo o território nacional.

Palavras-chave: Energia Sustentável. Energia Maremotriz. Matriz Energética.

Abstract – The production of electricity in Brazil and in the world is a determining factor for technological and industrial development, in which the proportion of energy currently produced is insufficient for future predictions, providing the need for research that analyzes the physical space of our planet, understanding the power generation potentials in relation to their geographic, scientific and technological obstacles. A qualitative analysis is outlined, understanding the technology employed and relating the changes in the landscape and their possible environmental consequences, aiming at the relationship between energy efficiency and the general context of the negative and positive impacts of a tidal power plant in the

¹ Mestrando em Engenharia (Unesp/Guaratinguetá-SP); Discente da Universidade Estadual Paulista-SP. Contato: idalecio.silva@unesp.br.

² Mestrando em Engenharia (Unesp/Guaratinguetá-SP); Consultor de projetos em melhoria contínua no Itaú-Unibanco. Contato: r.bellam@unesp.br.

proposed region. Among renewable energy sources, tidal energy has a low participation in the Brazilian energy matrix, despite a possible potential due to the country's extensive coastline. It is concluded that at the present time, a tidal power plant does not have the capacity to become a main matrix, acting mainly as a supplement to another matrix with greater energy efficiency, but it is emphasized that more in-depth studies are needed that can explore the capabilities geographical locations throughout the national territory.

Keywords: Sustainable Energy. Tidal Energy. Energy Matrix.

I. INTRODUÇÃO

A extensão territorial do Brasil proporciona significativas possibilidades de implementação de matrizes energéticas variadas, porém ao mesmo tempo cada região apresenta características físicas e sociais próprias, necessitando de adequações e pesquisas que possam entender suas necessidades e proporcionalidades.

O Brasil é um país de grande extensão territorial, com 8.516.000 km² (IBGE, 2020), estando entre os cinco maiores países do mundo; esta realidade apresenta uma significativa abrangência de características únicas em todo seu território, com cinco regiões que apresentam características semelhantes entre si, sendo as regiões, Norte, Nordeste, Sudeste, Centro-Oeste e Sul (IBGE, 2020).

Com foco na produção energética, é exequível analisar as possibilidades existentes e delinear uma adequação a um determinado espaço, buscando minimizar os malefícios provenientes de uma implementação que não seja mais favorável para um determinado espaço, norteando neste trabalho um enfoque na tecnologia de usinas maremotriz, na qual se utilizam de forças de ondas e marés que movimentam hélices ou pás que transformam a energia cinética do movimento da água em energia elétrica.

A região Norte do Brasil apresenta uma geografia plana com uma população conforme dados do IBGE (2020) de 18.672.591 de habitantes e com uma área de 3.870.000 km², com poucas mudanças em seu relevo e com uma topografia relativamente uniforme, com obstáculos para uma produção energética eficiente se comparadas com o uso de hidrelétricas como a de Itaipu, que utiliza o desnível topográfico para que, com a queda da água, se possa utilizar a energia cinética acumulada na queda para a movimentação das hélices.

Entretanto, a quantidade de rios na região proporciona a possibilidade de utilização das correntes como meio de obtenção da energia cinética para o processo de produção de energia elétrica, mas ainda apresentando obstáculos para sua implementação, como o alto custo tecnológico e estudos que possam analisar a proporcionalidade da produção de energia e problemas ambientais de sua utilização, para que possa ocorrer a decisão prévia de suas construções e operações.

O Brasil possui uma única usina-teste que promove a geração elétrica a partir das ondas do mar, que é a usina de Porto de Pecém, localizada na cidade de São Gonçalo do Amarante, no estado do Ceará, apontando assim a necessidade de proximidade com o litoral, mas não explorando o interior dos estados da região e os benefícios dos rios (KAZAY, 2022).

Segundo Silva *et al.* (2022), as alternativas estratégicas para fontes de energia limpa, podem ser entendidas:

“As fontes de energia das marés e das ondas são excelentes alternativas estratégicas para fontes de energia limpa devido à sua produção de energia previsível. Comparado com as energias eólica e solar, que apresentam variações horárias em produção de energia,

marés e ondas são fontes de energia com relativamente baixa intermitência em seus ciclos de geração” (SILVA *et al.*, 2022, p. 01).

Torna-se inviável a utilização de usinas maremotriz sem prévio estudo, pois mesmo com as potencialidades existentes por consequência da geografia física característica da região Norte, os problemas causados de uma implementação desestruturada podem causar inúmeros problemas ambientais e sociais, como a baixa eficiência energética que não possa suprir os custos de sua operação, falta de manutenção que possa emitir poluentes que destroem a fauna e flora local.

Além da necessidade de mão de obra especializada para sua operação, porém a hipótese deste trabalho é a compreensão da operação da usina maremotriz como complementar à outras matrizes energéticas do Brasil, no qual mesmo com seus custos e desafios possa a princípio suprir em conjunto com outras matrizes energéticas prioritariamente limpas, as necessidades energéticas nacionais.

Entretanto, com diferenças que abarcam fauna e flora endêmicas de cada região, que não se apresentam em duplicidade em outras partes do território nacional e é nesta perspectiva que se apresenta a necessidade de pesquisas e análises de modo a delinear as características de cada região, estado e local; do micro ao macro, principalmente no que o artigo se propõe, a produção energética em uma usina maremotriz em uma região pré-estabelecida.

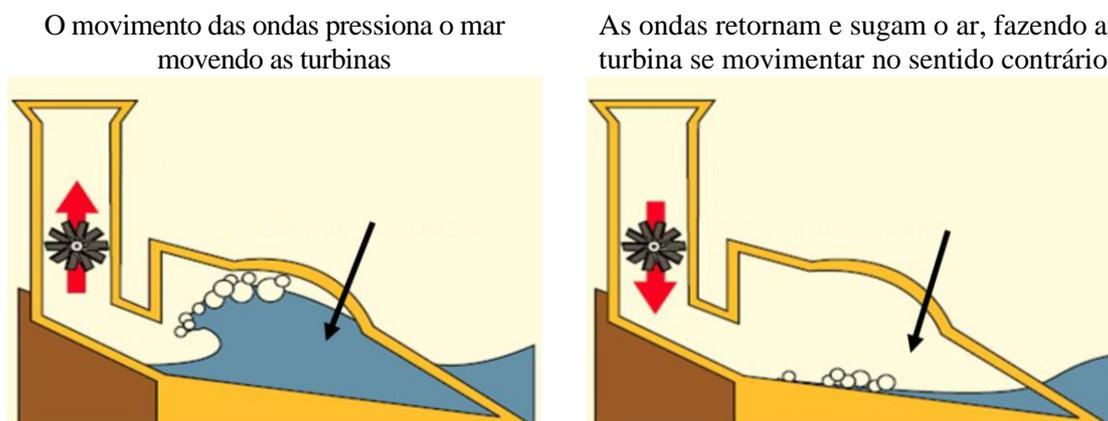
II. REFERENCIAL TEÓRICO

A energia maremotriz consiste na captação e transformação de energia resultante do desnível das marés e a velocidade das correntes marítimas. Para a construção de uma usina maremotriz são necessários alguns fatores naturais, delineando uma situação geográfica favorável além de ter uma grande amplitude em relação às marés, isso significa que para que um posto de captação consiga gerar energia suficiente para abastecimento são necessárias ondas acima de sete metros de altura (ALVES, 2018a).

Não existe um método único para obter este tipo de energia, tendo em conta as irregularidades de cada local ou as diferentes variações de clima, temperatura, pluviosidade anual entre outros. Por estes motivos existem diferentes modelos de captação de energia através das marés, todas contendo a mesma matriz energética, mas utilizando-se de diferentes processos para obtê-la, como por exemplo, os sistemas de captação através de turbinas, por terminais, por atenuadores, absorvedor flutuante e dispositivo *overtopping* (indicador de quando a água armazenada na barragem ultrapassa a crista da barragem (GONÇALVES *et al.*, 2018).

A energia captada pelas ondas é gerada por seu movimento incessante, que de maneira alternada comprimem e descomprimem o ar na parte interior de “câmeras de concreto” projetadas nas margens do mar. Estas câmeras são abertas na parte que existe água, que por sua vez realiza o trabalho de empurrar o ar para a parte interna das câmeras e que desta maneira aciona uma turbina para puxar o ar de dentro das câmaras que por sua vez ativa a mesma turbina. Veja Figura 1, para acompanhamento do movimento das ondas:

Figura 1 - Esquema simplificado representativo de geração de energia elétrica da matriz em foco. (Geração de Energia em Usina Maremotriz)



Fonte: Adaptado pelo autor (UFJF, 2014).

Normalmente, uma usina maremotriz é construída em locais onde há grandes variações de maré, como estuários ou baías. A estrutura da usina consiste em uma barragem colocada em uma área de maré alta ou estuário, com comportas que permitem a entrada da água quando a maré sobe. Quando a maré começa a subir, as comportas são abertas e a água do mar é permitida a entrar na área da barragem. A pressão da água é utilizada para mover turbinas instaladas em uma casa de força na barragem. As turbinas são conectadas a geradores que convertem a energia mecânica da rotação das turbinas em energia elétrica (ALVES, 2018a).

À medida que a água do mar flui para dentro da barragem, ela preenche o reservatório. Quando a maré atinge seu ponto mais alto, as comportas são fechadas, segurando a água no interior do reservatório. Após esse período, quando a maré começa a recuar, as comportas são abertas novamente para liberar a água retida e permitir que ela flua de volta para o mar. Esse processo gera um movimento bidirecional das turbinas, aproveitando tanto a maré baixa quanto a maré alta (ALVES, 2018a).

A energia gerada em uma usina maremotriz pode ser transformada em eletricidade e utilizada diretamente ou distribuída para abastecer redes elétricas. Além disso, esse tipo de usina oferece vantagens ambientais, pois é uma fonte de energia renovável e limpa, com baixa emissão de gases de efeito estufa.

No entanto, a construção de usinas maremotrizes pode enfrentar desafios técnicos e ambientais significativos. Os custos de instalação e manutenção são geralmente altos, e a disponibilidade de localizações adequadas é limitada. Além disso, a construção de usinas maremotrizes pode causar impactos ambientais, como mudanças no ecossistema local e na circulação de água. Por isso, é importante realizar estudos e avaliações cuidadosas antes de construir uma usina maremotriz (GONÇALVES *et al.*, 2018).

O sistema de captação de energia através de turbinas utiliza grandes represas e baías que canalizam as marés, permitindo-lhes atingir sem esforço alturas superiores a 20 metros com a barragem cerrada, embutindo assim as turbinas em um nível mais baixo, explorando a altura obtida pelo desnível provocado pela abertura da represa (ALVES, 2018b). Conforme representado na Figura 2:

Figura 2 - Modelo tridimensional de uma turbina geradora



Fonte: Adaptado de Gonçalves *et al.*, 2018.

A geração de energia acontece quando o vento ou a água em movimento atingem as hélices das turbinas, estas começam a girar. Esse movimento é transferido através de um eixo conectado a um gerador, que converte a energia mecânica do movimento em energia elétrica.

O local mais conhecido que utiliza esse método é a grande usina de La Rance, França, considerada a maior usina do mundo na captação deste modelo energético (GERVASI, 2023). O autor ainda reitera que é a primeira usina conectada à rede elétrica nacional, utilizando uma represa de 750 m de altura e 24 turbinas, gerando 240 MW de eletricidade, energia suficiente para prover uma cidade-estado de 200 mil habitantes.

Para o sistema de captação de energia por meio de terminais, reitera Gonçalves *et al.* (2018) que utilizando-se de estruturas metálicas construídas *onshore* (em terra), *nearshore* (próximo a terra) ou *offshore* (distantes da terra, em alto mar), o sistema de captação de energia maremotriz por terminais se compreende em uma base perpendicular ao solo ou ao mar que apresenta em seu interior uma coluna de ar que aplica compressão e despressurização, o que faz com que o ar suba e desça.

Esses movimentos do ar são causados pela vinda e pelo recuo das ondas dentro da estrutura, fazendo com que o ar seja puxado pela turbina como resultado da queda de pressão da despressurização, assim, se gera energia elétrica (GONÇALVES *et al.*, 2018). Veja Figura 3:

Figura 3 - Terminal *offshore*



Fonte: Adaptado de Gonçalves *et al.*, 2018.

Além disso, terminais também podem ser usados para a captação e transmissão de energia em redes elétricas tradicionais, como por exemplo em linhas de transmissão de energia elétrica ou nas tomadas de energia residenciais e comerciais. Esses terminais permitem que a energia elétrica seja fornecida e utilizada pelos consumidores.

Um sistema de captação de energia por atenuadores é um método de aproveitamento de energia que se baseia na utilização de atenuadores - dispositivos que reduzem a pressão e a velocidade da água - para gerar energia hidroelétrica (LIMA, 2021).

Esses atenuadores são geralmente instalados em rios ou canais de fluxo constante. Quando a água passa pelos atenuadores, sua pressão e velocidade são reduzidas, o que resulta em uma energia cinética. Essa energia é então convertida em energia elétrica por meio de turbinas hidráulicas ou geradores (LIMA, 2021).

Os atenuadores são dispositivos que possuem estruturas longas em forma de cilindro que flutuam no mar (GONÇALVES, 2018). Esses aparelhos são conectados por dobradiças e ancorados em mar aberto, conforme a Figura 4:

Figura 4 - Foto de um atenuador



Fonte: Adaptado de Gonçalves *et al.*, 2018.

Os atenuadores são colocados perpendicularmente às ondas, e o movimento de seus segmentos aciona conversores que convertem energia cinética em energia elétrica (PUGLISI, 2019). Esta energia gerada é enviada para a costa através de cabos de energia e quando chega à costa é dissipada pela rede elétrica.

O sistema de captação de energia por atenuadores é uma forma de aproveitar o potencial energético dos rios e canais, sem a necessidade de construir barragens e represas. Isso significa que é uma opção de geração de energia renovável e ambientalmente amigável (LIMA, 2021).

No entanto, esse sistema tem algumas limitações. Por exemplo, ele só é eficiente em rios ou canais com fluxo constante e moderado. Também pode haver impactos ambientais locais, como a alteração do habitat aquático. Portanto, é importante realizar estudos de viabilidade e avaliar o impacto ambiental antes de implementar esse tipo de sistema de captação de energia.

Absorvedores flutuantes ou absorvedores de ponto são dispositivos flutuantes que não possuem uma orientação fixa para as ondas, pois podem absorver seu movimento em todas as direções. Esses sistemas são capazes de capturar a energia das ondas que passam através deles, o que aciona um mecanismo interno que gera eletricidade. Essa eletricidade pode ser utilizada para alimentar redes elétricas locais ou ser armazenada para uso posterior. Conforme a Figura 5:

Figura 5 - Absorvedor de ponto da Finavera-Aquabuoy



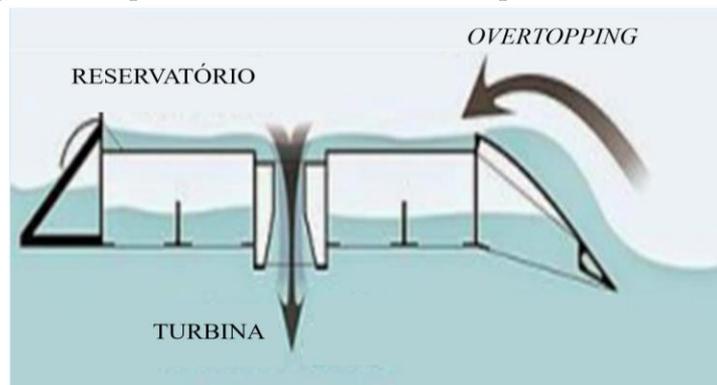
Fonte: Adaptado de Gonçalves *et al.*, 2018.

Esses absorvedores possuem uma estrutura integrada que se move de acordo com o movimento das ondas, mais precisamente de acordo com seus picos e vales. Esses movimentos verticais acionam transdutores que transformam energia mecânica em energia elétrica (SILVA, 2019).

Os sistemas de captação por absorvedor flutuante são uma forma de aproveitar a energia renovável marinha, que é uma fonte limpa e sustentável de energia. Eles podem ser utilizados em áreas costeiras onde há uma grande quantidade de energia das ondas, o que os torna particularmente úteis em regiões com recursos energéticos marinhos abundantes.

