

ENGENHARIA EM FOCO

EXPLORANDO AS MÚLTIPLAS FACETAS
DA CIÊNCIA E DA INOVAÇÃO

MARIANA NATALE FIORELLI FABICHE
(ORGANIZADOR)

 **Atena**
Editora
Ano 2023

ENGENHARIA EM FOCO

EXPLORANDO AS MÚLTIPLAS FACETAS
DA CIÊNCIA E DA INOVAÇÃO

MARIANA NATALE FIORELLI FABICHE
(ORGANIZADOR)

 **Atena**
Editora
Ano 2023

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Engenharia em foco: explorando as múltiplas facetas da ciência e da inovação

Diagramação: Camila Alves de Cremona
Correção: Andria Norman
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Mariana Natale Fiorelli Fabiche

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
E57	<p>Engenharia em foco: explorando as múltiplas facetas da ciência e da inovação / Organizadora Mariana Natale Fiorelli Fabiche. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-2181-8 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.818230812</p> <p>1. Engenharia. I. Fabiche, Mariana Natale Fiorelli (Organizadora). II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 620</p>
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.


A coleção “Engenharia em foco: explorando as múltiplas facetas da ciência e da inovação” é uma coleção de trabalhos científicos que aborda alguns temas atuais e relevantes na área das Engenharias. Composta por capítulos categorizados e interdisciplinares, a obra apresenta estudos realizados em diversas instituições de ensino e pesquisa no Brasil e no exterior, abordando temas discutidos nas diversas áreas da engenharia, como os Parâmetros de sustentabilidades na Amazônia; Conceitos e Práticas para restauração de manguezais; Aplicação prática de PGRCC; Controle de temperatura em túnel psicométrico; Estudo do efeito de nanofibras de sílica e argila; Influência dos minerais na fabricação de tintas arquitetônicas; Estudo de material cimentante alternativo e fabricação de painel monolítico de EPS; Estudo da microestrutura e dureza de um tipo de aço carbono, entre diversos outros estudos.

Uma proposta atual e contemporânea, visando fornecer oportunidades de aprendizados aos leitores tanto no campo acadêmico quanto no âmbito profissional. Além do que, essa obra busca incentivar a divulgação de novos trabalhos e ressaltar a importância dos pesquisadores em divulgar seus trabalhos por meio de plataformas confiáveis, como a Atena Editora.

Mariana Natale Fiorelli Fabiche.


CAPÍTULO 1 1**PARÂMETROS EDÁFICOS DE SUSTENTABILIDADE EM DIFERENTES AGROECOSSISTEMAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Lucas Agostinho Pereira da Silva
 José Darlon Nascimento Alves
 Antônio Rafael Neri dos Santos
 Cristyan Alyvan Costa da Silva
 Vinícius Lima Cardoso
 Alan Cristoffer Gomes Raiol
 Sayra Bianca Silva da Costa Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8182308121>

CAPÍTULO 2 9**CALCULATION OF EQUIVALENT DOSE FOR PHOTONS RESULTING FROM SKYSHINE PRODUCTION ACCORDING TO NCRP N°151**

Marco Antonio Frota Lima
 Alphonse Kelecom

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8182308122>


CAPÍTULO 3 15**CONCEITOS, PRINCÍPIOS E PRÁTICAS PARA RESTAURAÇÃO DE MANGUEZAIS A PARTIR DE ECOSISTEMAS RECUPERADOS**

Flávia Rebelo Mochel
 Denilson da Silva Bezerra
 Ilisandra Zanandrea
 Josélia Castro da Silva Martins

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8182308123>


CAPÍTULO 4 29**APLICAÇÃO PRÁTICA DO PGRCC NAS CONSTRUÇÕES DA CIDADE DO RECIFE**

Elisabeth Maria Ferreira Severo
 Hipólito José Campos de Sousa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8182308124>

CAPÍTULO 5 40**CONTROLE PID ADAPTATIVO DE TEMPERATURA EM UM TÚNEL PSICROMÉTRICO**


José Antonio Riul
 Paulo Henrique de Miranda Montenegro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8182308125>

CAPÍTULO 6 52**EFFECTS OF SILICA NANOFIBERS AND MMT CLAY ON MECHANICAL PROPERTIES OF POLYAMIDE 6: A COMPARATIVE STUDY**

Edvânia Trajano Teófilo


Rosiane Maria da Costa Farias
 Ermeson David dos Santos Silva
 Radamés da Silva Teixeira
 Gabriel Lucena de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8182308126>

CAPÍTULO 760

A INFLUÊNCIA DO VALOR DE ABSORÇÃO DE ÓLEO DOS PIGMENTOS
 E DAS CARGAS MINERAIS USADAS NA FABRICAÇÃO DE TINTAS
 ARQUITETÔNICAS


Almir Pereira da Silva
 Laércio da Cunha Beringuel
 Anderson Laursen
 Evandro Queiroz

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8182308127>

CAPÍTULO 877

PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MATERIAL CIMENTANTE OBTIDO A
 PARTIR DE EGAF, GESSO FGD E CINZA DE CALDEIRA DE BIOMASSA


Alessandra Savazzini dos Reis
 Desilvia Machado Louzada
 Kathleen Rodrigues Braz
 Aline Ferreira Araújo Boone

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8182308128>

CAPÍTULO 986

SUICIDE PREDICTION IN WORKERS USING NAIVE BAYES


Daniel Alejandro Barajas Aranda
 María Dolores Torres Soto
 Aurora Torres Soto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8182308129>

CAPÍTULO 10.....93

PAINEL MONOLÍTICO EM EPS: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Wanderson de Andrade Simplício
 Nathaly Sarasty Narváez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81823081210>

CAPÍTULO 11 111

ALGORITMOS BIOINSPIRADOS OTIMIZAM CONTROLADOR COM
 MAPEAMENTO COGNITIVO FUZZY DE MIXER INDUSTRIAL

Márcio Mendonça
 Fabio Rodrigo Milanez
 Michelle Eliza Casagrande Rocha
 Marcio Jacometti
 Vicente de Lime Gongora
 Marcos Antônio de Matos Laia

Emerson Ravazzi Pires da Silva
 Kazuyochi Ota Junior
 Augusto Alberto Foggiato
 Fabio Nogueira de Queiroz
 Luiz Francisco Sanches Buzachero
 Andre Luis Shiguemoto
 Guilherme Cyrino Geromel
 Bruno Oliveira Rosa
 João Roberto Sartori Moreno
 Gustavo Henrique Bazan
 Luiz Antonio Costa
 Henrique Cavalieri Agonilha
 Carlos Alberto Paschoalino

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81823081211>

CAPÍTULO 12..... 123

GEOTECHNICAL MAPPING PROPOSAL FOR FEDERAL HIGHWAY - BR 319


Vinicius Gabriel Martins Passos
 Fabio Martins da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81823081212>