Os dispositivos de galgamento ou dispositivos *overtopping* possui um tanque que é preenchido com água proveniente das ondas, onde a pressão da água que está represada é levemente aumentada, e quando esta água é liberada, a gravidade faz com que ela retorne ao mar e aciona uma turbina hidrelétrica, que por sua vez produz eletricidade (VAZ SANTIAGO, 2021).

Figura 6 - Esquema de funcionamento do dispositivo *Wave Dragon*



Fonte: Adaptado de Gonçalves *et al.*, 2018.

O dispositivo de galgamento consiste em uma estrutura colocada no leito do rio, geralmente feita de materiais resistentes como concreto, aço ou madeira, que possui um sistema de comportas ou turbinas para captar o fluxo de água (SILVA, 2019).

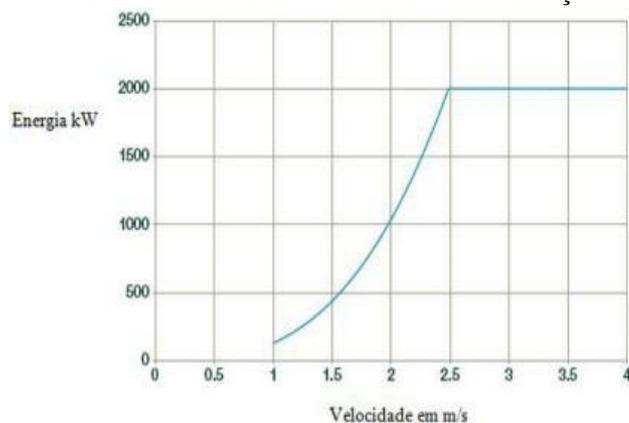
Quando a água flui pelo rio ou correnteza, ela encontra o dispositivo de galgamento e é direcionada para as turbinas ou comportas. Se o dispositivo tiver turbinas, a água passa através delas, fazendo com que as pás girem. Essas turbinas são conectadas a um gerador, que converte a energia mecânica em energia elétrica (VAZ SANTIAGO, 2021).

Se o dispositivo de galgamento tiver comportas, a água é direcionada para dentro de câmaras ou reservatórios, onde é armazenada temporariamente (SILVA, 2019). Quando há uma quantidade suficiente de água armazenada, as comportas são abertas e a água flui através de turbinas ou comportas com pás, gerando energia elétrica. A energia gerada é então transmitida para uma rede elétrica ou armazenada em baterias para uso posterior.

A captação de energia por meio de dispositivos de galgamento é considerada uma fonte de energia renovável, pois depende do fluxo natural da água nos rios e correntezas, sem a necessidade de combustíveis fósseis. Além disso, essa forma de geração de energia tem um baixo impacto ambiental, pois não requer grandes barragens ou represas, que geralmente têm impactos negativos nos ecossistemas locais.

Um conjunto de turbinas de geração de energia das marés localizadas a 30 metros de profundidade, com pás posicionadas na direção correta das ondas, tem capacidade para gerar 86 GWh (Gigawatt-hora) (NUNES, 2020). Para atingir esses valores, a velocidade alcançada pela sonda deve ser de no mínimo 1 m/s, quanto mais rápido mais energia, com máximo de 2,5 m/s, conforme a Figura 7:

Figura 7 – Gráfico relacionando a velocidade de rotação e a energia



Fonte: Adaptado de Gonçalves *et al.*, 2018.

Além disso, em relação ao vento referência de energia, a água é 832 vezes mais densa que o ar, o que torna os rotores de diferentes métodos de captação mais próximos e menores sem danificar o dispositivo e sua geração de energia (GONÇALVES *et al.*, 2018).

É importante ressaltar que a construção de uma usina maremotriz requer um estudo prévio minucioso do local para avaliar o impacto ambiental e a viabilidade econômica do projeto. Além disso, a geração de energia através das marés é dependente das condições do mar e da regularidade das marés, o que pode limitar sua aplicação em algumas regiões.

III. METODOLOGIA

O método utilizado é a pesquisa bibliográfica, o qual procura explicar um tema a partir de referências publicadas em livros, revistas e periódicos (MARTINS; LINTZ, 2007). De acordo com Lima e Miotto (2007), a pesquisa bibliográfica busca ordenar uma série de procedimentos visando à busca de soluções.

Os dados foram coletados por meio de pesquisa bibliográfica, ou seja, a partir de bibliografia já publicada sobre o assunto teoria institucional e marcas, com o objetivo de garantir ao pesquisador o reforço paralelo na análise de suas pesquisas ou manipulação de suas informações (MARCONI; LAKATOS, 2009).

O trabalho envolveu uma pesquisa bibliográfica e documental de cunho qualitativo, abrangendo a literatura especializada no tema e seu principal marcos legais, a saber: Este artigo buscou delinear os aspectos tecnológicos da produção energética de uma usina maremotriz, compreendendo seu funcionamento e eficiência no âmbito energético brasileiro, reconhecido como majoritariamente limpo em relação às matrizes empregadas atualmente ao redor do mundo, prospectando em repositórios como a SciELO (Scientific Electronic Library Online), Google acadêmico e Scopus, compreendendo o período de tempo de 2002 a 2023, buscando analisar as possíveis mudanças metodológicas e técnicas no decorrer do tempo, utilizando palavras chave como “tidal wave”, “clean energy” e “energy efficiency”, além de dados proporcionados por agências governamentais responsáveis pela gestão da produção de energia. Após a coleta dos artigos foram analisados 35 artigos, delineando suas similaridades e disparidades.

IV. RESULTADOS

A matriz energética mundial está fortemente sustentada por fontes não renováveis como carvão e petróleo que representam cerca de 60% (SOUSA, 2023). O Brasil se apresenta como um país privilegiado por possuir uma bacia hidrográfica que proporciona um potencial energético consideravelmente limpo, grande parte de sua energia (74,3%) sendo gerada por hidrelétricas (TAVARES, 2023).

A oscilação de marés, correntes marítimas e ondas são recursos renováveis cuja tecnologia empregada para o aproveitamento dessas fontes de eletricidade está em constante avanço, sendo o Brasil um dos países com maior faixa litorânea do mundo é surpreendente a baixíssima utilização dessa alternativa (OLIVEIRA, 2022).

É possível a análise de cada uma das possibilidades de energia maremotriz, das formas de implementação e tecnologias empregadas, das informações obtidas nas plantas já em funcionamento, podendo assim avaliar oportunidades de desenvolvimento dessa forma de geração de energia no Brasil, visto que a Agência Internacional de Energia acredita que este tipo de fonte de energia deverá ter considerável representatividade no mix da matriz energética mundial até 2030 (OLIVEIRA, 2023).

O principal exemplo de instalação desse tipo está na França, usina maremotriz de La Rance, opera desde 1966 com uma capacidade instalada de 240 MW. O fator de

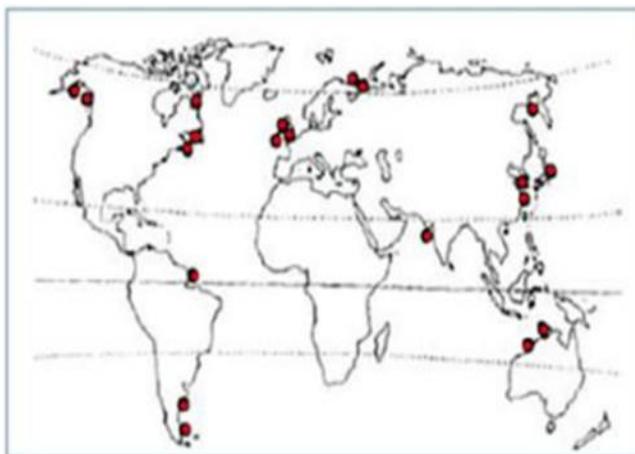
utilização da planta é de menos de 30%, enquanto em usinas hidrelétricas ele usualmente passa dos 50% (BARKETT BOTAN, 2014). Além de necessitar de marés de grande amplitude, esta forma de instalação necessita de características geográficas específicas, como uma área adequada para represamento. Regiões como a costa norte do Brasil são adequadas para tanto, assim como o litoral do Maranhão, cuja amplitude das marés chega aos oito metros (ARAGÃO, 2019).

Embora a energia maremotriz não produza resíduos ou emita gases que causem danos diretos ao meio ambiente, assim como as usinas hidrelétricas, tem grandes efeitos no ambiente em sua construção e operação. A instalação de uma planta como essa pode interferir de maneira significativa nas características naturais do local, causando modificações na qualidade da água, na morfologia do estuário, na distribuição, composição e ciclos de vida das espécies da região (GONÇALVES *et al.*, 2018).

Observa-se que a utilização desse tipo de instalação não tem crescido, principalmente devido aos seus elevados custos e impactos ambientais. Na construção de uma usina como essa o investimento financeiro é muito próximo de uma usina hidrelétrica, porém não conta com o mesmo aproveitamento da capacidade instalada, visto que a energia das marés não está disponível todo o tempo. Além disso, a água salgada faz com que os materiais utilizados tenham que ter especial resistência à corrosão, sendo assim mais caros (TAVARES, 2023).

Para Leite Neto *et al.* (2018), embora tenha um grande potencial de geração de energia, a geração maremotriz pode ser instalada em alguns poucos lugares, na Figura 9, onde condições específicas do litoral também influenciam as marés, como forma da costa e o leito marinho, assim como a existência de baías e estuários.

Figura 8 – Locais propícios à geração maremotriz



Fonte: Adaptado de Leite Neto *et al.*, 2018.

Obter energia elétrica tendo como fonte as ondas do mar seria o ideal para um país como o Brasil, com quase oito mil quilômetros de litoral. No caso das ondas, a energia é proporcional à amplitude e período, sendo o recurso bastante estável, previsível, consideravelmente imune aos efeitos do clima local e com variação horária pequena (QUIRINO, SOUSA; NASCIMENTO, 2018). As três variações de tipos de dispositivos de conversão de energia das ondas, baseadas na distância de instalação da costa já foram explicados: *onshore*, *nearshore* e *offshore* (sendo o dispositivo mais conhecido).

Outra possibilidade de bem menos impacto, para o Brasil, é a utilização da energia das correntes marítimas. Elas estão presentes em todos os oceanos do planeta

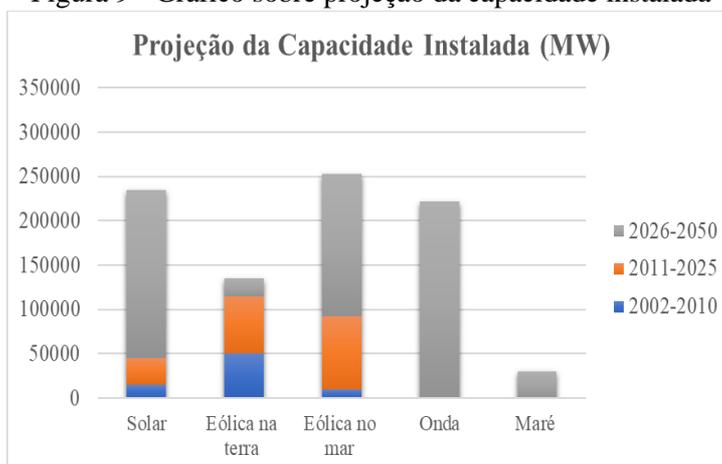
para geração de energia elétrica. As correntes marítimas são deslocamentos de grandes massas de água e possuem direções e periodicidades bem definidas.

A origem desses deslocamentos se deve a ação dos ventos na superfície e do movimento de rotação da Terra. Essas correntes de água possuem grande quantidade de energia cinética, apesar de menor do que a dos ventos. Porém, como a densidade da água é aproximadamente 800 vezes maior (FERREIRA, 2018), a energia gerada pelas correntes marítimas é bem maior do que a gerada por parques eólicos. Além do fato das correntes serem bem mais previsíveis do que os ventos, característica muito valiosa para a implantação de fontes de energia.

A energia dessas massas de água pode ser extraída de modo muito similar ao feito em dispositivos eólicos, através de sistemas modulares de turbinas colocados diretamente no leito do mar. De acordo com o Estudo de Fontes Alternativas incluído no Plano Nacional de Energia 2030, o aproveitamento das marés, correntes marítimas, ondas, energia térmica e gradientes de salinidade incluem oportunidades para gerar eletricidade a partir do mar, existem várias possibilidades, porém todas as tecnologias ainda estão em desenvolvimento, exceto o aproveitamento da energia potencial em usina Maremotriz - que está contida no movimento da água (ANEEL, 2018). Veja Figura 9:

Os registros da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2018) mostram que o potencial total estimado de energia das marés é de 22.000 TWh por ano, dos quais 200 TWh são utilizáveis.

Figura 9 - Gráfico sobre projeção da capacidade instalada

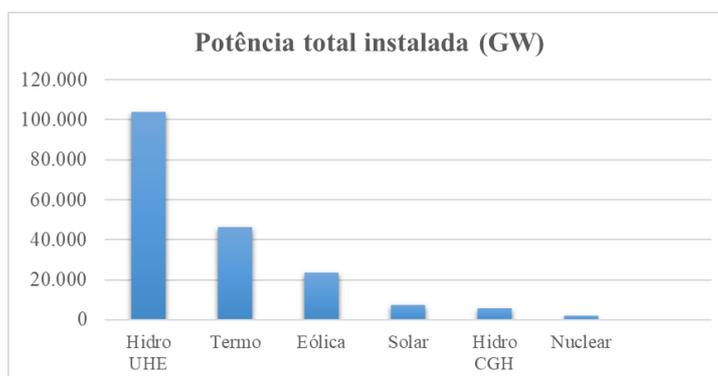


Fonte: Adaptado de ANEEL 2018; EPE, 2018.

O Brasil possui uma única instalação de teste para geração de energia a partir das ondas do mar, a Unidade Portuária do Pecém. Está localizada na cidade de São Gonçalo do Amarante no Estado do Ceará. Sua instalação ocorreu em 2012, quatro anos depois o projeto foi paralisado e reaberto em 2017 (TOFFANO, 2020).

O custo de implementação é alto e a capacidade de geração é muito menor do que outros métodos mais baratos. Instalar uma estação de captação de energia das marés requer um grande investimento e é menos eficiente (aproximadamente 20%). Podemos ver no gráfico abaixo a matriz energética brasileira atual, este estudo realizado pela ANEEL (2022) não considera esse método de geração de energia, pois estatisticamente é irrelevante (GUITARRA, 2023). A Figura 10 demonstra a potencialidade do total instalado para delineamento da relação entre as matrizes empregadas nos dias atuais:

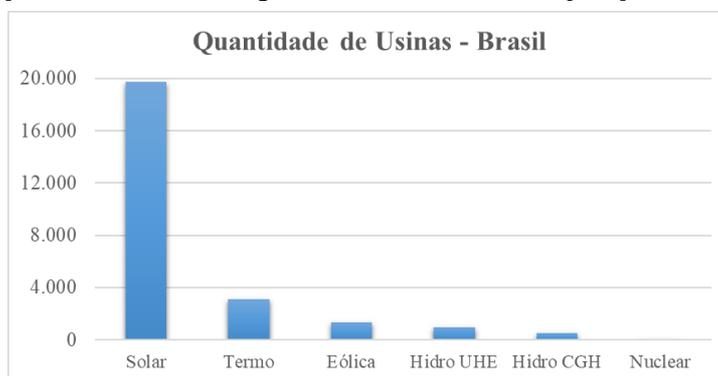
Figura 10 - Potência total instalada de acordo com as matrizes empregadas atualmente



Fonte: Adaptado de ANEEL, 2022.

A Figura 11 nos permite relacionar os modelos energéticos existentes em comparação à eficiência energética:

Figura 11 - Relação dos modelos energéticos existentes em comparação à eficiência energética



Fonte: Adaptado de ANEEL, 2022.

A energia das marés é uma alternativa viável em termos de energia limpa e renovável, mas como vimos anteriormente, os custos de instalação ainda são muito elevados. Um dos motivos é o preço das turbinas e hélices, que devem ser muito mais pesadas e resistentes do que os usados para energia eólica (FERREIRA, 2018). Além disso, a geração de energia das marés não é possível em qualquer região, as condições adequadas para a geração de energia das marés dependem da posição da terra (latitude).

Além disso, a velocidade média das correntes deve ser de pelo menos 2 m/s. As barragens, especialmente as turbinas, podem ter um impacto negativo significativo nos ecossistemas marinhos, pois causam alterações no fluxo de água. Isso pode levar a mudanças na qualidade da água e, conseqüentemente, nos habitats nos quais muitas espécies vegetais e animais evoluem, isso ocorre porque existe o perigo de colisão com estruturas como pás de turbinas (GUITARRA, 2023).

V. DISCUSSÃO

A necessidade de diversificação da matriz energética é fundamental, assim como fontes alternativas locais, visando baratear o custo da energia chegando em regiões de difícil acesso. O principal meio de geração de energia elétrica no Brasil são as Usinas Hidrelétricas, porém com efeitos colaterais importantes para o ecossistema local e com alto custo de transmissão. A região Norte possui cerca de 60% de todo potencial

Hidrelétrico do Brasil, mas segundo o Plano Nacional de Energia elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética EPE (2022), boa parte tem restrições ambientais para exploração.

A expectativa é aumentar a geração na bacia do Amazonas, pois o norte é considerado a grande fronteira Hidrelétrica (ZAMBONIN, 2023), entretanto essa também é a região com maior riqueza de biodiversidade de fauna, flora e com grandes comunidades indígenas. De acordo com a EPE (2022), o plano é investir cada vez mais na energia eólica e termelétricas. Vemos, portanto, que a geração de Energia via Usinas Maremotrizes nem são consideradas nos planos de expansão atuais.

Podemos ver na tabela abaixo, o custo médio de geração de eletricidade de acordo com o tipo de tecnologia, sendo esse fator determinante para as usinas maremotrizes estarem fora dos planos da EPE.

Tabela 1 - Custo de energia por custo de capital
ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ENERGIA
ELÉTRICA 2022 – (Ano base 2021)

Energia maremotriz	US\$ 206/MWh
Energia nuclear	US\$ 190/MWh
Energia geotérmica	US\$ 105/MWh
Carvão	US\$ 130/MWh
Gás combinado	US\$ 61/MWh
Energia solar	US\$ 48/MWh
Energia eólica	US\$ 47/MWh

Fonte: Adaptado de EPE, 2022.

As fontes de geração de energia consideradas mais baratas são a energia eólica e solar, pois são provenientes de fontes gratuitas e inesgotáveis (assim como a Maremotriz), porém seus custos vêm diminuindo cada vez mais com o avanço da tecnologia. A conclusão com relação a esse ponto é que este tipo de tecnologia necessita de desenvolvimento tecnológico para poder figurar entre as alternativas possíveis da nossa matriz elétrica.

VI. CONCLUSÃO

Delineia-se os potenciais e desafios da implementação de uma usina de energia maremotriz a partir de uma visão holística entre os elementos envolvidos em todo o sistema. As capacidades técnicas em conjunto com os métodos atuais da operação de uma usina maremotriz apresentam desafios em relação aos altos custos de sua construção e funcionamento, não garantindo assim uma eficiência energética capaz de suprir as demandas industriais e habitacionais de uma região, mesmo que pouco denso demograficamente, ou com baixo consumo energético em geral.

Ainda existe uma lacuna em relação ao número de trabalhos que visam analisar meticulosamente os impactos causados por usinas existentes atualmente, principalmente no aspecto social e ambiental, tornando necessário um maior número de estudos que visem compreender a relação não apenas técnica da produção energética, mas também os aspectos sociais em relação ao uso da energia produzida, para que a partir de pesquisas deste espectro, seja possível uma análise não apenas de eficiência técnica, mas uma relação entre a produção e a eficiência energética em relação à sociedade que a utiliza.

Este artigo buscou analisar os trabalhos dos quais abarcam a construção e operação uma usina maremotriz, compreendendo seu funcionamento e eficiência no

âmbito energético brasileiro, reconhecido como majoritariamente limpo em relação às matrizes empregadas atualmente ao redor do mundo.

Além de analisar superficialmente os impactos ambientais causados pela implementação e operação da usina proposta, como consequência do baixo número de trabalhos existentes como foco neste modelo de produção, sendo que atualmente grande parte dos trabalhos busquem compreender os impactos ambientais causados por outras matrizes energéticas, das quais muitas espelham a compreensão holística dos impactos que a princípio podem ser causados por uma usina maremotriz.

Conclui-se que no momento atual, uma usina maremotriz não tem capacidade de se tornar uma matriz principal, atuando principalmente como suplementar à outra matriz com maior eficiência energética, porém ressalta-se que é necessário estudos mais aprofundados que possam explorar as capacidades geográficas de todo o território nacional, acentuando a extensão da costa brasileira, além do investimento em desenvolvimento tecnológicos para resolução de obstáculos técnicos existentes, dos quais resultam do alto custo de produção da usina e da energia propriamente dita.

VII. REFERÊNCIAS

ALVES, Agassiel de Medeiros. **Fatores indicativos de alterações climáticas associados à exploração petrolífera onshore na Bacia Potiguar**. 2018a. 102f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Petróleo) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Acesso em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/31539>. Acesso em: 23 de jul de 2023.

ALVES, Catarina Vales Pereira. **Habitação sustentável: na roça Porto Alegre, ilha de São Tomé e Príncipe**.- Lisboa: FA, 2018b. Dissertação de Mestrado. Disponível em: <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/18049>. Acesso em: 20 de jul de 2023.

ANEEL. **Sistema de informações de Geração Aneel**. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel>. Acesso em: 23 de jun de 2023.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Energia Eólica. **In:** (ANEEL), Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Brasília: Aneel, 2002. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf. Acesso em: 25 jun 2023.

Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. ed. – Brasília: Aneel, 2008. 236 p.: il. Disponível em: ISBN: 978-85-87491-10-7. Acesso em: 25 jun 2023.

ARAGÃO, Jéssica da Silva. **Estudo do uso de energia renovável nas zonas costeiras por ondas, marés e ventos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Oceanografia) - Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 2019. 86 f. 2019. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br/jspui/handle/prefix/2113>. Acesso em: 4 de junho de 2023.

BARKETT BOTAN, Antonio Carlos. **Desenvolvimento de uma turbina de fluxo reversível para uso em usina maremotriz com operação em duplo efeito**. Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia. 2014. Disponível em: https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/447/dissertacao_botan_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 6 de jun de 2023.

EPE, **E. de pesquisa energética. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022**. [s. l.], 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/fact-sheet-anuario-estatistico-de-energia-eletrica-2022>. Acesso em: 23 de jun de 2023.

Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanco Energético Nacional 2018: Ano base 2017 / Empresa de Pesquisa Energética**. – Rio de Janeiro : EPE, 2018. Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2018. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf. Acesso em: 23 de jun de 2023.

FERREIRA, Wallace Soeiro. **Projeto experimental para a produção de energia elétrica a partir de fontes oceânicas: ondas e correntes marinhas**. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2018. São Luís, 2018. 62 f. Disponível em: https://repositorio.uema.br/bitstream/123456789/1192/1/TCC-Wallace_Soeiro_Ferreira-Definitivo.pdf. Acesso em: 20 de jun de 2023.

GERVASI, Jefferson Rodrigo. **Estudo da viabilidade de implantação de fontes alternativas para compor a demanda energética da cidade de Itajaí**. Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Elétrica do Campus Itajaí do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/2723>. Acesso em: 20 de jul de 2023.

GONÇALVES, J. H. N.; AMARANTE, M. DOS S.; BARRETO, G. B.; DA SILVA, A. E.; JÚNIOR, H. DOS S. Energia Maremotriz. **Revista Pesquisa e Ação**, v. 4, n. 1, p. 120-128, 4 jun. 2018. Disponível em: [AxNzBIMSIsImMiOjR9](https://doi.org/10.12957/revista.pesquisa.e.acao.v4n1.120-128). Acesso em: 1 dez. 2023.

GUITARRA, P. **Energia das marés**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/geografia/energia-das-mares>. Acesso em: 15 nov. 2022.

IBGE. **Censo demográfico 2020**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2020. https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2020/serie_2001_2020_TCU.pdf. Acesso em: 23 de jun de 2023.

KAZAY, Daniel Firmo. **Modelo para otimização da programação diária da operação de usinas hidrelétricas em cascata com a consideração das incertezas hidrológicas**. 2022. 96 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Foz do Iguaçu-PR. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/6299>. Acesso em: 23 de jun de 2023.

LEITE NETO, Pedro Bezerra. *et al*. Exploração de energia maremotriz para geração de eletricidade: aspectos básicos e principais tendências. *Ingeniare. Rev. chil. ing.*, Arica, v. 19, n. 2, p. 219-232, agosto 2011. Disponível em: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052011000200007&lng=es&nrm=iso. E <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052011000200007>. Acesso em: 20 de jun de 2023.

LIMA, Yuri Theodoro Barbosa de. **Análise geométrica através do design construtal de conversores de energia das ondas do mar do tipo coluna de água oscilante com câmaras hidropneumáticas acopladas**. Tese submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC, da Escola de

Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2021. pp. 146. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/249798/001149755.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 6 de agos de 2023.

LIMA, T. C. S. MIOTO, R. C. T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. **Rev. katálysis**. 2007, vol.10, n.spe, pp.37-45. ISSN 1982-0259. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1414-49802007000300004>. Acesso em: 6 de agos de 2023.

SILVA, R. N. *et al.* Dynamical analysis of a novel hybrid oceanic tidal-wave energy converter system. **Energy**, v. 263, p. 125933, jan. 2023.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projetos e relatório publicações e trabalhos científicos**. São Paulo: Atlas, 2009.

MARTINS, G. A.; LINTZ, A. **Guia para elaboração de monografias e trabalhos**. São Paulo: Editora ATLAS, 2007.

NUNES, João Paulo Costa e Silva. **Energia eólica offshore: um estudo de caso para análise da viabilidade técnico-econômica de uma usina próxima à costa do Rio Grande do Norte**. 2020. 219f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/30709>. Acesso em: 6 de agos de 2023.

OLIVEIRA, Pablo Henrique Noberto de. **As fontes renováveis como inovação e instrumento de Diversificação da Matriz Elétrica: O caso da geração de energia solar fotovoltaica no país**. Orientador: Luziene Dantas de Macedo. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) - Departamento de Economia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/54074>. Acesso em: 7 de ago de 2023.

OLIVEIRA, Luiza Carvalhal de. **Algumas sugestões para aceleração do aproveitamento do potencial eólico offshore do Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2022. Disponível em: https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/26047/TCC%20-%20Aluna%20Luiza%20Carvalhal_signed.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 6 de agos de 2023.

PUGLISI, Rafael de Carvalho. **Projeto e análise experimental de um atenuador de vibrações eletromagnético sintonizável (semi-ativo) com captação energética**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Controle e Automação Mecânica) - Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: doi:10.11606/D.3.2019.tde-06052019-144046. Acesso em: 6 de agos de 2023.

QUIRINO, Amanda Gondim Cabral; SOUSA, Shara Sonally Oliveira de; NASCIMENTO, Raqueline Caldas do. Experiências exitosas no uso de energias renováveis: energia de marés. **Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - Vol. 5: Congestas 2017 - Eixo Temático ET-06-019 - Energia**. Disponível em: ISSN 2318-7603. Acesso em 23 de jun de 2023.

SILVA, Tiago Miguel Nabuco. **Estudo numérico de um conversor hiperbárico de energia das ondas**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa. 2019.

Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/94478/1/Silva_2019.pdf. Acesso em: 6 de ago de 2023.

SOUSA, Maickson Eduardo Fernandes de. **Fontes energéticas disponíveis para autogeração de energia elétrica na mineração: vantagens e desvantagem**. 2023. 53 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023. Disponível em: <https://monografias.ufop.br/handle/35400000/5523>. Acesso em: 6 de ago de 2023.

TAVARES, L. A. Matriz elétrica brasileira e as tendências futuras. RECIMA21 - **Revista Científica Multidisciplinar** - ISSN 2675-6218, [S. l.], v. 4, n. 5, p. e453135, 2023. DOI: 10.47820/recima21.v4i5.3135. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/3135>. Acesso em: 6 ago. 2023.

TOFFANO, Marcus Vinícius das Neves. **Digitalização portuária com foco em portos 4.0: Uma proposta de um Framework**. Dissertação (mestrado) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campus Campos Centro, Curso de Mestrado Profissional em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão, Campos dos Goytacazes, RJ, 2020. Referências: f. 61 a 67. 2020. 67 f.: il. Color.

UFJF, U. **Energia Inteligente**. [S. l.: s. n.], 2014. Disponível em: <https://energiainteligenteufjf.com.br/especial/forca-maremotriz-opcao-conveniente-de>. Acesso em: 18 mai de 2023.

VAZ SANTIAGO, Eduardo Jorge Martins. **Potencial energético combinado das ondas do mar e do sol para produção de energia elétrica na costa portuguesa**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica e Computadores. Universidade da Beira Interior (Portugal) ProQuest Dissertations Publishing, 2021. 29703812. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/c5c20067f80181a2d5fa7246895db679/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>. Acesso em: 6 de ago de 2023.

ZAMBONIN, Roseli Vieira. Panorama do cenário energético da última Fronteira elétrica: Roraima. **Geografia**. Rio Claro – SP. v.48. n.1. 2023. Disponível em: ISSN: 1983-8700. Acesso em: 8 de jun de 2023.

VIII. COPYRIGHT

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

DIGITAL TWIN FROM A MAINTENANCE PERSPECTIVE - CORRELATION AND BARRIERS

GEMEO DIGITAL SOBRE A PERSPECTIVA DA MANUTENÇÃO – CORRELAÇÕES E BARREIRAS

Alexandre Helmann¹
Ricardo Pacheco Leal Junior²
André Luiz Micosky³
Fernando Deschamps⁴
Eduardo de Freitas Rocha Loures⁵

Abstract - In recent years, Digital Twin (DT) has been implemented in different industrial sectors in different application areas such as design, production, manufacturing, and maintenance. The maintenance sector appears as one of the areas with the greatest potential impact on the adoption of technologies aimed at industry 4.0, playing a critical role in sustaining an organization's operations. The objective of this study is to identify the main barriers or factors that slow down the initiatives of application of the digital twin aimed at industrial maintenance. To this end, interoperability assessment through attributes, requirements and barriers represents a relevant diagnostic tool that guides both requirements and specifications aimed at the integration of industrial supervision and maintenance platforms. With the results from the tool, it was possible to list the main barriers to be broken to allow the implementation of the digital twin. This study showed which barriers delay the initiatives of application of the digital twin in maintenance, directing the industry to which barriers must be broken to progress with the digital twin application.

Keywords: Digital Twin. Industrial Maintenance. Industry 4.0, barriers.

¹ Engenheiro de controle e automação (PUCPR). Doutorando no Programa de pós-graduação em engenharia de produção e sistemas (PPGEPS - PUCPR). Contato: alexandrehelmann@hotmail.com

² Engenheiro de controle e automação (UTFPR). Mestrando no Programa de pós-graduação em engenharia de produção e sistemas (PPGEPS - PUCPR). Contato: pacheco.leal@pucpr.edu.br.

³ Engenheiro de produção (PUCPR). Mestrando no Programa de pós-graduação em engenharia de produção e sistemas (PPGEPS - PUCPR). Contato: andre.micosky@pucpr.edu.br.

⁴ Doutor em engenharia de produção e sistemas (PUCPR). Docente no Programa de pós-graduação em engenharia de produção e sistemas (PPGEPS - PUCPR). Contato: fernando.deschamps@pucpr.br

⁵ Doutor em sistemas industriais (Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes). Docente no Programa de pós-graduação em engenharia de produção e sistemas (PPGEPS - PUCPR). Contato: eduardo.loures@pucpr.br

I. INTRODUCTION

The Digital Twin (DT) concept has been gaining ground within industries. Grieves and Vicker (2017) proposed the implementation of DT in assets and TAO and Zheng (2017) proposed the implementation of DT in a connected shop-floor.

Although the DT theme has increased its relevance in recent years, the steps for its implementation are still unclear and the number of articles that indicate the main barriers to be broken and the technologies that are necessary to enable the use of DT are still scarce. This lack of information about the barriers increases the difficulty to indicate the readiness of a company to receive a DT and leads this work to the following question.