CAPÍTULO 13..... 135

EFEITOS NA MICROESTRUTURA E DUREZA DE AÇO DE MÉDIO TEOR DE CARBONO SUBMETIDOS A DIFERENTES TRATAMENTOS TÉRMICOS

Lucas Henrique Soares Quirino
 Murillo Garcia Gentil
 Ricardo Breganon
 Rogério Breganon
 Carla Kozuki
 Gustavo Henrique Bazan
 Gustavo Vendrame Barbara
 Felipe Augusto de Aguiar Possoli
 Uiliam Nelson Lendzion Tomaz Alvez
 André Luiz Salvat Moscato
 Luis Fabiano Barone Martins
 Fernando Sabino Fonteque Ribeiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81823081213>

SOBRE A ORGANIZADORA 147

ÍNDICE REMISSIVO 148

PARÂMETROS EDÁFICOS DE SUSTENTABILIDADE EM DIFERENTES AGROECOSSISTEMAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL

Data de aceite: 01/12/2023

Lucas Agostinho Pereira da Silva

Universidade Federal Rural da Amazônia
Capitão Poço – Pará
<http://lattes.cnpq.br/9584113057501755>

José Darlon Nascimento Alves

Secretária do Estado de Meio Ambiente e
Sustentabilidade
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/2792546714935668>

Antônio Rafael Neri dos Santos

Universidade Federal Rural da Amazônia
Capitão Poço – Pará
<http://lattes.cnpq.br/6673210218339157>

Cristyan Alyvan Costa da Silva

Universidade Federal Rural da Amazônia
Capitão Poço – Pará
<http://lattes.cnpq.br/7681135582437338>

Vinícius Lima Cardoso

Universidade Federal Rural da Amazônia
Capitão Poço – Pará
<http://lattes.cnpq.br/8211279738656678>

Alan Cristoffer Gomes Raiol

Universidade Federal Rural da Amazônia
Capitão Poço – Pará
<http://lattes.cnpq.br/0476647879902098>

Sayra Bianca Silva da Costa Rocha

Universidade Federal Rural da Amazônia
Capitão Poço – Pará
<http://lattes.cnpq.br/0578257151939093>

RESUMO: A conversão de áreas de vegetação natural em sistemas agrícolas, especialmente pastagens, resulta em modificações nas propriedades naturais do solo. A monitorização e avaliação dos diferentes parâmetros do solo são de extrema importância para a aplicação e desenvolvimento de técnicas conservacionistas. Nessas avaliações de qualidade do solo, é fundamental utilizar indicadores que sejam mais sensíveis às mudanças na cobertura vegetal. O objetivo deste estudo foi avaliar os atributos do solo em áreas com diferentes maneiras de uso em Capitão Poço, no Pará. A pesquisa foi conduzida na Universidade Federal Rural da Amazônia e arredores, utilizando um delineamento experimental em blocos casualizados, nos quais os tratamentos incluíram seis agroecossistemas (floresta nativa, vegetação secundária, capoeira enriquecida, sistema agroflorestal, monocultivo de limão e pastagem),

distribuídos em 4 blocos. As condições do solo foram mais favoráveis nos sistemas de floresta nativa e vegetação secundária, destacando-se pela presença de maiores teores de matéria orgânica e umidade em comparação aos demais sistemas. Por outro lado, a pastagem revelou os resultados mais problemáticos em termos de sustentabilidade, apresentando um solo denso, escassez de matéria orgânica, baixa umidade e acidez mais elevada em relação aos outros tratamentos. O enraizamento não demonstrou relevância estatística devido à superficialidade das trincheiras. O estudo enfatizou que os sistemas agroecológicos com menor interferência humana proporcionam melhores condições de solo, embora seja necessário realizar pesquisas mais aprofundadas utilizando outros parâmetros de avaliação.

PALAVRAS-CHAVE: Solo. Matéria orgânica. Floresta.

EDAPHIC PARAMETERS OF SUSTENABILITY IN DIFFERENT AGROECOSYSTEMS IN THE EASTERN AMAZON

ABSTRACT: Converting areas of natural vegetation into agricultural systems, especially pastures, results in changes to the soil's natural properties. Monitoring and assessing different soil parameters are extremely important for the application and development of conservation techniques. In these soil quality assessments, it is essential to use indicators that are more sensitive to changes in vegetation cover. The aim of this study was to evaluate soil attributes in areas with different types of use in Capitão Poço, Pará. The research was conducted at the Federal Rural University of Amazonia and the surrounding area, using a randomized block experimental design, in which the treatments included six agroecosystems (native forest, secondary vegetation, enriched capoeira, agroforestry system, lemon monoculture and pasture), distributed in 4 blocks. Soil conditions were more favorable in the native forest and secondary vegetation systems, with higher levels of organic matter and moisture compared to the other systems. On the other hand, the pasture revealed the most problematic results in terms of sustainability, with dense soil, a lack of organic matter, low humidity, and higher acidity than the other treatments. Rooting was not statistically significant due to the shallowness of the trenches. The study emphasized that agroecological systems with less human interference provide better soil conditions, although further research is needed using other evaluation parameters.

KEYWORDS: Soil. Organic matter. Forest.

1 | INTRODUÇÃO

A alteração da cobertura vegetal, a intensa utilização de maquinaria agrícola, a aplicação de corretivos, fertilizantes e pesticidas, juntamente com outras práticas de cultivo, desencadeiam ou aceleram as mudanças nas características do solo (SILVA et al., 2018). O monitoramento das propriedades do solo é de suma importância para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável e para a tomada de decisões conservacionistas no planejamento agrícola, especialmente quando se busca um manejo adequado do solo. O manejo inadequado do solo pode ter impactos diretos nas propriedades naturais do solo e, consequentemente, na economia local (MOTA et al., 2017; SANTOS, D. et al., 2018).

A comparação dos atributos do solo entre diferentes agroecossistemas ajuda a identificar variações significativas nos tipos de uso da terra, fortalecendo a busca por conhecimento sobre novos métodos de produção que promovam a sustentabilidade, a gestão dos recursos naturais e a adoção de técnicas conservacionistas (LEÃO; CARVALHO; OLIVEIRA, 2020; FLORENCE et al., 2021).