- What are the main barriers/factors slowing down maintenance DT initiatives?

Reviewing cases of DT application in the literature and analyzing them, this paper intends to provide a diagnostic assessment of interoperability in maintenance, using multicriteria decision support methods (MCDM) providing clarity on some important contextual factors about real DT deployments in maintenance. The remainder of this article is structured as follows. Section 2 formally introduces the concept of DT and maintenance. Section 3 describes the research design adopted to conduct this study. Section 4 presents the results. Section 5 presents the final considerations.

II. SCIENTIFIC SCENARIO

Several countries have proposed different manufacturing strategies with the developments of new information technologies, and all these strategies have the objective to achieve smart manufacturing paradigm (TAO and ZHANG, 2017). The socialization, personalization and servitization demands of the smart manufacturing increase the requirements of interconnection between virtual and physical space (TAO and ZHANG, 2017) and the increasingly link between these spaces was popularizing the concept Digital Twin (DT) (QI *et al.*, 2021). DT has a lot of definitions but could be described as physical entity combined with your digitized representation, where the physical and virtual entity mutually communicate with each other through bidirectional interactions (QI *et al.*, 2021). According to Leal Junior, *et al.*, (2023), the DT implementation could reduce unplanned downtime, improve efficiency and productivity, and cost savings.

Errandonea, Beltrán and Arrizabalaga (2020), describe five strategies of maintenance that could be adopted in industry in relation about what activities need to be carried out. These strategies are named as reactive, preventive, condition-based, predictive, and prescriptive maintenance. The last two strategies of maintenance are those that have the biggest difficulty in implementation, because need new technologies, various information of the system, connectivity, and several factors that can become barriers. In this way, the adoption of DT in maintenance can become an effective tool for the use of preventive and prescriptive maintenance reducing downtime, reducing costs, and increasing the useful life of equipment.

The cost of maintenance and the consequences that unexpected machine breakdowns could cause in production, show that a real time monitoring of assets could reduce the costs of maintenance along the time (MOURTZIS *et al.*, 2016), so the DT application could be an efficient tool for monitoring, prescribe and schedule maintenance tasks as opportunistic maintenance (NETO *et al.*, 2021).

According to Neto *et al.* (2021), the process of implementing DT could be divided into three aspects that is drivers, enablers, and barriers. The drivers are factors that leave companies to implement DT, as need to increase production flexibility. The enablers are factors that makes the implementation of DT possible, like organizational culture and

technologies. The barriers, that is the focus of this paper, is factors that block or delay the implementation of DT, like organizational culture and technologies, as well the enablers.

The interoperability of systems is an important step to implement a DT model, manifesting itself not only under a technological perspective, but also under perspectives of business, processes, data, and services. In this sense the Framework for Enterprise Interoperability (FEI) come as a framework to mapping the enterprise interoperability barriers, that appears during the implementation of a DT. FEI divided the framework in two dimension that is enterprise dimensions and interoperability dimensions where the last are divided in technological, conceptual and organization concerns (CHEN and DACLIN, 2006). The lack of maturity of some of the technologies used and prescriptive analysis techniques are seen by experts as barriers to implementation of DT, as is the information technology infrastructure. The problems with the integration process, such as that of different parts of the company and the lack of standardization and structured projects, are also pointed out as barriers to the implementation of DT (NETO *et al.*, 2021).

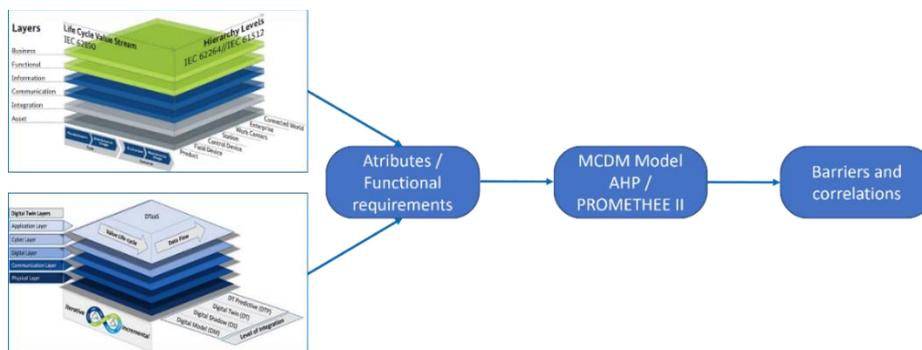
To enhance the development of industry 4.0 the Reference Architectural Model for Industrie 4.0 (RAMI 4.0) was created based on a vision that looks to lead to a complete understanding of the company from the shop-floor to business relationships through a delivery of services and information between components. RAMI 4.0 was presented in three dimension that is layers, life cycle value stream and hierarchy levels (PLATTFORM INDUSTRIE 4.0, 2015).

III. METHODOLOGY

The implementation of a DT from a maintenance perspective in industry 4.0 needs the consideration of several factors. The attributes and functional requirements (FR) from maintenance is one of this, where attributes are defined as a qualifier of a concept, in this case the application of DT in maintenance context, and FR is the support to the attribute (VENÂNCIO *et al.*, 2022). Another factor is the interoperability barriers, that could be compared with RAMI 4.0 layers as presented by Venâncio *et al.* (2022).

The DT as a service (DTaaS) model presented by Aheleroff *et al.* (2021) is a DT model build based on RAMI 4.0 model, becoming an important model for the paper question, so that the model made the comparison of the maintenance FR presented by Venâncio *et al.* (2022) visually more understandable as could be seen in Figure 1. The interoperability barriers of DT implementation from a maintenance perspective in industry 4.0 scenario, was verified using the Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation II (PROMETHEE II) (PEGORARO *et al.*, 2020) as an evaluation tool, comparing FR described in RAMI 4.0 model with the DTaaS model.

Figure 1 - Methodology



Source: Authors, 2023.

The first step of the analysis was inserting the 62 FR in PROMETHEE II method and classify the relationship between the FR of maintenance presented by Venâncio et al. (2022) based on RAMI 4.0 and the DTaaS model. This classification was categorized in ‘very high’, ‘high’, ‘moderate’, ‘low’, and ‘very low as Figure 2. In the next step, was considered 100% of importance to one of the five DTaaS layers presented in Figure 1, that is, the weight of 100% was given to ‘physical layer’ and 0% for others, comparing the DT layer with weight 100% with all other layers of RAMI 4.0, the similarity of each FR with the DTaaS model was verified, resulting in which FR of the RAMI 4.0 model presented by Venâncio et al. (2022) has a greater relationship with the DTaaS layer. This process was done for the five layers of DTaaS.

Figure 2 - A Relationship between layers RAMI 4.0 and DTaaS

		RAMI 4.0						RELATIONSHIP	
		ASSET	INTEGRATION	COMMUNICATION	INFORMATION	FUNCTIONAL	BUSSINESS		
DTaaS	PHYSICAL	5	2	1	1	1	1	5	VERY HIGH
	COMMUNICATION	1	5	5	2	1	1	4	HIGH
	DIGITAL	1	2	2	3	3	1	3	MEDIUM
	CYBER	1	2	3	4	3	2	2	LOW
	APPLICATION	1	1	1	1	3	4	1	VERY LOW

Source: Authors, 2023.

IV. RESULTS

Applying the methods described above, the evaluation of the 62 FRs in relation with RAMI 4.0 and DTaaS layers, results in Table 1 and Table 2 data. The classification presented in the column ‘promethee’ in Table 1 represent the color green equivalent to ‘very high’ and red equivalent to ‘very low’ with darker color tons as Figure 2. The comparison of the DT layers with the layers of RAMI 4.0 described in the methodology, results in the ‘Walking weights’ column of Table 1.

In this way can be viewed that the 'physical layer' of the DTaaS model is like the 'Asset' layer of RAMI 4.0, just as the 'Communication layer' of the DTaaS model is like the 'Communication' and 'Information' layers of RAMI 4.0.

Checking the score of each FR and calculation the average score per layer of RAMI 4.0, the layers of communication and integration have higher average scores in relation to the other layers when related to the DTaaS model. Checking the 25 attributes scores, the ‘interoperability’ attribute present in the integration layer and the ‘intelligence’ attribute present in the functional layer have the biggest scores among the other attributes.

Individually adding the score of each FR, we obtained the highest overall score of 3.803 in six FR, where of the six, three are present in the integration layer and one in the communication, information, and functional layers. And it is noted that although an attribute of the functional layer has a higher score in relation to the communication layer, the communication layer takes advantage due to having greater weight in other FR, thus raising its overall average.

Table 1 - Functional requirements comparation

RAMI 4.0 Layers	Attributes	FRs	Functional Requirements	Digital Twin Layers							Analysis					
				Promethee	Walking weights			Application			Sum of walking weights of functional requirements	Average of attributes	Average of layers			
				Physical	Communication	Digital	Cyber	Application	Physical	Communication	Digital	Application				
ASSET	RELIABILITY IN DATA ACQUISITION	FR1	Compare purchases with models and patterns already specified						0.885	0.000	-0.098	-0.312	-0.557	-0.082	-0.640	
		FR2	Perform the monitoring of several parameters in parallel						0.885	-0.623	-0.098	-0.803	-0.557	-1.197		
	IDENTIFY FUNCTIONAL FAILURES	FR3	Establish abnormality conditions						0.885	0.410	0.869	0.721	-0.557	2.328	1.123	
		FR4	Interpret the relevant parameters on the equipment						0.885	0.000	-0.098	-0.312	-0.557	-0.082		
	EQUIPMENT HEALTH	FR5	Preserve the integrity of the equipment in the purchase of data						0.885	-0.623	-0.754	-0.803	-0.557	-1.853	-1.295	
		FR6	Supervise equipment performance						0.885	0.000	-0.754	-0.312	-0.557	-0.738		
	TELEMETRY	FR7	Ensure updated information in the monitoring of data						0.885	0.771	0.525	0.721	-0.148	3.049	0.598	
		FR8	Quality sensors and properly installed						0.885	-0.623	-0.754	-0.803	-0.557	-1.853		
INTEGRATION	FLEXIBILITY	FR9	Devices with updated firmware						0.689	0.410	-0.098	-0.312	-0.557	0.131	-0.476	
		FR10	Connected elements have knowledge about other elements connected to the network						-0.393	0.771	-0.098	-0.803	-0.557	-1.082		
	CONNECTIVITY	FR11	Ensure a proper data transmission rate						0.689	0.771	0.525	-0.803	-0.557	0.623	1.115	
		FR12	Certify the range of the communication band required						-0.393	0.771	-0.098	-0.803	-0.557	-1.082		
	INTEROPERABILITY	FR13	Use robust network protocols						0.689	0.771	0.869	0.721	-0.754	3.803	3.399	1.117
		FR14	Allow connection capacity with different industrial protocols						0.426	0.771	0.525	0.721	0.148	2.590		
		FR15	Use a data access middleware for direct connectivity between apps and databases						0.689	0.771	0.869	0.721	0.754	3.803		
	SECURITY / STABILITY	FR16	Use validated gateways by networks						0.689	0.771	0.869	0.721	0.754	3.803		
		FR17	Operational reliability						0.426	0.771	-0.098	-0.312	0.148	0.934	0.432	
FR18		Encrypting data transmitted by gateways						0.426	0.410	0.525	-0.312	-0.557	0.492			
FR19		Use confirmation protocols						0.426	0.410	-0.098	-0.312	-0.557	-0.131	1.098		
COMMUNICATION	SCALABILITY	FR20	Limit the amount of requirements around the network at a time						-0.393	0.410	-0.754	-0.312	-0.557	-1.607	1.893	
		FR21	Use protocols that allow exclusive identification of elements in the network						0.689	0.771	0.869	0.721	0.754	3.803		
	MOBILITY	FR22	Real -time interactivity and operability						0.426	0.771	0.869	-0.312	-0.557	1.197	0.934	1.357
		FR23	Allow the connection and exchange of information on furniture devices						0.426	0.771	0.525	0.721	0.148	2.590		
	HETEROGENEITY OF DATA SOURCES	FR24	Adjust the data in different levels						0.426	0.771	0.869	0.230	0.148	2.443		
		FR25	Allocate services and applications in different layers						-0.393	0.771	-0.754	0.230	-0.557	-0.705		
	SECURITY AND PRIVACY	FR26	Relate different types and cloud architectures						-0.393	0.771	0.525	0.721	-0.557	1.066	1.500	
		FR27	Ensure device access control						0.885	0.771	0.525	0.721	0.148	3.049		
INFORMATION	VARIETY	FR28	Duly projected access authorization policies						-0.393	0.771	-0.098	0.230	-0.557	-0.049	1.443	
		FR29	Create a data profile to solve inconsistencies and discover data relationships						-0.393	0.000	0.525	0.984	-0.557	0.557		
	FUSION OF INFROMCTIONS	FR30	Establish a filter to avoid repeatability of data						0.885	0.410	0.869	0.721	-0.557	2.328	-0.098	
		FR31	Ability to prioritize and differentiate data						-0.393	0.410	0.525	0.230	0.148	0.918		
	UTILITY	FR32	Create data models about maintenance and compare them						-0.393	0.000	-0.098	-0.312	0.148	-0.656	1.011	
		FR33	Data Overload Prevention						-0.393	0.262	-0.098	0.230	-0.557	-0.557		
	VELOCITY	FR34	Filter information to make them more useful and accurate						-0.393	0.000	-0.754	0.230	0.492	-0.426	0.847	
		FR35	Ensure the quality of recorded information						0.885	0.771	0.525	0.721	-0.148	3.049		
		FR36	Interpret and map only the important parameters in the equipment						0.885	0.000	-0.098	-0.312	-0.557	-0.082	1.350	
	VOLUME	FR37	Design architectures that balance the latent, requirements and cycle of data decline						-0.393	-0.623	-0.098	0.721	0.148	-0.246	1.514	
		FR38	Use point-to-point connections between the database and the applications						0.689	0.771	0.869	0.721	0.754	3.803		
	FUNCTIONAL	INTELLIGENCE	FR39	Check the ideal data processing speed						0.426	0.000	-0.098	0.721	-0.557	0.492	0.918
FR40			Ensure data storage capacity						0.885	0.771	0.525	0.721	-0.148	3.049		
RESOURCE VISUALIZATION		FR41	Monitor data use to identify unused and discard it						-0.393	0.000	0.525	0.230	0.754	1.115	0.844	
		FR42	Reduce certain analytical structures to a percentage of statistically valid sample data						-0.393	-0.623	0.525	0.721	0.148	0.377		
DIAGNOSIS		FR43	Enhance the precision of the algorithms that reproduce human decision -making						-0.393	-0.623	0.869	-0.312	0.492	0.033	0.901	
		FR44	Use hybrid intelligent systems that learn to identify and predict maintenance situations						0.689	0.771	0.869	0.721	-0.754	3.803		
		FR45	Present diagnosis in a friendly and intuitive way to responsible						-0.393	-0.623	-0.098	0.721	0.967	0.574		
EFFICIENCY		FR46	Present characteristics of failures, monitored parameters, possible causes and mapping of all maintenance stages						-0.393	0.000	0.525	0.230	0.754	1.115	0.027	
		FR47	Create a database with a history of faults and follow -ups of the health of the equipment						-0.393	-0.623	0.869	0.984	0.148	0.984		
COSTS		FR48	Define the tasks to be performed and the time spent based on the state of the equipment						-0.393	-0.623	0.525	-0.312	0.148	-0.656	0.814	
	FR49	Identify deficiencies in the process						-0.393	-0.623	-0.098	0.721	0.148	-0.246			
	FR50	Assimilate several parameters and indicators to strengthen the confidence of results						-0.393	-0.623	-0.098	0.230	0.754	-0.131			
BUSINESS	AVAILABILITY	FR51	Optimize the proactivity of real -time information integration						-0.393	0.000	0.525	0.230	0.754	1.115	-2.254	
		FR52	Record Failure Prevention Learning based on maintenance historic						-0.393	-0.623	1.000	0.721	0.754	1.459		
	RESOURCES	FR53	Strategically evaluate the viability of implementing the technologies necessary						-0.393	-0.623	-0.754	-0.803	0.148	-2.426	-0.098	
		FR54	Optimization with intelligent methods sharing resource						-0.393	-0.623	-0.754	-0.803	0.492	-2.082		
	DECISION -MAKING	FR55	Use information correctly to avoid uncertain stops of the machine						0.426	0.000	0.525	-0.312	0.754	1.393	-1.238	
		FR56	Use stop time indicators to define the planning and programming of maintenance						-0.393	-0.623	-0.754	-0.312	0.492	-1.590		
		FR57	Early availability of the necessary tools based on the preachers performed						-0.393	-0.623	-0.754	-0.803	0.492	-2.082		
		FR58	Explore mobility solutions to facilitate the realization of TASKs about mutacos						-0.393	-0.623	-0.754	-0.803	0.492	-2.082		
		FR59	Possess specialist with know-how in predictive maintenance to regulate the combination of proper technologies						-0.393	-0.623	-0.754	-0.803	0.754	-1.820		
		FR60	Easily and quickly assist in the individual decision -making						-0.393	-0.623	-0.098	-0.312	0.967	-0.459		
		FR61	Supply and structure information about the problems encountered						-0.393	-0.623	-0.754	0.230	0.967	-0.574	-0.607	
		FR62	Use statistical tools for the support of decisions						-0.393	-0.623	-0.754	0.230	0.754	-0.787		

In another step, was considered the weight of 20% to the five layers of DTaaS model equating all layers, where the result of PROMETHEE II method is presented in Table 2 with the top then FR of maintenance in RAMI 4.0 compared with DTaaS. This analysis makes it possible to assess which FR present in the RAMI 4.0 model has the greatest similarity with the DTaaS. In addition to the data described Table 1 presents the sum of the walking weights of the FRs, the average score of the 25 attributes considering the weight of each FR contained in the attribute, and the average score per layer of RAMI 4.0. Analyzing Table 2 and verifying which FR has greater correlation with the DTaaS model among the ten highest scores, result obtained with the weights of 20% for each layer of DTaaS model described above, three of them are from the communication layer and four from the communication layer.

Table 2 - Top ten barriers to be broken to DT implementation

Rank	Functional requirement	Phi	Phi+	Phi-
1	Use a data access middleware for direct connectivity between apps and databases	0,761	0,807	0,046
2	Use robust network protocols	0,607	0,738	0,131
3	Adjust the data in different levels	0,489	0,646	0,157
4	Use point to point connection between the database and the applications	0,446	0,613	0,167
5	Allow the connection and exchange of information on furniture devices	0,393	0,574	0,180
6	Use validated gateways by networks	0,295	0,521	0,226
7	Record failure prevention learning based on maintenance historic	0,292	0,512	0,220
8	Allow connection capacity with different industrial protocols	0,279	0,508	0,230
9	Use information correctly to avoid uncertain stops of the machine	0,279	0,538	0,259
10	Ensure updated information in the monitoring of data	0,253	0,482	0,230

With the results, it can be said that the main barriers to the implementation of DT are related to the non-fulfillment of the FR presented in Table 2, and these are fundamental requirements for the implementation of the DT.

V. CONCLUSION

Considering the RAMI 4.0 and DT architecture, this study search to answer the question about what the main barriers/factors are slowing down maintenance DT initiatives, and to solve this issue the use of multicriteria decision support methods (MCDM) was used together with the literature published in DT, industry 4.0, interoperability and maintenance area.

With the results, this paper showed that the main barriers that slowing down maintenance DT initiatives are related to the layers of integration and communication from RAMI 4.0 reference model, and solve these barriers is a crucial factor to enhance the application of DT in maintenance.

Of the FR presented, nearly two thirds score a relationship ‘high’ or ‘very high’ evidencing limitations of this study regarding other items to be evaluated, so the model does not provide a complete diagnosis, but a partial one on how receptive the industry is to the implementation of the DT.

VI. REFERENCES

- AHELEROFF, S., XU, X., ZHONG, R. Y., & LU, Y. (2021). Digital Twin as a Service (DTaaS) in Industry 4.0: An Architecture Reference Model. **Advanced Engineering Informatics**, 47, 101225. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101225>
- CHEN, D., DACLIN, N. (2006). Framework for Enterprise Interoperability. **H. Panetto & N. Boudjlida (Eds.)**, Proceedings of the Workshops and the Doctorial Symposium of the Second IFAC/IFIP I-ESA International Conference (pp. 77-88).
- ERRANDONEA, I., BELTRÁN, S., & ARRIZABALAGA, S. (2020). Digital Twin for maintenance: A literature review. **Computers in Industry**, 123, 103316. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103316>
- GRIEVES, M., VICKERS, J. (2017). Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. In S. and A. A. Kahlen Franz-Josef and Flumerfelt (Ed.), *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings*

and Approaches (pp. 85–113). **Springer International Publishing**.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4

LEAL JUNIOR, R. P., MICOSKY, A. L., HELMANN, A., LOURES, E. de F. R., DESCHAMPS, F. (2023). Asset selection for digital twin implementation using the TOPSIS method: Case Study. **Revista Sodebras [on line]**, vol. 18, n. 210. DOI: <http://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.18.2023.210.126>

MOURTZIS, D., VLACHOU, E., MILAS, N., & XANTHOPOULOS, N. (2016). A Cloud-based Approach for Maintenance of Machine Tools and Equipment Based on Shop-floor Monitoring. **Procedia CIRP**, 41, 655–660.

NETO, A. A., CARRIJO, B. S., ROMANZINI BROCK, J. G., DESCHAMPS, F., & DE LIMA, E. P. (2021). Digital twin-driven decision support system for opportunistic preventive maintenance scheduling in manufacturing. **Procedia Manufacturing**, 55(C), 439–446. <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2021.10.060>

PEGORARO, F., SANTOS, E. A. P. dos, LOURES, E. de F. R., & LAUS, F. W. (2020). A hybrid model to support decision making in emergency department management. **Knowledge-Based Systems**, 203, 106148. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.knosys.2020.106148>

PLATTFORM INDUSTRIE 4.0. (2015). Reference architectural model Industrie 4.0 (RAMI 4.0): an introduction. Berlin: **Plattform Industrie 4.0**.

QI, Q., TAO, F., HU, T., ANWER, N., LIU, A., WEI, Y., WANG, L., & NEE, A. Y. C. (2021). Enabling technologies and tools for digital twin. **Journal of Manufacturing Systems**, 58, 3–21. <https://doi.org/10.1016/J.JMSY.2019.10.001>

TAO, F., & ZHANG, M. (2017). Digital Twin Shop-Floor: A New Shop-Floor Paradigm Towards Smart Manufacturing. **IEEE Access**, 5, 20418–20427. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2756069>

VENÂNCIO, A. L. A. C., LOURES, E. de F. R., DESCHAMPS, F., JUSTUS, A. dos S., LUMIKOSKI, A. F., & BREZINSKI, G. L. (2022). Technology prioritization framework to adapt maintenance legacy systems for Industry 4.0 requirement: an interoperability approach. **Production**, vol. 32.

VII. COPYRIGHT

The authors are solely responsible for the material included in the article.

DIGITAL TWIN ORIENTADO À CADEIAS DE SUPRIMENTOS DE MANUFATURA NA INDÚSTRIA 4.0: FRAMEWORK DE IMPLEMENTAÇÃO DO GÊMEO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DIGITAL

DIGITAL TWIN ORIENTED FOR MANUFACTURING SUPPLY CHAINS IN INDUSTRY 4.0: DIGITAL SUPPLY CHAIN TWIN IMPLEMENTATION FRAMEWORK

Pedro Tondela de Jesus Correia Filho¹
Osiris Canciglieri Júnior²

Resumo - Um gêmeo digital é uma integração de sistemas virtuais e físicos usando tecnologias disruptivas. Mais precisamente é um método de desenvolvimento de sistemas de fabricação sustentáveis e inteligentes para obter qualidade robusta, redução de tempo e produtos personalizados usando informações em tempo real durante todo o ciclo de vida do produto. O objetivo deste trabalho é propor uma estrutura de implementação do gêmeo digital para o desenvolvimento de gêmeos da cadeia de suprimentos digital e apresentar as tecnologias utilizadas na Indústria 4.0 que são significativas para o desenvolvimento de gêmeos da cadeia de suprimentos digital. Este trabalho apresenta uma revisão sistemática da literatura e análise de conteúdo de 3771 artigos no total somando os resultados da base de dados Scopus e Web of Science. Desta seleção após aplicação dos critérios de exclusão e inclusão restaram 1042 artigos. Após leitura dos resumos e títulos e excluir os irrelevantes resultou em 157 artigos. A análise do conteúdo inicia no refinamento dos artigos, que realiza uma nova leitura completa para seleção dos trabalhos com abordagem sob o aspecto de gêmeo digital, para isso utilizou-se um critério norteador: o artigo tem que contribuir para o desenvolvimento gêmeo digital no contexto indústria 4.0 ou PLM com ações concretas. Após aplicação do critério resultou em 32 artigos relevantes da pesquisa selecionada sobre várias dimensões de gêmeos digitais, cadeia de suprimentos digital, ciclo de vida do produto e indústria 4.0. Como resultado obtivemos um framework de implementação do gêmeo digital para o desenvolvimento de gêmeos da cadeia de suprimentos digital. No entanto, aumentar o escopo de um gêmeo digital para incluir todas as coisas e humanos na cadeia de suprimentos ajudará seus proprietários a tomar decisões mais proativas no nível da cadeia de suprimentos.

Palavras-chave: *Gêmeo Digital. Indústria 4.0. Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto.*

¹ Pós-graduando em Engenharia de Produção e Sistemas (PUCPR) Contato: pedrofilho979@gmail.com.

² Professor Doutor. Coordenador do curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PUCPR). Contato: osiris.canciglieri@pucpr.br.

Abstract - A digital twin is an integration of virtual and physical systems using disruptive technologies. More precisely, it is a method of developing sustainable and intelligent manufacturing systems to achieve robust quality, time reduction and personalized products using real-time information throughout the product life cycle. The objective of this work is to propose a digital twin implementation framework for the development of digital supply chain twins and to present the technologies used in Industry 4.0 that are significant for the development of digital supply chain twins. This work presents a systematic literature review and content analysis of 3771 articles in total, adding results from the Scopus and Web of Science databases. From this selection, after applying the exclusion and inclusion criteria, 1042 articles remained. After reading the abstracts and titles and excluding irrelevant ones, 157 articles were obtained. The content analysis begins with the refinement of the articles, which carries out a new complete reading to select the works with an approach from the aspect of digital twin, for this purpose a guiding criterion was used: the article must contribute to the development of digital twin in the context industry 4.0 or PLM with concrete actions. After applying the criteria, it resulted in 32 relevant articles from the selected research on various dimensions of digital twins, digital supply chain, product life cycle and industry 4.0. As a result, we obtained a digital twin implementation framework for the development of digital supply chain twins. However, increasing the scope of a digital twin to include all things and humans in the supply chain will help its owners make more proactive decisions at the supply chain level.

Keywords: Digital Twin. Industry 4.0. Product Lifecycle Management.

I. INTRODUÇÃO

A digitalização na manufatura oferece uma oportunidade para as organizações alcançarem maior produtividade e eficiência (UHLEMANN *et al.*, 2017). Ela permite a integração eficiente dos atuais sistemas inteligentes interconectados no chão de fábrica e na área de trabalho (NEGRI *et al.*, 2017). Os sistemas tecnológicos inteligentes prometem um desenvolvimento estratégico e sustentável que combina humanos e tecnologia da informação (MANDOLA *et al.*, 2019).

Um gêmeo digital é um modelo virtual e uma representação abrangente do sistema usado para entender os parâmetros de desempenho, melhorar os processos e aprimorar efetivamente as atividades de valor agregado (REZAEI *et al.*, 2019). Ele é uma contraparte digital dos sistemas físicos com base em uma simulação que lida com sistemas de projeto e os otimiza para melhorar a eficiência (GUO *et al.*, 2019). O desenvolvimento de gêmeos digitais tem um potencial considerável em operações de fabricação sustentáveis devido ao seu ambiente rico em dados que facilitam o monitoramento, a simulação e a previsão em tempo real dos processos de fabricação (CHENG *et al.*, 2018) linhas de produção usando sistemas robóticos e tecnologias baseadas em IoT, gerando informações digitais (GOASDUFF, 2018; TAO *et al.*, 2017).

As informações digitais atuam como um ativo para otimizar o desempenho da produção, e qualquer pequena melhoria no rendimento, qualidade do produto ou confiabilidade do equipamento em um ambiente de fabricação de alta produtividade agrega um valor considerável (KAMBLE *et al.*, 2018). Também o gêmeo digital simula o ambiente de fabricação com base nas informações coletadas e ajuda o proprietário a decidir entre as ações disponíveis para maior eficiência, melhor precisão e economias de escala (NEGRI *et al.*, 2017; ROSEN *et al.*, 2015; UHLEMANN *et al.*, 2017).

1.1 - Problema de Pesquisa

As inovações tecnológicas e as transformações digitais estão mudando a economia, ecologia e sociedade como nunca (KUTZSCHENBACH & DAUB, 2021). É

uma questão de preocupação para os profissionais sobre como o desenvolvimento de gêmeos digital pode apoiar os desafios a cadeia de suprimento e sua implementação do gêmeo digital no contexto dos chicotes elétricos automotivos. Esta pesquisa pretende responder à seguinte questão: ***Quais tecnologias utilizadas na Indústria 4.0 que são significativas para o desenvolvimento de gêmeos da cadeia de suprimentos digital?***

1.2 - Objetivo

Propor uma estrutura de implementação do gêmeo digital para o desenvolvimento de gêmeos da cadeia de suprimentos digital e apresentar as tecnologias utilizadas na Indústria 4.0 que são significativas para o desenvolvimento de gêmeos da cadeia de suprimentos digital. Visando atender ao objetivo geral proposto, os objetivos específicos desta pesquisa são:

- a) Identificar e descrever tecnologias utilizadas na Indústria 4.0 que são significativas para o desenvolvimento de gêmeos da cadeia de suprimentos digital por meio da Revisão Sistemática da Literatura e Análise do Conteúdo selecionado;
- b) Propor uma estrutura de implementação do gêmeo digital para o desenvolvimento de gêmeos da cadeia de suprimentos digital;

II. METODOLOGIA DA PESQUISA

A pesquisa científica pode ser diferenciada quanto à natureza, aos métodos (ou abordagens metodológicas), quanto aos objetivos e quanto aos procedimentos. Neste sentido, quanto à natureza da pesquisa pode ser tanto básica quanto aplicada. Portanto, a natureza da pesquisa em causa é de natureza aplicada. A pesquisa aplicada é aquela cujo principal objetivo é a geração de conhecimento para aplicação prática e imediata, dirigidos à solução de problemas específicos envolvendo os interesses locais, territoriais e regionais. (MARLI ANDRÉ, 1999).

Quanto ao tipo de abordagem metodológicas que podem ser utilizadas em pesquisas científicas se dividem em três tipos: quantitativa, qualitativa e quantiqualitativa. Cada uma dessas abordagens, apresenta uma espécie de “radiografia” do que se busca (WIELEWICKI, 2001). Neste artigo será uma abordagem qualitativa que é uma abordagem de pesquisa que estuda aspectos subjetivos de fenômenos sociais e do comportamento humano. Os objetos de uma pesquisa qualitativa são fenômenos que ocorrem em determinado tempo, local e cultura.

Quanto ao objetivo científicos, os três principais tipos de metodologia de pesquisa de mercado existentes: exploratória, descritiva e explicativa. Este artigo é uma pesquisa exploratória que se define como a obtenção de insights e ideias. Muitas vezes, no início de um estudo, os problemas a serem investigados não estão totalmente definidos e faltam informações para a sua compreensão completa. O presente estudo caracteriza-se como exploratório quanto ao objetivo. (GIL, 2019).

Existem vários procedimentos técnicos que podem ser aplicados numa pesquisa. Nesta pesquisa foi aplicada a revisão sistemática da literatura e análise do conteúdo relevante selecionado (LÜDKE, 2001).

III. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A revisão sistemática da literatura é um método que permite maximizar o potencial de uma busca, encontrando o maior número possível de resultados de uma maneira organizada. (FERNÁNDEZ-RÍOS; BUELA-CASAL, 2009).