Dentre os diversos parâmetros que avaliam a qualidade do solo, a matéria orgânica desempenha um papel fundamental na sua estrutura física, uma vez que é composta principalmente por compostos de carbono. Isso pode afetar diretamente a aeração, a infiltração e a atividade biológica do solo (SALES et al., 2018; RALISCH et al., 2017). O conhecimento da umidade do solo é essencial para estudos agrônômicos, hidrológicos, pedológicos e ambientais (BATISTA et al., 2017). A densidade do solo é outro atributo sensível às alterações na cobertura vegetal, especialmente quando ocorre a conversão de áreas de mata nativa em pastagens, afetando a penetração das raízes devido à compactação do solo (SOARES et al., 2018; SANTOS, T. et al., 2018). Além disso, o pH do solo é um parâmetro crucial, uma vez que a maioria dos solos no Brasil é ácida, e a correção do pH pode aumentar a produtividade das culturas (PEREIRA et al., 2020).

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar os atributos do solo em áreas com diferentes práticas de manejo em Capitão Poço, no estado do Pará.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida no município de Capitão Poço, no estado do Pará (conforme ilustrado na Figura 1), localizado entre as coordenadas geográficas 01° 30' e 2° 35' S, 46° 49' e 47° 27' O (PACHECO; BASTOS, 2001). As coletas foram realizadas principalmente nas proximidades do campus da Universidade Federal Rural da Amazônia (conforme mostrado na Figura 1). O clima na região é classificado como Am, de acordo com a classificação de Köppen, com uma precipitação anual de 2250 – 3000 mm (CORDEIRO et al., 2017). O solo local é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico (BRASIL; CRAVO; VIÉGAS, 2020).

Para a pesquisa, foi adotado o delineamento de blocos casualizados, com seis diferentes agroecossistemas distribuídos em 4 blocos. Os agroecossistemas avaliados foram os seguintes: (1) mata nativa; (2) vegetação secundária; (3) capoeira enriquecida; (4) sistema agroflorestal, com oito anos de idade, incluindo paricá, ingazeira, pupunheira, abacaxi e margaridão; (5) monocultivo de limão, com dois anos de idade e espaçamento de 7x3; e (6) pastagem de capim braquiária, com três anos de idade. Os parâmetros de qualidade do solo analisados incluíram matéria orgânica (MO), profundidade das raízes (PR), densidade do solo (DS), umidade do solo (US) e pH do solo a uma profundidade de 0 – 10 cm.

Para determinar a quantidade de matéria orgânica e a profundidade das raízes, foram abertas trincheiras com dimensões de 30x20x40 cm, e uma régua foi usada para

inserindo os eletrodos do potenciômetro, procedendo a leitura das amostras.

Os dados foram tratados no programa estatístico R, se realizou a ANOVA, seguindo para o Teste de Tukey com 5% de probabilidade.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos agroecossistemas analisados, foi evidenciada uma diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) nos parâmetros de matéria orgânica (MO), umidade do solo (US), densidade do solo (DS) e potencial hidrogeniônico (pH), exceto quando se trata da profundidade do sistema radicular, conforme apresentado na Tabela 1.

Tratamento	MO	PR	US	DS	pH
Floresta	36,125a	38,625a	22,6700a	1,3425cd	4,7275ab
Veg. Secund.	29,775ab	39,625a	18,3100b	1,2825d	4,8700a
Capoeira	22,450bc	37,175a	9,8925cd	1,4650ac	4,2650ac
SAF	23,775bc	32,500a	11,1775c	1,4200bcd	4,4100ac
Monocultivo	22,100bc	35,025a	8,9700cd	1,5200ab	3,9775bc
Pastagem	19,225c	34,900a	7,6925d	1,5850a	3,7675c

Tabela 1: Valores médios de matéria orgânica (MO), profundidade de raízes (PR), umidade do solo (US), densidade do solo (DS) e potencial hidrogeniônico (pH) em diferentes agroecossistemas de Capitão Poço-PA.

Fonte: Autores, 2023.

Os valores médios mais elevados de matéria orgânica foram observados nos ambientes de floresta nativa, com uma média de 36,125 cm. Esse padrão se deve ao longo período de acumulação de resíduos vegetais sobre o solo, à presença de uma vegetação densa e à menor intervenção humana nas áreas, o que favorece o acúmulo de matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes. Além disso, o material orgânico em estágios avançados de decomposição apresenta uma alta predominância de cargas negativas e área superficial específica, influenciando vários processos do solo (SILVA et al., 2019). Conforme Mascarenhas et al. (2017), diferentes usos e manejos do solo têm um impacto significativo na matéria orgânica dos agroecossistemas. A pastagem foi o agroecossistema com a menor quantidade de matéria orgânica, o que está de acordo com Melo et al. (2021), que enfatizam que a conversão de vegetação nativa em sistemas agrícolas altera os teores de matéria orgânica, entre outros atributos do solo.

Quanto ao enraizamento dos agroecossistemas, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas. No entanto, é importante destacar que as análises se limitaram a uma profundidade de 40 cm, o que pode ter restringido a avaliação em áreas que naturalmente apresentam sistemas radiculares mais profundos, como a floresta nativa

e a vegetação secundária. De acordo com a pesquisa realizada por Silva et al. (2021), a floresta apresentou maior profundidade e desenvolvimento das raízes, com valores menores encontrados na pastagem. Embora os valores médios de enraizamento tenham sido semelhantes, a floresta e a vegetação secundária apresentaram os maiores valores, enquanto as profundidades de raízes mais rasas foram observadas no sistema agroflorestal (SAF) e na pastagem, com profundidades de 32,5 cm e 34,9 cm, respectivamente.

A maior umidade do solo foi registrada na floresta nativa, com 22,77 kg kg⁻¹, enquanto os outros agroecossistemas apresentaram menor retenção de umidade. Esse padrão se deve à densa e constante cobertura vegetal, que mantém uma umidade mais estável no solo, criando um microclima favorável. Além disso, a serapilheira atua como uma camada retentora e protetora, favorecendo a retenção de água no solo (DANTAS et al., 2017; OLIVEIRA; BRAGA, 2021). Esses resultados são consistentes com a pesquisa de Leão, Carvalho e Oliveira (2020), que também encontraram maiores quantidades de água no solo na floresta nativa em comparação com outros agroecossistemas.

A densidade do solo mais alta foi observada na área de pastagem (T6), com 1,585 g cm³. Isso está relacionado ao pisoteio por parte dos animais e ao uso de maquinário agrícola, como discutido por Deon et al. (2018), que indicaram níveis de compactação semelhantes entre esses fatores. As áreas de floresta nativa e vegetação secundária apresentaram valores mais baixos de densidade do solo, devido à menor intervenção humana. Mascarenhas et al. (2017) também observaram que a área de floresta nativa apresentou uma densidade do solo menor em comparação com outros sistemas avaliados.

Os valores de potencial hidrogeniônico (pH) variaram de 4,8 a 3,7 nas áreas estudadas, confirmando que os solos na região do Pará tendem a ser levemente acidificados ou ácidos, principalmente devido aos teores de alumínio (BRASIL; CRAVO; VIÉGAS, 2020). Isso está de acordo com o estudo de Melo et al. (2019), que encontrou valores de acidez ativa mais próximos do nível aceitável para a maioria das culturas na floresta.