As palavras-chave utilizadas na busca foram obtidas a partir da análise exploratória onde foram selecionadas pesquisas reconhecidas como relevantes devido

ao número de citações. Para organizar a busca realizou-se o agrupamento das palavras-chave em 3 categorias: Indústria 4.0, digital twin e PLM, resultando em 3.771 artigos somando os resultados da base de dados Scopus e Web of Science.

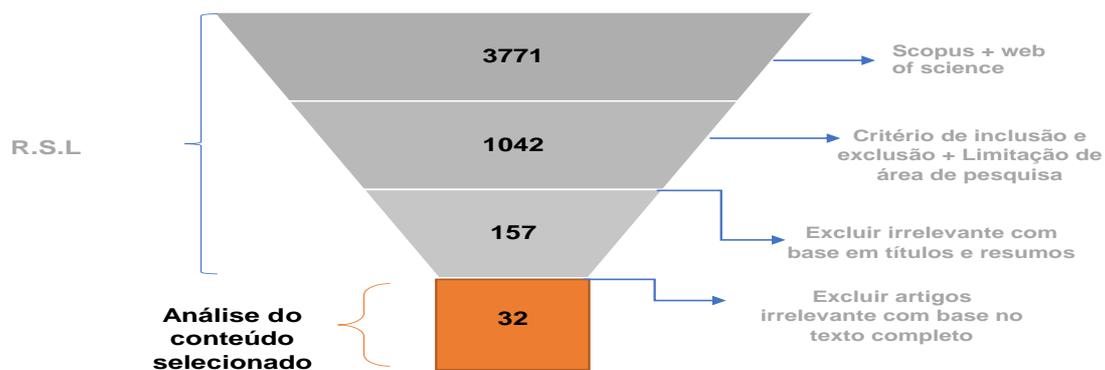
A revisão sistemática foi realizada por meio do sistema de base de dados científica brasileira (Periódicos CAPES) disponibilizado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES 2017) que contém aproximadamente 530 bases de dados. Na pesquisa foram considerados para análise artigos no idioma inglês, revisados por pares, no período de 2015 até 2022.

A fase de planejamento da revisão inclui a seleção do base de dados, o desenvolvimento dos critérios de inclusão e exclusão dos estudos e a definição do protocolo de revisão. O conforme a figura 1, o resultado foi de 3771 artigos no total somando as os resultados da base de dados Scopus e Web of Science. Realizou-se inicialmente a leitura do título, aplicando os critérios de exclusão e inclusão. Desta seleção, após aplicação dos critérios de exclusão e inclusão restaram 1042 artigos somando as duas bases mencionadas anteriormente. Após leitura dos resumos e títulos e excluir os irrelevantes resultou em 157 artigos.

3.4 - Análise do Conteúdo

A análise do conteúdo inicia no refinamento dos artigos, que realiza uma nova leitura completa para seleção dos trabalhos com abordagem sob o aspecto de gêmeo digital, para isso utilizou-se um critério norteador: o artigo tem que contribuir para o desenvolvimento gêmeo digital no contexto indústria 4.0 ou PLM com ações concretas. Após aplicação do critério resultou em 32 artigos relevantes da pesquisa selecionada sobre várias dimensões de gêmeos digitais, cadeia de suprimentos digital, ciclo de vida do produto e indústria 4.0 conforme Figura 1.

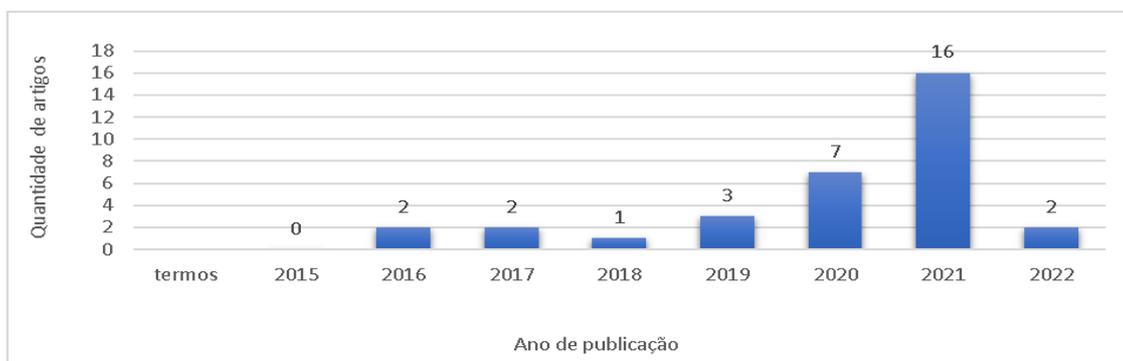
Figura 1- Revisão Sistemática da Literatura e Análise de Conteúdo



Fonte: Autor.

O gráfico ilustrado na Figura 2 apresenta a distribuição dos artigos na linha do tempo mostra uma quantidade pequena ao longo dos anos, havendo um aumento significativo em nos anos 2020 e 2021 por conta da pandemia da covid 19 que durante esses dois anos houve um aumento de publicações significativamente em relação aos demais anos, e fica evidente o pico no ano de 2021.

Figura 2 - Distribuição das publicações entre os anos 2015 e 2022



Fonte: O autor.

Dentre os 32 artigos encontrados, 23 abordam sobre Aplicações dos gêmeos digitais/Estrutura do Gêmeo digital/Gêmeo digital, 26 artigos descrevem também Tecnologias da Indústria 4.0, 13 deles tratam sobre PLM, 10 sobre Gestão da cadeia de suprimentos e 14 dos 32 artigos são frameworks apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Concentração de pesquisas por área

Aplicações dos gêmeos digitais \ Estrutura Gêmeo digital \ Gêmeo digital	71,875%
Tecnologias da Indústria 4.0	81,25%
PLM	40,625%
Gestão da cadeia de suprimentos	31,25%
Framework	43,75%

Fonte: Autor.

Conforme observado em Tabela 1, os artigos pesquisados possuem abordagens parciais, ou seja, nenhum abrange as 5 áreas (Aplicações dos gêmeos digitais/Estrutura do Gêmeo digital/Gêmeo digital, Tecnologias da Indústria 4.0, PLM, Gestão da cadeia de suprimentos e frameworks). A pesquisa realiza a análise dos 32 artigos descrevendo as contribuições e limitações do estudo, bem como a aplicação do trabalho para promover o desenvolvimento gêmeos da cadeia de suprimentos digital. O estudo apresenta uma análise qualitativa com as respectivas contribuições e limitações de cada pesquisa reportada nos artigos focados no Aplicações dos gêmeos digitais/ Estrutura do Gêmeo digital/Gêmeo digital, Tecnologias da Indústria 4.0, PLM e Gestão da cadeia de suprimentos. Com isso, foi possível identificar as aplicações dos gêmeos digitais nos ambientes da cadeia de suprimentos, as tecnologias da indústria 4.0 significativas para o desenvolvimento gêmeos da cadeia de suprimentos digital.

IV. PROPOSTA DE FRAMEWORK

Esta seção apresenta o processo de concepção e construção da proposta do framework conceitual para desenvolvimento Digital twin no contexto indústria 4.0, PLM e cadeia de suprimentos. Inicialmente apresenta-se os passos seguidos para a concepção e construção do framework e, posteriormente, denominado, retratando a integração dos conceitos abordados.

4.1 - Aplicações do gêmeo da cadeia de suprimentos digital

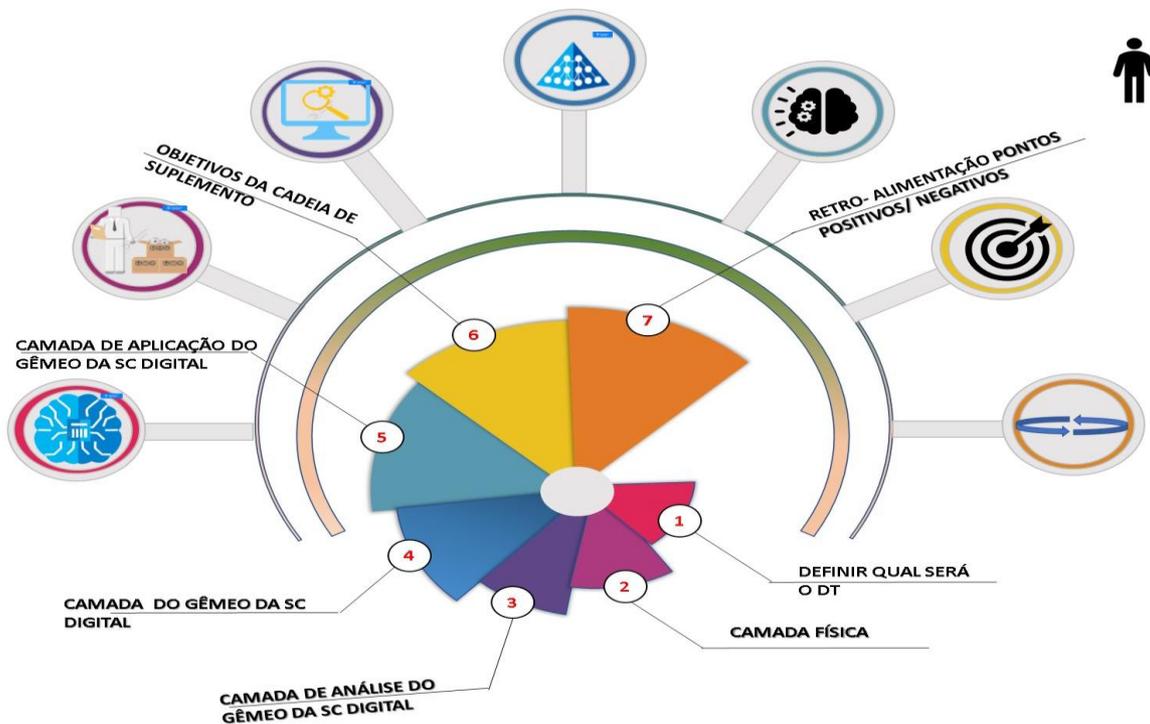
A disponibilidade de dados em tempo real suportada pelas tecnologias da Indústria 4.0 é uma vantagem competitiva crítica para as cadeias de suprimentos e é o componente essencial de uma estrutura do gêmeo da cadeia de suprimentos digital. O gêmeo da cadeia de suprimentos digital é essencialmente um espelho virtual da cadeia de suprimentos que consiste em centenas de ativos físicos, armazéns, logística e posições de estoque. Melhorias nas capacidades técnicas, analíticas e desenvolvimentos em tecnologias de fabricação oferecem imenso potencial para aplicações de cadeia de suprimentos digital.

4.2 - Estrutura do gêmeo de cadeia de suprimentos digital

Com base na revisão e perspectivas futuras sobre gêmeos digitais, foi proposto uma estrutura de gêmeos digitais para sistemas de cadeia de suprimentos mostrado na Figura 3. A análise revelou que um gêmeo de cadeia de suprimentos digital impulsiona a agregação, integração e alocação dinâmica de recursos de fabricação, criando um elo valioso em cadeias de suprimentos complexas. Um gêmeo da cadeia de suprimentos digital precisa ser integrado externamente entre os parceiros da cadeia de suprimentos e não deve se restringir ao mapeamento de processos internos. Com os recentes avanços em tecnologias emergentes, como IoT, realidade virtual, manufatura aditiva, inteligência artificial e *blockchains*, o escopo de aplicação do *Digital twin* se estendeu além dos sistemas de manufatura e deve abranger toda a cadeia de suprimentos. O *Digital twin* leva a vários pontos de acoplamento entre operações de fabricação e modelos de cadeia de suprimentos sustentáveis (SVENSSON e WAGNER, 2011). A capacidade dele integrar redes e gerenciar recursos com eficiência resulta em melhor sustentabilidade da cadeia de suprimentos.

O Framework proposto possui quatro níveis de camadas (nível físico, nível do *Digital twin*, nível analítico e nível de aplicação). Além dos quatro níveis de camada, o framework também possui três fases que são definir o *Digital twin* (Produto ou processo), objetivos da cadeia de suprimentos e a Retroalimentação. Um gêmeo de cadeia de suprimentos digital pode ajudar a reduzir o caos em cadeias de suprimentos complexas, identificando as tendências e ineficiências a qualquer momento em tempo real. As diferentes camadas no gêmeo da cadeia de suprimentos digital proposta são apresentadas nos subitens seguintes.

Figura 3 - Estrutura de Implementação Gêmea da Cadeia de Suprimentos Digital



Fonte: O Autor.

4.2.1 - Definir o tipo de Digital Twin

A primeira etapa do framework é definir o tipo de *digital twin*, que pode ser aplicado no processo ou no desempenho, que o objetivo é otimizar processos internos. Pode também ser aplicado no produto, onde eles ajudam o setor operacional e de estatística a analisar a performance do produto em vários cenários e condições. É uma réplica fiel (digital) de como aquele artigo será em sua forma material.

4.2.2 - Camada física

A camada física compreende os vários objetos e humanos envolvidos na cadeia de suprimentos em diferentes locais. As coisas incluem os sistemas físicos de fabricação, veículos de transporte, equipamentos de manuseio de materiais e sistemas de armazenamento espalhados por toda a cadeia de suprimentos. Os humanos na cadeia de suprimentos representam os recursos humanos necessários para operar, gerenciar e controlar os sistemas físicos, levando a resultados desejáveis de produtos ou serviços. A camada física envolve detalhar o número e o tipo de sensores necessários para capturar dados como torque, deslocamento e tensão dos objetos físicos (dados operacionais) e seus arredores (dados externos), incluindo pressão, temperatura, umidade. Os dados coletados serão então convertidos em mensagens digitais seguras e transferidos para a camada do gêmeo da cadeia de suprimentos digital usando codificadores e sistemas de rede.

4.2.3 - Camada do gêmeo da cadeia de suprimentos digital

Nesta camada, cria-se o *Digital twin* das coisas e dos humanos da cadeia de suprimentos. Essa camada gêmea da cadeia de suprimentos digital requer suporte de desenvolvedores de software (fornecedores) para desenvolver o melhor sistema virtual para representar o ambiente físico real. Os desenvolvedores devem prever o ciclo de vida do produto, das máquinas e equipamentos na cadeia de suprimentos e descrever corretamente suas interações com os parceiros da cadeia de suprimentos. A camada do gêmeo da cadeia de suprimentos digital será integrada à camada física para suportar tecnologias de interface ciberfísico, como IoT (sensores e atuadores), computação em nuvem e *blockchains*. Ela deve incorporar os regulamentos existentes sobre IPs e se proteger contra ameaças de segurança cibernética para desenvolver um sistema robusto. Há um fluxo contínuo de dados em tempo real entre as camadas dos gêmeos da cadeia de suprimentos física e digital. Uma camada do gêmeo de cadeia de suprimentos digital eficiente é essencial para o fluxo bidirecional de dados em tempo real no sistema ciberfísico. A interface ciberfísico deve envolver três elementos:

- Processamento de borda: interface que conecta os sensores com o processo e os passa ao longo da plataforma. O processamento de borda permite uma comunicação mais rápida processando os dados absorvidos nos terminais.
- Interface de comunicação: transfere os dados processados para a função de integração para monitoramento e controle.
- Segurança de borda: Usa abordagens de segurança para firewalls, criptografia, chaves de aplicativos e assim por diante, para minimizar as ameaças de ataques cibernéticos.

4.2.4 - Camada de análise do gêmeo da cadeia de suprimentos digital

Essa camada executa a análise de suporte nos dados coletados na camada de análise do gêmeo da cadeia de suprimentos digital. Os dados em tempo real coletados da camada física residem na camada de análise do gêmeo da cadeia de suprimentos digital e precisam ser examinados e simulados para uma tomada de decisão eficiente. Vários algoritmos de inteligência artificial e aprendizado de máquina podem ser implantados para extrair insights significativos das informações coletadas. O uso de análises preditivas e prescritivas na camada de análise ajuda a prever o desempenho futuro e determinar ações proativas para evitar os problemas. A camada de aplicação do gêmeo da cadeia de suprimentos digital opera em estreita harmonia com a camada de análise do gêmeo da cadeia de suprimentos digital. Os insights recebidos do estágio de análise são apresentados nos painéis ou outras plataformas de exibição, destacando os desvios entre o modelo gêmeo da cadeia de suprimentos digital simulada e o mundo físico. As áreas que precisam de atenção imediata devem ser abordadas.