4 | CONCLUSÃO

Os resultados destacam que a floresta nativa exibiu parâmetros de sustentabilidade mais impressionantes em comparação com os outros agroecossistemas. A quantidade de matéria orgânica e a umidade do solo foram as mais elevadas, o pH ficou mais próximo dos níveis aceitáveis para a maioria das culturas, mesmo em uma região paraense predominantemente caracterizada por solos ácidos, e a densidade do solo foi baixa.

Por outro lado, os resultados revelam que a pastagem demonstrou parâmetros de sustentabilidade em declínio quando comparados aos outros agroecossistemas. Os valores de pH, matéria orgânica e umidade do solo foram os mais baixos entre os diversos sistemas avaliados, enfatizando que o solo nesse local apresentou a maior densidade.

REFERENCIAS

BATISTA, P. H. D. et al. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob colheita mecanizada de capim-buffel no Agreste Pernambucano.** Revista Engenharia na Agricultura-REVENG, v. 25, n. 4, p. 307-317, 2017.

BRASIL, E. C.; CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. M. **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará.** Embrapa. Ed. 2, Brasília-DF, 2020.

COMIN, J. J. et al. **Guia prático de avaliação participativa da qualidade do solo em sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH).** Open Brasil Gráfica e Editora, Florianópolis. (Comunicado Técnico), 2016.

CORDEIRO, I. M. C. C. et al. **Nordeste Paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias.** 2017.

DANTAS, M. S. et al. **Diagnóstico da vegetação remanescente de Mata Atlântica e ecossistemas associados em espaços urbanos.** Journal of Environmental Analysis and Progress, p. 87-97, 2017.

DEON, R. C. et al. **Compaction and water infiltration capacity of a cambisol by the traffic of machines and cattle trampling.** Revista Ciência Agrícola, v. 16, n. 1, p. 77-84, 2018.

FLORENCE, E. A. S. et al. **Estoque de Carbono e atributos físicos do solo, sob diferentes usos em pastagens na Amazônia Norte mato-grossense.** Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, v. 4, n. 2, p. 1902-1909, 2021.

LEÃO, B. D. A.; CARVALHO, A. H. O.; OLIVEIRA, F. L. **Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo de agroecossistemas no Território do Caparaó.** Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, v. 63, 2020.

MASCARENHAS, A. R. P. et al. **Atributos físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Occidental.** Pesquisa florestal brasileira, v. 37, n. 89, p. 19-27, 2017.

MATSINHE, D. Z. **Uso de tubo de pvc para determinação da densidade do solo visando o manejo da irrigação.** 2016.

MELO, D. M. A. et al. **ETNOPEDOLOGIA NA QUALIDADE DE SOLOS DE AGROECOSSISTEMAS EM TRANSIÇÃO AGROECOLÓGICA.** Revista Craibeiras de Agroecologia, v. 4, n. 1, p. e7738-e7738, 2019.

MELO, V. S. et al. **Atributos físicos e químicos de solos sob diferentes tipos de uso e manejo no assentamento Abril Vermelho, Amazônia Oriental.** Conjecturas, v. 22, n. 1, p. 79-97, 2022.

MOTA, J. C. A. et al. **Impactos de uso e manejo do solo na variabilidade e qualidade de atributos físicos de Cambissolos.** Revista Agro@mbiente on-line, v. 11, n. 4, p. 277-289, 2017.

OLIVEIRA, V. N.; BRAGA, A. C. R. **Estoque e Capacidade de Retenção Hídrica da Serrapilheira em remanescentes florestais da Mata Atlântica.** Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, v. 4, n. 4, p. 5103-5120, 2021.

PACHECO, N. A.; BASTOS, T. X. **Caracterização climática do município de Capitão Poço-PA**. 2001.

PEREIRA, M. G. et al. **Estimativa da acidez potencial através do método do pH SMP em solos de altitude de Santa Catarina**. Agropecuária Catarinense, v. 33, n. 1, p. 50-55, 2020.

RALISCH, R. et al. **Diagnóstico rápido da estrutura do solo – DRES**. Documentos, 390. Londrina: Embrapa Soja, 2017.

SALES, A. et al. **Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia Legal**. In: Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215. 2018. p. 01-15.

SANTOS, D. P. et al. **Variabilidade Espacial De Atributos Físicos Do Solo Em Vale Aluvial Na Região De Pernambuco**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 12, n. 1, p. 2271, 2018.

SANTOS, T. R. et al. **IMPACTO DA DENSIDADE DO SOLO SOBRE O CRESCIMENTO DE VARIEDADES DE MILHETO**. Multi-Science Journal, v. 1, n. 13, p. 1-4, 2018.

SILVA, R. F. et al. **Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema plantio direto no Cerrado**. Acta Iguazu, v. 7, n. 1, p. 60-74, 2018.

SILVA, F. W. A. et al. **Matéria orgânica e suas inter-relações com os atributos físicos do solo**. Habitats Urbanos e Rurais, p. 255, 2019.

SILVA, J. H. C. S. et al. **Indicadores qualitativos do ambiente edáfico e serviços ecossistêmicos em diferentes sistemas de ocupação da terra**. Nativa, v. 9, n. 5, p. 519-527, 2021.

SOARES, M. D. R. et al. **Variabilidade espacial do estoque de carbono e atributos físicos do solo em terra preta arqueológica sob pastagem**. Revista Ambiente & Água, v. 13, 2018.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 2017.

CALCULATION OF EQUIVALENT DOSE FOR PHOTONS RESULTING FROM SKYSHINE PRODUCTION ACCORDING TO NCRP N°151

Data de submissão: 28/09/2023

Data de aceite: 01/12/2023

Marco Antonio Frota Lima

Laboratório Central Analítica
Department of General Biology, Institute of
Biology
Universidade Federal Fluminense
Outeiro de São João Batista, s/n - Campus
do Valonguinho
Niterói RJ, Brazil
<http://lattes.cnpq.br/8650134043546975>

Alphonse Kelecom

Laboratório de Radiobiologia e
Radiometria Professor Pedro Lopes dos
Santos – LARARA-PLS – Department of
General Biology, Institute of Biology
Universidade Federal Fluminense
Rua Professor Marcos Waldemar de
Freitas Reis, s/n, Campus do Gragoatá,
Bloco M,
Niterói RJ – Brazil
<http://lattes.cnpq.br/6571492090892651>