4.2.5 - Camada de aplicação do gêmeo da cadeia de suprimentos digital

Na camada de aplicação, define-se as várias aplicações para implantação do gêmeo da cadeia de suprimentos digital. Por exemplo, uma empresa desenvolveu uma cadeia de suprimentos digital gêmea para reduzir sua produção tempo de espera. Nesse caso, a camada de aplicação gêmea da cadeia de suprimentos digital deve prever a falha de diferentes máquinas no processo de fabricação. Isso ajudará a evitar quebras de máquinas e reduzir o tempo de espera. Da mesma forma, aplicativos específicos de gêmeos digitais podem ser desenvolvidos para localizar e retirar itens da loja, reduzindo o tempo de busca e melhorando a logística e o gerenciamento do armazém. Outras

aplicações podem incluir controle de qualidade, preservação de mercadorias usando controles de temperatura e cálculo das taxas de utilização do equipamento.

A camada de aplicação do gêmeo da cadeia de suprimentos digital deve orientar a implementação de ações corretivas para superar as ineficiências recebidas dos insights. Os insights devem ser transferidos através dos decodificadores e alimentados aos atuadores, que controlam os parâmetros e a movimentação física do equipamento. A camada de aplicação opera por meio da camada gêmea da cadeia de suprimentos digital.

A proposta de estrutura gêmea de cadeia de suprimentos digital sustentável contribui para a teoria da sustentabilidade da cadeia de suprimentos, fornecendo insights sobre como as cadeias de suprimentos podem usar a plataforma para atingir metas de desempenho econômico, social e ambiental. Recomendamos que os profissionais da cadeia de suprimentos adotem o gêmeo da cadeia de suprimentos digital para gerar benefícios sustentáveis. O gêmeo da cadeia de suprimentos digital aprimora a utilização de recursos, o design do produto e o design do processo de fabricação em tempo real e otimiza as expectativas dos clientes e funcionários, resultando em benefícios econômicos, ambientais e sociais significativos para a cadeia de suprimentos. A economia de energia obtida com a análise dos dados de consumo de energia e a otimização dos horários de energia beneficiam o meio ambiente.

Além disso, o modelo proposto incentiva a integração de todos os parceiros da cadeia de suprimentos para resolver problemas de colaboração e sustentabilidade em cadeias de suprimentos multicamadas. Em cadeias de suprimentos multicamadas, qualquer comportamento indesejado ou insustentável dos fornecedores na camada inferior da cadeia de suprimentos é atribuído à empresa de manufatura focal. O uso de um gêmeo da cadeia de suprimentos digital ajudará as empresas focais a monitorar e controlar continuamente as ações sustentáveis de seus fornecedores. Além disso, o gêmeo da cadeia de suprimentos digital ajuda a vincular os clientes, permitindo que eles participem do design do produto e melhorem a experiência do usuário. A plataforma digital gêmea da cadeia de suprimentos pode ser usada para capturar informações dos funcionários, como horários de trabalho e conteúdo de trabalho real, que podem ser usados para calcular seus salários e avaliar suas condições de trabalho, oferecendo benefícios sociais. No entanto, os profissionais da cadeia de suprimentos devem considerar alguns pontos que podem atuar como barreiras para a implementação de plataformas gêmeas da cadeia de suprimentos digital.

4.2.6 - *Digital twin e objetivos sustentáveis*

Os benefícios econômicos impulsionam muitas iniciativas em um setor. No entanto, as perspectivas de crescimento dos negócios promovem o consumo de recursos e causam impactos sociais. Um *Digital twin* baseado em simulação de processo apoia o desenvolvimento sustentável e a circularidade, quantificando a eficiência dos recursos e a recuperação de recursos secundários de alta qualidade e a economia de energia (LEIDEN *et al.*, 2021). Zhao *et al.* (2021) desenvolveu um sistema de rastreamento habilitado para IoT e *Digital twin* para maior segurança, reconhecendo uma condição anormal e usando rastreamento de localização em tempo real. Esses sistemas podem ser muito úteis para gerenciar com eficiência as operações do armazém. O *Digital twin* tem potencial para fornecer maior inteligência e autonomia nos processos de transporte de manufatura industrial.

Gêmeos digitais veiculares que facilitam a coleta de dados, processamento de dados e análises podem oferecer as vantagens de redução de acidentes e o desenvolvimento de um ambiente seguro no local de trabalho. Gêmeos digitais baseados em princípios de fusão de dados podem ser muito úteis para minimizar a ambiguidade e

a incerteza associadas à avaliação de projetos sustentáveis. As estruturas semelhantes usando abordagens de IoT e gêmeos digitais são usadas para sustentar edifícios, fornecendo avaliação e controle em tempo real (ALMEAIBED *et al.*, 2021, TAGLIABUE *et al.*, 2021).

Da mesma forma, os modelos de gêmeos digitais são usados para realizar avaliações de risco ambiental e poluição. Rocca *et al.* (2020) demonstrou com sucesso o uso de realidade aumentada para apoiar práticas de economia circular, testando virtualmente os resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos usando ferramentas de simulação. Além disso, tais sistemas reduzem o risco de lesões para os operadores, proporcionando maior sustentabilidade da produção. O uso de um *Digital twin* em todo o ciclo de vida beneficia o compartilhamento de informações, facilita a comunicação técnica, melhora a qualidade do projeto, reduz erros de projeto, aumenta a intensidade e a eficiência energética, auxilia no ritmo acelerado implementação e reduz as pegadas de carbono (GOLOVINA *et al.*, 2019; KAEWUNRUEN e LIAN, 2019, DAMIANI *et al.*, 2020).

4.2.7 - Retroalimentação

Essa etapa é uma das mais importantes do framework, garante a melhoria contínua da estrutura, que consiste na transferência de um sinal de saída para a entrada do mesmo sistema ou circuito, resultando no aumento do nível de saída ou diminuição (feedback positivo ou negativo). Os pontos negativos serão analisados e resolvidos gradativamente, tornando o sistema mais eficiente.

V. CONCLUSÕES

Este estudo apresentou uma revisão da literatura atual sobre o uso de gêmeos digitais em ambientes de cadeia de suprimentos de manufatura. Com acesso imediato a gêmeos digitais, a maioria das indústrias começou a aproveitar essas tecnologias para gerenciar seus ativos críticos. A análise mostrou que o gêmeo digital está se tornando uma parte essencial de uma operação de produto, ativo e infraestrutura para atingir objetivos sustentáveis em uma cadeia de suprimentos. Um gêmeo digital permite que os proprietários prevejam falhas operacionais, melhorem a qualidade do produto e reduzam o tempo de inatividade. Esta revisão identificou a IIoT, simulação, aprendizado de máquina, inteligência artificial, computação em nuvem como componentes críticos de um gêmeo digital.

As aplicações atuais de um gêmeo digital apontam para o papel muito mais significativo que ele pode desempenhar no alcance dos objetivos de sustentabilidade. As perspectivas futuras mostram que, para aproveitar os benefícios de um gêmeo digital, é necessário integrar parceiros externos da cadeia de suprimentos aos sistemas de fabricação existentes. As aplicações de um gêmeo digital são muito focadas em alcançar a excelência de fabricação. No entanto, aumentar o escopo de um gêmeo digital para incluir todas as coisas e humanos na cadeia de suprimentos ajudará seus proprietários a tomar decisões mais proativas no nível da cadeia de suprimentos.

Os desafios identificados para o desenvolvimento de uma cadeia de suprimentos digital eficiente são o escopo do ciclo de vida do produto, segurança cibernética, proteção de IP e fontes de dados não estruturadas. No entanto, aumentar o escopo de um gêmeo digital para incluir todas as coisas e humanos na cadeia de suprimentos ajudará seus proprietários a tomar decisões mais proativas no nível da cadeia de suprimentos.

VI. REFERÊNCIAS

- Alim Yasin¹, Toh Yen Pang^{1,*}, Chi Tsun Cheng¹ e Miro Miletic², A roadmap to integrate digital twins for small and médium sized enterprises Applied Sciences Switzerland, School of Engineering, STEM College, RMIT University, Bundoora, VIC 3083, Australia, *Appl. Sci.* 2021, *11*(20), 9479; <https://doi.org/10.3390/app11209479>.
- Boschert, S. e Rosen, R. (2016), Digital Twin – The Simulation Aspect. In: Hehenerger, P. e Bradley, D. (Ed.), *Futuros mecatrônicos*, Springer, pp. 59-74. https://doi.org/10.1007/978—319-32156-1_5
- Dinithi Bamunuarachchi, Dimitrios Georgakopoulos, Abhik Banerjee and Prem Prakash Jayaraman, Digital Twins Supporting Efficient Digital Industrial Transformation, Department of Computer Science and Software Engineering, Swinburne University of Technology, Hawthorn 3122, Australia, *Sensors* 2021, *21*(20), 6829; <https://doi.org/10.3390/s21206829>.
- Dmitry Ivanov & Alexandre Dolgui (2021) A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0, *Production Planning & Control*, 32:9, 775-788, DOI: 10.1080/09537287.2020.1768450.
- Grieves, M. e Vickers, J. (2017), “Gêmeo Digital: Atenuando o Comportamento Emergente Imprevisível e Indesejável em Sistemas Complexos”, In: Kahlen, J., Flumerfelt, S. e Alves, A. (Eds.), *Perspectivas Transdisciplinares em Sistemas Complexos*, Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4.
- Grieves, M., Vickers, J. (2017). Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. In: Kahlen, J., Flumerfelt, S., Alves, A. (eds) *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*. Springer, Cham. https://doi-org.ez433.periodicos.capes.gov.br/10.1007/978-3-319-38756-7_4.
- Gruender, W.T. (2017). Systems Engineering Requires Digital Twins of Machine Elements. In: Chiru, A., Ispas, N. (eds) *CONAT 2016 International Congress of Automotive and Transport Engineering*. CONAT 2016. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45447-4_26.
- Kaishu Xia, Christopher Sacco, Max Kirkpatrick, Clint Saily, Lam Nguyen, Anil Kircaliali, Ramy Harik, A digital twin to train deep reinforcement learning agent for smart manufacturing plants: Environment, interfaces and intelligence, *Journal of Manufacturing Systems*, Volume 58, Part B, 2021, Pages 210-230, ISSN 0278-6125, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.012>.
- Lennart Ante, Digital twin technology for smart manufacturing and industry 4.0: A bibliometric analysis of the intellectual structure of the research discourse, *Manufacturing Letters*, Volume 27, 2021, Pages 96-102, ISSN 2213-8463, <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2021.01.003>.
- Neckenich, J., Winter, R. e Vielhaber, M. (2015), Apoio Digital ao desenvolvimento de cablagens (Baseado em o Método Mestre 3D). *Anais do ICED15 / Conferência Internacional sobre Projeto de Engenharia*, Milão, Itália, 27 a 30 de julho de 2015, págs. 1-10.
- Radanliev, P., De Roure, D., Nicolescu, R. *et al.* Digital twins: artificial intelligence and the IoT cyber-physical systems in Industry 4.0. *Int J Intell Robot Appl* 6, 171–185 (2022). <https://doi-org.ez433.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s41315-021-00180-5>.

Rožanec JM, Kažič B, Škrjanc M, Fortuna B, Mladenić D. Automotive OEM Demand Forecasting: A Comparative Study of Forecasting Algorithms and Strategies. *Applied Sciences*. 2021; 11(15):6787. <https://doi.org/10.3390/app11156787>.

Suriyan Anandavel, Wei Li, Akhil Garg, Liang Gao, Application of digital twins to the product lifecycle management of battery packs of electric vehicles, *IET Collab Intel Manufact*, 2021, DOI: 10.1049/cim2.12028.

Wang, L., Liu, Z., Liu, A. *et al.* Artificial intelligence in product lifecycle management. *Int J Adv Manuf Technol* 114, 771–796 (2021). <https://doi-org.ez433.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s00170-021-06882-1>.

VII. COPYRIGHT

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

3D RECONSTRUCTION BASED ON PHOTOGRAMMETRY FOR MIXED REALITY IN INTERACTIVE SIMULATION VIRTUAL ENVIRONMENTS

PARA REALIDADE MISTA EM AMBIENTES VIRTUAIS DE SIMULAÇÃO INTERATIVA

Marcelo Rudek¹
Drayan Silva Magalhães²

Abstract – Virtual environments for realistic simulation represent a strong trend in the field of engineering processes, especially in the context of the so-called digital twin. This article will study software options, libraries, and devices for 3D reconstruction based on photogrammetry for the development of a realistic interactive virtual simulation prototype. The quality evaluation criteria for the chosen software will be defined here, as well as qualitative evaluation tests to justify their use. Finally, a prototype application for Microsoft HoloLens 2 is presented, built using the software tools and immersive environments identified in this research.

Keywords: *Photogrammetry. Mixed-Reality. 3D-Reconstruction. Virtual-Simulation. HoloLens-2. AliceVision. Polycam. Unity.*

Resumo – Ambientes virtuais de simulação realística representam uma importante tendência no âmbito de processos de engenharia, principalmente no contexto do chamado gêmeo digital. Esse artigo estudará opções de software, bibliotecas e dispositivos para reconstrução 3D baseada em fotogrametria para desenvolvimento de um protótipo de simulação virtual interativa realista. Aqui, serão definidos os critérios de avaliação de qualidade para os softwares escolhidos, assim como serão apresentados os testes com avaliação qualitativa para justificar o uso. Por fim, é apresentado um protótipo de aplicativo para Microsoft HoloLens 2, construído usando as ferramentas de software e ambientes de imersão identificadas nesta pesquisa.

Palavras-chave: *Fotogrametria. Realidade-Mista. Reconstrução-3D. Simulação. HoloLens-2. AliceVision. Polycam. Unity.*

¹ Prof. Dr. Eng., Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, PPGEPS, Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR. Contato: marcelo.rudek@pucpr.br

² Estudante de Bacharelado em Ciência da Computação (PUCPR). Contato: drayanreset@gmail.com.

I. INTRODUCTION

Mixed reality (MR) is a general term that englobes virtual and augmented reality. It is a spectrum between the real and the virtual world, augmented reality being the closest to the real world, displaying interactable features, objects, and interfaces on top of reality. And virtual reality, completely obfuscating the user's vision to make a completely virtual surrounding to be interacted with (Microsoft Learn, 2023). These objects and environments to be displayed in MR devices can be retrieved from the real-world using photogrammetry, which is a technology consisting in taking highly overlapping photos of an object or environment to reconstruct it programmatically, generating a 3D model of the given scanned target. The focus of this research is to use photogrammetry and mixed reality combined to make a prototype application capable of composing virtual environments for interactive simulation using the reconstructed models. This research is going to use mainly the works from (WEINMANN M. et al., 2021), (RADANOVIC, M; KOSHELHAM, K; FRASER, C; 2022) and (LI J. et al., 2022) as a knowledge pillar, and Microsoft's guide (Microsoft Learn, 2023) for the prototype development.

II. OBJECTIVE(S)

The main goal of this research is to propose a computational system prototype for composition of a mixed reality immersive virtual environment, made from 3D reconstructions of objects based on digital stereoscopic images and photogrammetry.

III. MATERIALS AND METHODS

This research is founded on the assumption to use only photogrammetry methods without relying on technologies such as LiDAR, ToF and others. Therefore, the content mentioned here will be following this assumption and using photogrammetry with RGB images only to acquire the 3D models.

3.1 – Devices

Regarding the image acquisition device, I have used a regular phone's camera. The phone's model was a Redmi Note 11, equipped with a 50MP main camera with 1.8 of aperture size, which is close to the recommended f/1.4 described on Meshroom's guide (MESHROOM, 2021) and a shutter speed of 1/4000s, the exact value recommended on this same guide.

For all tests further mentioned in this paper, a desktop computer with the respective specifications was used: Windows 11 operational system, AMD Ryzen 5 2600 processor, Nvidia GTX 1650 OC graphics card, SSD 480m/s and 16gb of ram. The operational system was not running any non-native processes besides Nvidia software, Alice Vision scripts and the Meshroom software itself. For Polycam, all the data was cloud computed.