ABSTRACT: Some radiation facilities are designed with little shielding in the ceiling above the accelerator. A problem may then arise as a result of the radiation scattered by the atmosphere to points at ground level outside the treatment room. Stray radiation of this type is referred to as skyshine, and the National Council on Radiation Protection

and Measurements Report No. 151 (NCRP, 2005) gives methods for the calculation of the skyshine for accelerator facilities. McGinley (1993) has compared skyshine measurements made at an 18 MeV medical accelerator facility with values calculated using the techniques presented in the NCRP Report No.151. Measurements were made of the photon levels outside a treatment room housing a Varian 2100C equipment. The roof above the accelerator was designed for weather protection only and offered little shielding for the primary beam and scattered radiation. The distance from the treatment room floor to the roof was 4.27 m, and the primary walls were constructed of concrete 2.0 m thick. The secondary walls were made of concrete 0.99 m thick. The results for the photon skyshine dose rate, as a function of distance from the isocenter using Monte Carlo code, are compared with those in McGinley (1993) and measures obtained. The photon skyshine dose rates simulated for real clinic spectra transmitted through roof range from 4.7 to 14.6 nSv.s⁻¹ and differ from the values obtained using the empirical formula proposed by NCRP N° 151.

KEYWORDS: Skyshine, Radiotherapy, Photons, Accelerator, Equivalent Dose.

CÁLCULO DA DOSE EQUIVALENTE PARA FÓTONS RESULTANTES DA PRODUÇÃO DE SKYSHINE DE ACORDO COM A NCRP Nº151

RESUMO: Algumas instalações de radiação são projetadas com pouca blindagem no teto acima do acelerador. Pode então surgir um problema como resultado da radiação espalhada pela atmosfera para pontos ao nível do solo fora da sala de tratamento. A radiação espúria deste tipo é referida como skyshine, e o documento nº 151 do Conselho Nacional de Proteção e Medições das Radiações (NCRP, 2005) fornece métodos para o cálculo do skyshine em instalações de aceleradores. McGinley (1993) comparou medições de skyshine feitas em uma instalação de acelerador médico de 18 MeV com valores calculados usando as técnicas apresentadas no documento NCRP No.151. Foram feitas medições dos níveis de fótons fora de uma sala de tratamento que abrigava um equipamento Varian 2100C. O teto acima do acelerador foi projetado apenas para proteção contra intempéries e oferecia pouca blindagem para o feixe primário e a radiação espalhada. A distância do piso da sala de tratamento até a cobertura foi de 4,27 m, e as paredes primárias foram construídas em concreto com 2,0 m de espessura. As paredes secundárias foram fabricadas em concreto com 0,99 m de espessura. Nossos resultados para a taxa de dose do skyshine de fóton em função da distância do isocentro usando o código de Monte Carlo são comparados com as medidas de McGinley (1993). As taxas de dose de fótons skyshine simuladas para espectros clínicos reais transmitidos através do telhado variam de 4,7 a 14,6 nSv.s⁻¹ e diferem dos valores obtidos pela fórmula empírica da NCRP Nº 151.

PALAVRAS-CHAVE: Skyshine, Radioterapia, Fótons, Acelerador, Dose Equivalente.

1 | INTRODUCTION

Short time after the discovery of ionizing radiations, in the end of the XIXth century, it became clear that such radiations to which human's senses were completely blind could be characterized as double-edged swords, being able to heal illnesses but also to cause harm. Men took advantage of this paradox using the capacity of killing cells in radiotherapy.

Prodigious equipment technological developments allowed to overcome previous medical limits making radiation available for an increasing number of applications. Equipment's able to deliver high energy beams became common in medical practices. Leaking radiations and other technical problems appeared, inclusive in hospital facilities. For example, in some radiotherapy facilities, where there is no occupancy on the top floor, the roof above the therapeutic accelerator is usually designed with little shielding.

The problem arises from the presence of scattered radiation into the atmosphere, known as skyshine. This scattered radiation can reach occupied areas on the ground floor outside the room, or any other adjacent buildings, and even interfere with medical equipment on the hospital premises. Clearly radioprotection must be a major concern.

National Council on Radiation Protection (NCRP) recommendation N°151 (NCRP, 2005) provides us with an empirical equation to calculate the equivalent dose for photons resulting from the production of skyshine. However, the results obtained by this formula are

significantly different from those obtained through experimental measurements.

This work presents dose values calculated by the NCRP's formula and the values obtained experimentally. It also performs the calculation of the equivalent dose for photons resulting from the production of skyshine through simulation using the code, MCNPX (Monte Carlo Team, 2003). Hence, the purpose of this work was to compare simulated values and the results calculated using the empirical formula with experimental results found in the literature (McGinley, 1993).

2 | METHODOLOGY

In the present work, photon beams outside a radiotherapy room that houses a Varian 2100C accelerator, which produces an 18 MV X-ray beam, were studied. The roof above the accelerator was designed with the absence of concrete; the distance from the floor of the room to the roof (D1) was 4.27 m and from the floor to the source (D2) was 2.0 m. The secondary barriers (P4, P5, P6 and P7) were simulated with a thickness of 0.99 m of concrete (see Figure 1).

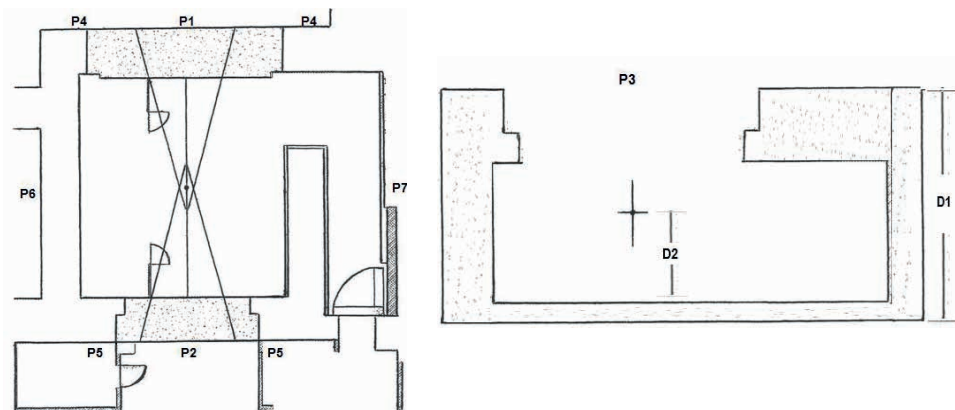


Figure 1: On the left: drawing of the bunker and identification of the points related to the primary barriers P1 and P2 and the secondary barriers P4, P5, P6 and P7. On the right: vertical section of the installation and identification of the adopted dimensions and without the upper barrier P3 (NCRP, 2005), following Rodrigues & Poli (2012).

To calculate the dose rate (nSv.s^{-1}) at the isocenter of the room, the F5 record (Spot detector or Spot flow) was used for the photon beam and normalized by the conversion coefficients of ICRP (1996, 2010). To perform this simulation, the MCNP code, version X (Monte Carlo Team, 2003), based on the Monte Carlo method was used. MCNP is a general-purpose code that simulates the transport of particles such as neutrons, electrons, photons, individually or together (coupled). The so-called Monte Carlo method is the name given to the mechanism responsible for generating random values, used in the stochastic processes of simulation models. The method can be used to simulate the transport of

photons through media such as: air, equivalent tissue, and concrete (a commonly shielding used in radiotherapy treatment facilities), to obtain the transmitted spectra of photon fluence on the surface of a mathematical simulator of the human body (phantom). The equation below calculates the dose rate values obtained through the empirical formula, provided by NCRP No. 151 (NCRP, 2005)

$$D = 0,249 \times 10^6 B_{xs} (D_i O \Omega^{1.3}) / (d_i d_s)^2 \quad (1)$$

D: equivalent dose rate due to photons

ds: distance (m) from the isocenter to the measured point of D

di: distance (m) from the x-ray target to a point 2 m above the ceiling

$D_i O$: dose rate at 1 m from the x-ray target

Ω : solid angle of X-ray beam

B_{xs} : transmission rate at ceiling

3 | RESULTS AND DISCUSSION

The experimentally measured values increase as they move away from the isocenter, reaching a maximum value at 13.6 m and then decreasing again. For the values calculated by the empirical equation of NCRP N°151 (NCRP, 2005), the values calculated for the dose rate due to photons continuously decrease with increasing distance from the isocenter. The values calculated by the Monte Carlo method are in good agreement with the values measured experimentally, about 10%; on the other hand, the values calculated by empirical equation differ about 40% from the values obtained in this work.

The measured results for skyshine due to photons are lower than the values calculated using the NCRP N°151 method for points near the wall barrier. At a distance of 10.6 m from the isocenter, the measured levels are greater than the values calculated by NCRP N°151 (see Fig. 2). This work suggests corrections to the empirical equation recommended by NCRP N° 151.

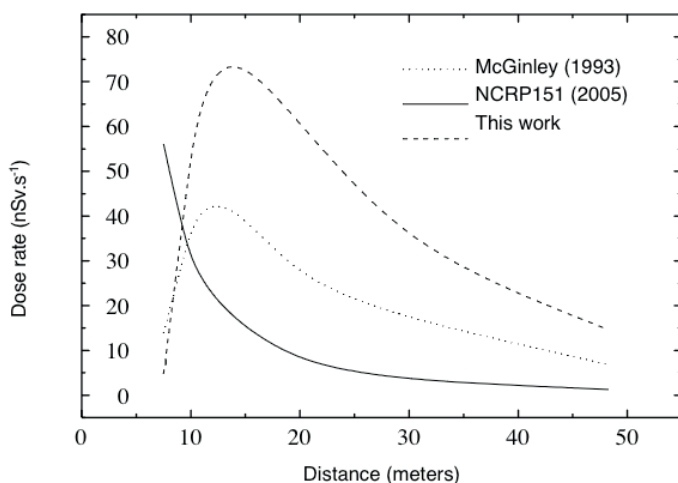


Figure 2: Equivalent dose rate due to photons at a distance d_s from the target.

4 | CONCLUSIONS

When comparing the results, it was possible to observe a large discrepancy between the values obtained through the empirical equation and the other values, both experimental and simulated. Thus, it was possible to observe that the dose rate for photons obtained by the empirical formula is not only in disagreement with the experimental measurements, but also with the values obtained by the MCNP code. Therefore, this work concludes that the empirical equation recommended by NCRP 151 is unreliable and suggests corrections in this equation.

REFERENCES

ICRP. **Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation.** Oxford: Pergamon Press; ICRP Publication 74, Part 1; Ann ICRP 26(3-4), 1996.

ICRP. **Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures.** Annals of the ICRP, Publication 40, n. 2–5, p. 1–257, 2010.

McGinley PH, Ghavidel S., Landry JC. **Um estudo dos níveis de dose de fotonêutrons produzidos pelo acelerador médico Philips SL.** *Radiat Prot Gerenciar*, 10 :45–50. 1993.

NCRP Report No. 151. **Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities**, National Council on Radiation Protection and Measurements. 2005.

Rodrigues, MJP; Poli, MER. **Shielding Evaluation for a Radiotherapy Bunker by NCRP 151 and Portuguese Regulation on Radiation Safety.** IRPA13 – 13th International Congress of the International Radiation Protection Association, 13-18 May, Glasgow, Scotland, 2012.

X-5 Monte Carlo Team, 2003. MCNP – ***A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5***, Volume I: Overview and Theory, LA-UR-03-1987. Los Alamos National Laboratory, USA.

CONCEITOS, PRINCÍPIOS E PRÁTICAS PARA RESTAURAÇÃO DE MANGUEZAIS A PARTIR DE ECOSSISTEMAS RECUPERADOS

Data de aceite: 01/12/2023

Flávia Rebelo Mochel

Universidade Federal do Maranhão-
UFMA, Depto. Oceanografia e Limnologia-
DEOLI, Av. dos Portugueses, 1966,
Maranhão, Brasil.
Laboratório de Manguezais e Centro de
Recuperação de Manguezais - LAMA/
CERMANGUE
ORCID 0000-0001-5911-3171

Denilson da Silva Bezerra

Universidade Federal do Maranhão-
UFMA, Depto. Oceanografia e Limnologia-
DEOLI, Av. dos Portugueses, 1966,
Maranhão, Brasil
Laboratório de Manguezais e Centro de
Recuperação de Manguezais - LAMA/
CERMANGUE
ORCID 0000-0002-9567-7828

Ilisandra Zanandrea

Universidade Federal do Maranhão-
UFMA, Depto. De Biologia- DEBIO, Av.
dos Portugueses, 1966, Maranhão, Brasil.
ORCID 0000-0002-9443-9078

Josélia Castro da Silva Martins

Universidade Federal do Maranhão-UFMA
Laboratório de Manguezais e Centro de
Recuperação de Manguezais - LAMA/
CERMANGUE
Depto. Oceanografia e Limnologia-

DEOLI, Av. dos Portugueses, 1966,
Maranhão, Brasil
ORCID 0000-0001-5247-4708

RESUMO: A ONU declarou a Década da Restauração Ecológica dos Ecossistemas para o período de 2020-2030 (ONU, 2019). Utiliza-se os conceitos que estabelecem o termo restauração para o processo que busca ajudar o restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído e o termo recuperação para se referir ao resultado após o sucesso da restauração. No contexto de degradação e perda das áreas de manguezais no Brasil (e no mundo), a recuperação desse ecossistema vem se configurando como uma das principais práticas que podem trazer resultados eficientes para o desenvolvimento sustentável da zona costeira. Para alcançar sucesso, a restauração ecológica deve ser efetiva, eficiente e participativa (KEENLEYSIDE et al. 2012), ou seja, conserva as características do ecossistema, maximiza benefícios, reduz perdas, custos, e promove a cooperação e entre diferentes segmentos sociais, públicos, privados e comunitários. Dessa maneira, percebe-se a

necessidade de desenvolver metodologias e estratégias para a recuperação dos importantes ecossistemas de manguezais além da divulgação das informações científicas e integração do conhecimento gerado para a realidade da educação. A partir do sucesso na recuperação de manguezais abrangendo locais como na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, três diferentes áreas no Golfão Maranhense, inclusive uma metodologia de restauração comunitária de manguezais, apresenta-se um conjunto de abordagens práticas, princípios e conceitos, que, ao mesmo tempo, seguem as diretrizes internacionais mais atuais para a restauração ecológica de ecossistemas.