3.2 – Software and Settings for Photogrammetry

For photogrammetry, the commercially available mobile application "Polycam" using its non-LiDAR photogrammetry functionality, and the desktop freeware "Meshroom" from AliceVision were used. Both technologies were tested against each other to compare the time taken to complete each reconstruction and its resultant quality. The conditions set for the photogrammetry were based on the principles for high quality indoor scene reconstructions (LI J. et al., 2022), with no bright, shiny, and reflective

objects such as mirrors and windows, which were all occluded. The settings used for Meshroom were the provided default nodes. And for Polycam manual photo mode was used with mesh quality set to “medium” – which is the highest quality in the free plan, and object masking off.

3.3 – Quality Criteria

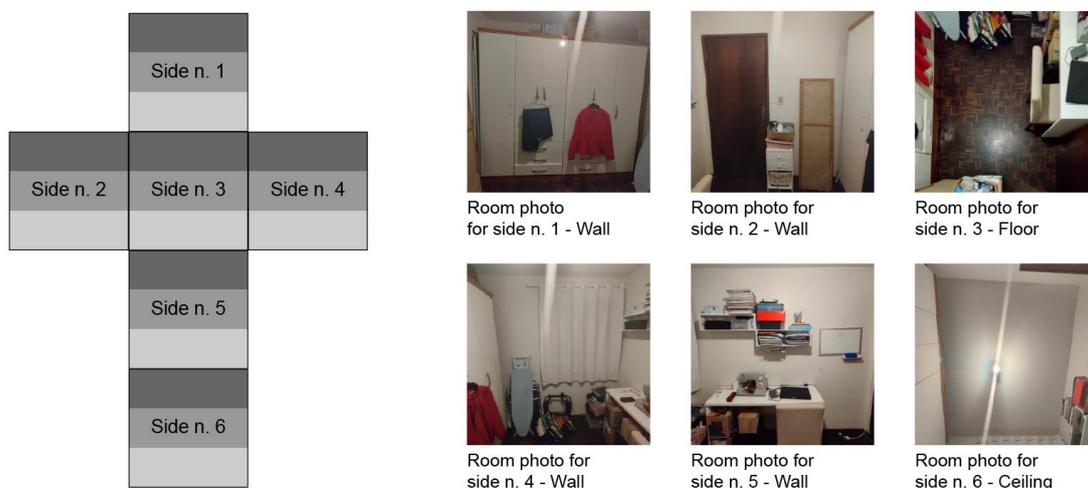
The criteria for quality measurement was divided into three levels: unusable, bad, good, and great. For unusable quality, the conditions were to have inverted normals or high deformities, enough to make the reconstruction unrecognizable. For bad quality there would be big loss in details, a noisy mesh (considerable amount of artifacts) and missing sides, parts and sections. For good quality, a small loss in details was considered, meaning most of the object’s surface details such as knobs, tags and handles were recognizable, with no missing sides and/or parts. Finally, for great quality, the criteria to match were almost no loss in details, clean mesh or with a small amount of artifacts and perfectly recognizable sides, parts and sections. The quality evaluation didn’t take into account loose fragments out of the mesh since every piece, no matter what software, often needs to be cleaned before being used.

3.4 – Testing Scopes

The tests were divided into two scopes: the first scope was devoted to indoor environments, and the other for single objects. The best results were used to compose the simulation into the prototype, to make an interactable and immersive virtual environment. The tests for scope one were run a total of three times for the same environment, each one with a new dataset. The Meshroom software was removed from the computer and had its temporary files and folders cleaned each test to make sure to avoid any cache, since after the first three tests it strangely showed gradually faster results. The tests were repeated, and the results stood the same, so the second batch was used and the first discarded.

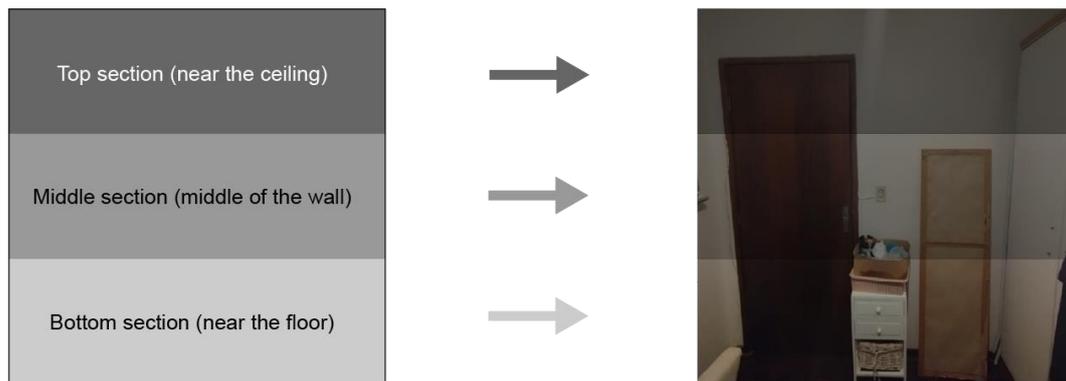
3.5 – Methods for Image Acquisition

Figure 1 – Representation of the room’s sides division for image acquisition. 2D division representation as an unfolded cube, enumerated, with the sections inside each side as gray stripes (left), Real photos of the room representing each side (right)



Source: MAGALHÃES, D., 2023.

Figure 2 – Representation of the room’s sides division for image acquisition. 2D division representation (left), 2D representation over a real photo of the room (right)



Source: MAGALHÃES, D., 2023.

The method utilized for environment image acquisition (scope one) was made based on an imaginary division of the analyzed room in six sides by two hundred photos, each side with thirty-three photos each, Figure 1. The two photos left by the division of two hundred by six were taken on side number five, making this specific side always two photos bigger. All six sides were divided equally in three sections – top, middle, and bottom Figure 2, resulting in eleven photos for each section. The sides’ photos were taken with roughly the same motion: starting from bottom to top, alternating between right and left in each section – a zigzag-like motion. This method was utilized in both software for image acquisition.

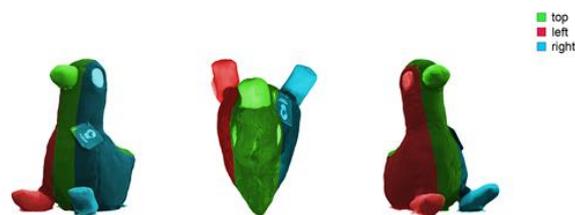


Figure 3 – Representation of the object division in three parts for image acquisition. Right view (left), Top view (middle), Left view (right).

Source: MAGALHÃES, D., 2023.

For the image acquisition for single objects (scope two), a soft body (plushie) was used and divided in 3 main parts: left, right and top, as it can be seen in Fig. 3. The left and right parts took in account all the object’s side features, from the respective side’s front to its back. The top part contemplates from the front to the top, to the back. This way, all the object’s surface is captured except from its base – which, in soft bodies, usually can’t be captured anyway. A total of ninety photos were taken and distributed equally among all the parts.

3.6 – The Prototype Application

Finally, for the development of the first prototype version, the Unity Game Engine was used together with the cross-platform toolkit MRTK and the software Mixed Reality Feature Tool for Unity. The developed application used OpenXR API as a standard model for better adaptation in other devices. This version was made for Microsoft’s mixed reality device: HoloLens 2.

IV. TESTING RESULTS

4.1 – Scope One: Indoor Environments

Figure 4 – Best Meshroom’s room reconstruction (attempt 2), with holes and defects in pink, the two right images were rendered with a distorted camera on Blender, with a larger focal length for a better view. Top model view (left), Room side 5 (top-right), Room side 2 (bottom-right)



Source: MAGALHÃES, D., 2023.

Figure 5 – Best Polycam’s room reconstruction (attempt 1), with holes and defects in pink, the two right images were rendered with a distorted camera on Blender, with a larger focal length for a better view. Top model view (left), Room side 5 (top-right), Room side 2 (bottom-right).



Source: MAGALHÃES, D., 2023.

Table 1 – Indoor environment reconstruction attempts

Software	Attempt	Reconstruction Time (hh:mm)	Quality
Meshroom	1	04:00	Good
Meshroom	2	03:06	Good
Meshroom	3	02:20	Bad
Polycam	1	00:18	Great
Polycam	2	00:17	Unusable
Polycam	3	00:21	Unusable

The results Table 1, were generally good using Meshroom, the sides are easily recognizable, and the mesh topology is well-connected, but it tends to be noisy and with missing sections or big holes that can hurt the immersion later in the simulation. Considering the machine in which the tests were run, the average reconstruction time of 3 hours and 8 minutes is a valid and expected number. Polycam’s results Table 1, there were almost no usable meshes for indoor rooms. Despite its fast reconstruction times of 18.5 minutes on average, the reconstructions were unusable most of the time with inverted normals, highly deformed geometry and pointy edges. With rare great exceptions, it has proved itself to be a volatile software for this scope. To conclude, Meshroom’s results are consistent in terms of quality, with good detail retention and acceptable reconstruction time. Easily recognizable – which is important for immersion and occasionally manual improvement, so it will be used as the main software for this scope. Meanwhile, Polycam’s results were proven to be volatile and controversial, they were usually unusable and impossible to improve. Even with similar datasets, it tended to be unstable and deliver highly deformed meshes. The controversy resides within the quality aspect, since the only time it worked Figure 5, the mesh was almost perfect with just a few holes on the sides 5, 2, and 4, – all in top sections, and great topology almost without noise. It is an unreliable software for this scope, but when it works, the results can be better than Meshroom’s.

4.2 – Scope Two: Single Objects

Figure 6 – Best Meshroom’s single object reconstruction attempt (attempt 3). Top model view (left), Left model view (middle), Right model view (right)



Source: MAGALHÃES, D., 2023.

Figure 7 – Best Polycam’s single object reconstruction (attempt 3). Top model view (left), Left model view (middle), Right model view (right)



Source: MAGALHÃES, D., 2023.

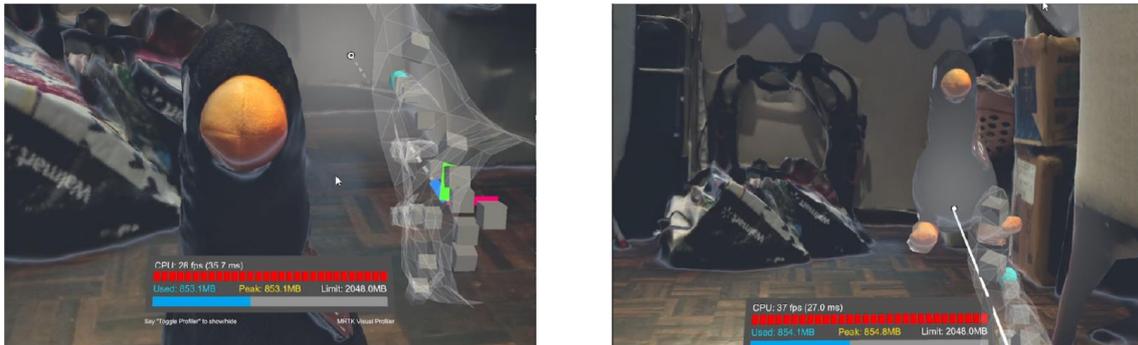
Table 2 – Single object reconstruction attempts

Software	Attempt	Reconstruction Time (hh:mm)	Quality
Meshroom	1	01:26	Bad
Meshroom	2	01:41	Bad
Meshroom	3	01:24	Good
Polycam	1	00:11	Great
Polycam	2	00:08	Great
Polycam	3	00:08	Great

Meshroom’s results Table 2, took a reasonable amount of time to make the reconstruction, with an average of 90 minutes to completion. The quality was scanty, even though the meshes were not unusable, the number of missing parts were generally huge and would not be acceptable for a free interaction scenario, where the user could see all its sides by moving and rotating the object, since it could break the immersion. The last result was good and very suitable for full interaction scenarios, but no remarkable difference in its dataset was observed with the naked eye in comparison with the others to explain the drastic change in quality. The brightness and focus looked roughly the same between all the three sets. The Polycam’s results Table 2, were impressive, with an average reconstruction time of 9 minutes and great quality. Some deformities in top parts were observable but are not enough to break the immersion inside a simulation, and well resemble the real object. In conclusion, Meshroom was unreliable and unpredictable for this scope. With the naked eye no differences could be found amongst the datasets in terms of brightness, focus and/or contrast, and since those factors are prone to change when not in a controlled environment, if small changes can drastically change the results, it turns unreliable for this scope. Polycam proved to be better for scope two, with reliable and high-quality results, so it will be used as the main software for this scope.

V. TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT PROCESSES AND/OR PROCEDURES

Figure 8 – Developed prototype running on Microsoft’s HoloLens 2 emulator. Starting screen inside the reconstructed room with the reconstructed single object (left), Single object being interacted with, levitating by the user’s hand input (right)



Source: MAGALHÃES, D., 2023.

The first prototype version was developed following Microsoft’s starter’s guide (Conceitos Básicos do HoloLens 2, n.d) and further improved using the same strategies taught by the guide. It starts in a simple environment, which is a 3D reconstruction obtained using the methods mentioned in this paper. The simulated environment itself is not movable, acting like a stage for interactions as a static body and is displayed on top of the real-world. The software also has a 3D reconstructed object which the user can interact with using hand gestures together with the device’s default eye-tracking for better precision. This object has basic physics and can be thrown, rotated, and moved.

Despite Meshroom and Polycam’s reconstructions having a reasonable precision regarding size measurement, in this prototype the Unity’s default unit size was used and the original models’ size discarded for the sake of simplicity. Both reconstructions used were not polished in any regard, only the raw models were used which affected performance. The images Figure 7 and Figure 8 are screen-captures from the developed software running on the official Microsoft’s HoloLens 2 emulator, and all worked as expected. The simulated environment’s bounding box reminds the real-world and its surfaces are well divided, giving the user a reasonable immersive experience.

VI. FUTURE STAGES

Future stages will focus on improving the prototype, collecting more information on methods for data-driven reconstruction improvement and other general techniques that can be automated to create better 3D models from photogrammetry.

The next generation of 3D reconstructions for this prototype will undergo retopology, mesh denoising, decimation, and other methods to enhance their quality and reduce their vertices count, resulting in a better performance within the simulation.

The goal is to test the prototype in a real device and refactor the code to be more universal and compatible with more OpenXR-based devices other than HoloLens 2. And finally, I aim to explore more applications for this prototype, perform a detailed analysis of them, and identify the necessary solutions for the chosen scenarios.

VII. REFERENCES

HÜBNER, Patrick; WEINMANN, Martin; WURSTHORN, Sven; WEINMANN, Michael. Efficient 3D Mapping and Modelling of Indoor Scenes with the Microsoft

HoloLens: A Survey. PFG - **Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science**. <https://doi.org/10.1007/s41064-021-00163-y>. 2021.

LI, Jianwei; WU, Yihong; LIU, Yangdong; SHEN, Yanfei; GAO, Wei. **High-quality Indoor Scene 3D Reconstruction with RGB-D Cameras: A Brief Review** in Computational Visual Media, v.8. Available at: <https://doi.org/10.1007/s41095-021-0250-8>. 2022.

RADANOVIC, Marko; KHOSHELHAM, Kourosh; FRASER, Clive. Virtual Element Retrieval in Mixed Reality. In: XXIV ISPRS Congress, 6–11 Jun. 2022, Nice, France. **Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v.4. 2022.

O que é Realidade Misturada? - Mixed Reality [What is Mixed Reality? - Mixed Reality] – Microsoft Learn. Available at: <https://learn.microsoft.com/pt-br/windows/mixed-reality/discover/mixed-reality>. Accessed in 26 jan 2023.

Conceitos Básicos do HoloLens 2: Desenvolver Aplicativos de Realidade Misturada [HoloLens 2 Basics: Developing Mixed Reality Applications] - Training. Microsoft Learn. <https://learn.microsoft.com/pt-br/training/paths/beginner-hololens-2-tutorials/>. n.d.

Tutorial: Meshroom for Beginners – Meshroom v2021.0.1 documentation. Available at: <https://meshroom-manual.readthedocs.io/en/latest/tutorials/sketchfab/sketchfab.html>. 2021.

VIII. ACKNOWLEDGEMENT

We are grateful to the Pontificia Universidade Católica do Paraná - PUCPR for providing the facilities for the conduction of the experiments. We also would like to thank the scholarship to this research financially supported by the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

IX. COPYRIGHT

The authors are solely responsible for the material included in the article.