PALAVRAS-CHAVE: Recuperação de Ecossistemas; Manguezais; Metodologia

PRINCIPLES, CONCEPTS AND PRACTICES FOR MANGROVE RESTORATION FROM RECOVERED ECOSYSTEMS

ABSTRACT: The UN has declared the Decade on Ecological Restoration of Ecosystems for the period 2020-2030 (UN, 2019). The concepts that establish the term restoration are used for the process that seeks to help the reestablishment of an ecosystem that has been degraded, damaged or destroyed and the term recovery to refer to the result after the success of the restoration. In the context of degradation and loss of mangrove areas in Brazil (and in the world), the recovery of this ecosystem has been configured as one of the main practices that can bring efficient results for the sustainable development of the coastal zone. To achieve success, ecological restoration must be effective, efficient and participatory (KEENLEYSIDE et al. 2012), that is, it conserves the characteristics of the ecosystem, maximizes benefits, reduces losses, costs, and promotes cooperation between different social, public, private and community segments. Thus, there is a need to develop methodologies and strategies for the recovery of important mangrove ecosystems, in addition to the dissemination of scientific information and integration of the knowledge generated for the reality of education. Based on the success in the recovery of mangroves covering places such as Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, three different areas in the Maranhão Gulf, including a methodology for community restoration of mangroves, a set of practical approaches, principles and concepts is presented, which, at the same time, follow the most current international guidelines for the ecological restoration of ecosystems.

KEYWORDS Ecosystem Restoration; Mangrove; Guidelines; Ecological Restoration

1 | INTRODUÇÃO

A ONU declarou a Década da Restauração Ecológica dos Ecossistemas para o período de 2020-2030 (ONU, 2019), assim como a Década da Ciência e a Década dos Oceanos, de modo a apoiar os esforços para impedir, prevenir ou reverter os danos provocados pela degradação dos ecossistemas em todo o mundo, bem como aumentar a conscientização da importância da restauração dos ecossistemas (ONU, 2020). Para alcançar a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2020) ações imediatas e abordagens multidisciplinares devem ser implementadas para enfrentar as graves mudanças e perdas nos serviços ecossistêmicos marinhos (UN, 2017), com reflexos diretos nas atividades

socioeconômicas culturais e na saúde pública (PNUMA, 2004; FLEMING & LAWS, 2006)

A crescente degradação do meio ambiente, a redução da qualidade de vida e a dependência das economias locais da exploração de ecossistemas naturais tem esbarrado na deficiência de mecanismos de gerenciamento sustentável dos recursos naturais (MOBERG et al., 2003). Principalmente em áreas costeiras, onde a complexidade da interface entre os fatores continentais e marinhos se interpõe, torna-se evidente a necessidade da multidisciplinaridade como desafio para o conhecimento, o manejo e a gestão.

Em 2021, a ONU, em conjunto com outros parceiros internacionais, como a Society for Ecological Restoration (SER), entre outros, estabeleceu 10 princípios para a Restauração Ecológica de Ecossistemas (FAO et al, 2021) (1): que ela contribua para os alcançar os ODS e da Convenção do Rio; (2) que promova a governança inclusiva, participativa e a equidade durante o processo e seus resultados; (3) que seja contínua; (4); que alcance alto nível de integridade ecossistêmica e da biodiversidade; (5) que identifique as causas da degradação; (6) que promova todos os tipos de conhecimentos, seus intercâmbios e integração; (7) que seja adequada ao contexto local ecológico, socioeconômico e cultural; (9) que inclua monitoramento, avaliação e manejo adaptativo; (10) e seja reforçada por políticas e medidas que promovam seu progresso e sua continuidade.

Manguezais são ecossistemas florestais que no Brasil cobrem uma área aproximada de 13.000 km², sendo sua área contínua mais extensa localizada na Amazônia Costeira formada pelos estados do Maranhão, Pará e Amapá, representando 30% do total do país. Sob o regime de macro marés, a costa do Maranhão possui cerca de 50% do total da área do litoral amazônico e apresenta a maior biodiversidade de espécies do país (MOCHEL, 2002; KJERFVE et al., 2002; MOCHEL et al., 2007). Estudos sobre as perdas de manguezais para a conversão em áreas urbanas, portuárias e industriais em São Luís, revelam que os manguezais sofreram uma redução em cerca de 11.000 ha de 1972 à 2004 (MOCHEL, 1997; Mochel & Alcântara, 2004). No contexto de degradação e perda das áreas de manguezais no Brasil (e no mundo), a recuperação desse ecossistema vem se configurando como uma das principais práticas que podem trazer resultados eficientes para o desenvolvimento sustentável da zona costeira.

A partir do sucesso na recuperação de manguezais abrangendo locais como na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, três diferentes áreas no Golfão Maranhense, inclusive uma metodologia de restauração comunitária de manguezais, apresenta-se um conjunto de abordagens práticas, princípios e conceitos, que, ao mesmo tempo, seguem as diretrizes internacionais mais atuais para a restauração ecológica de ecossistemas.

2 | ASPECTOS CONCEITUAIS: RESTAURAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE MANGUEZAIS

Utiliza-se os conceitos redefinidos por Gann et al (2019) e por SER International Science & Policy Working Group, (2020; 2004), que estabelecem o termo restauração para o processo que busca ajudar o restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído e o termo recuperação para se referir ao resultado após o sucesso da restauração.

No Brasil, alguns autores descreveram o termo recuperação abrangendo duas categorias: a restauração e a reabilitação (CAIRNS, 1988; VIANA, 1990). Por restauração entende-se uma série de tratamentos que buscam recuperar a forma original do ecossistema, isto é, sua estrutura original, dinâmica e interações biológicas, anteriores a intervenção. O termo reabilitação é empregado a uma série de tratamentos que buscam a recuperação de uma ou mais funções do ecossistema. Essas funções podem ser ambientais, sociais e/ou econômicas.

Para alcançar sucesso, a restauração ecológica deve ser efetiva, eficiente e participativa (KEENLEYSIDE et al. 2012), ou seja, conserva as características do ecossistema, maximiza benefícios, reduz perdas, custos, e promove a cooperação e entre diferentes segmentos sociais, públicos, privados e comunitários. Dessa maneira, percebe-se a necessidade de desenvolver metodologias e estratégias para a recuperação desses importantes ecossistemas, além da divulgação das informações científicas e integração do conhecimento gerado para a realidade da educação.

A Restauração comunitária envolve, obrigatoriamente, a participação da comunidade que vive na área próxima ao manguezal degradado. A comunidade pode ser urbana, rural, tradicional, de pescadores, indígena, de qualquer grupo. O importante é o princípio participativo que permeia todo o processo de restauração, desde a seleção das áreas a serem restauradas, a produção de mudas e seu monitoramento até a plena recuperação do manguezal (MOCHEL, CERMANGUE, 2011).

3 | IMPORTÂNCIA GLOBAL DOS MANGUEZAIS PARA A ZONA COSTEIRA

A presença dos manguezais promove uma variedade de bens e serviços ecossistêmicos tanto para as populações urbanas, comunidades, como para os empreendimentos situados em seu entorno (MILLENIUM, 2005). Esses serviços ecossistêmicos estão alinhados com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pelas Nações Unidas em 2015 no documento conhecido como Agenda 2030

Entre os serviços ecossistêmicos relevantes fornecidos pelos manguezais podemos destacar:

- **REGULAÇÃO:** atenuação das energias potencialmente destrutivas dos ventos e das marés mais intensas. Os efeitos intensos desses fatores, sob determina-

das condições climáticas, se manifestam na erosão dos sedimentos, queda de árvores, danos à estruturas, etc. A presença de manguezais bem desenvolvidos desacelera a velocidade com que esses eventos atingem a costa promovendo certa proteção das estruturas que se desenvolvem entre o continente e a zona costeira.

- os manguezais contribuem para o equilíbrio da dinâmica deposicional por serem ecossistemas que se desenvolvem em ambientes sedimentares e, a partir de seu estabelecimento, influenciam a deposição dos sedimentos. A formação dos manguezais contribui com a retenção mais eficiente das partículas finas (siltes e argilas) no entremeado de seus sistemas radiculares (raízes) e seu desmatamento aumenta a intensidade do assoreamento, e, portanto, a necessidade de dragagem nas áreas portuárias.
 - os manguezais auxiliam no controle de enchentes, a retenção das partículas finas (siltes e argilas) promove a formação de um substrato mole, lamoso, que absorve o excesso de águas das marés, dos rios e das chuvas. A impermeabilização do sedimento do manguezal, pelo desmatamento e/ou a conversão de áreas em aterros, provoca o ressecamento e endurecimento do substrato, diminuindo a eficiência da absorção das águas e permitindo que seu excesso escoe superficialmente para os ambientes naturais e construídos;
 - os manguezais aportam benefícios climáticos, tanto na amenização do microclima local, nas altas e baixas temperaturas do ar, promoção do sombreamento natural, entre outros, como em questões ligadas às mudanças globais, participando do seqüestro de carbono na zona costeira. A degradação dos manguezais além de liberar carbono para atmosfera pode causar um maior desconforto para as comunidades biológicas e humanas que habitam suas áreas;
 - **PROVISÃO** para as comunidades humanas, os manguezais conferem uma ampla variedade de benefícios socio-econômico locais e regionais, destacando-se a pesca e o extrativismo, em especial de peixes, ostras, camarões, mariscos, mel, corantes, e substâncias com propriedades medicinais;
 - **SUPORTE** são muito relevantes os benefícios ecológicos aportados pelas áreas de manguezal, destacando-se a manutenção da alta produtividade da zona costeira, a contribuição para a biodiversidade, seu funcionamento como criadouro natural, abrigo, refúgio e área de reprodução para uma grande quantidade de espécies.
 - **CULTURAL** usos recreativos, turísticos, criativos como receitas culinárias, tradições, lendas finalidades religiosas e espirituais
- 4- Danos e Processos Decorrentes da Degradação de Manguezais**

3.1 Fragmentação de Habitats

A fragmentação de habitats ocorre quando há divisão ou diminuição de um ecossistema em duas ou mais áreas. Por exemplo, quando uma floresta é cortada por uma

estrada e se divide em duas porções menores (PÉRICO, et. al., 2005). Alguns dos efeitos resultantes da fragmentação do ecossistema florestal do manguezal da área submetida são:

(i)- Descontinuidade do dossel (ruptura da cobertura formada pela copa das árvores); (ii) Redução da área total do habitat; (iii) Quebra de uma população única, grande, em subpopulações menores; (iv) Aumento da vulnerabilidade durante a dispersão entre os dois fragmentos (exposição a predadores, a condições adversas do meio, a falta de alimentos ou nutrientes, etc); (v) Alterações nas populações (ou por obstáculos físicos, ou por seleção das espécies que se beneficiam das condições vigentes na borda do fragmento (ver efeito de borda), dificultando a migração das espécies entre fragmentos

3.2 Efeitos de Borda:

Efeito de borda é um termo geralmente usado como sendo o limite entre habitats naturais e ambientes impactados ou antropizados. Os efeitos de borda são particularmente pronunciados em pequenos fragmentos de habitats. Efeito de borda, portanto, causa a alteração nos diversos parâmetros como umidade, temperatura, insolação, ventos, entre outros parâmetros, verificado na fronteira entre uma área degradada e o terreno limítrofe entre ela e o ecossistema natural (BETTONI et. al., 2007; NASCIMENTO et al., 2006; CARVALHO, 1998)

Efeitos de borda comumente observados em áreas de manguezais degradado são: Figura 1:

(i) introdução de sedimentos provenientes de terraplenagem com alterações na composição, textura e microtopografia junto a borda; (ii) queda de árvores íntegras causada pelo impacto das árvores derrubadas na área de supressão (“efeito dominó”); (iii) queda de árvores íntegras causada pela exposição aos ventos, na área exposta pela corte de árvores na área de supressão; (iv) obstáculos à dispersão dos propágulos pelas marés e ao estabelecimento de plântulas, formados pelos troncos e galhos caídos e deixados no local da degradação; (v) alterações nos padrões de incidência da luz: aumento da luminosidade na borda, favorecendo as espécies oportunistas; (vi) alteração nos padrões de umidade; (vii) aumento da densidade de plantas (propágulos e plântulas do manguezal, macrófitas) que se beneficiam das condições vigentes na borda (“espécies oportunistas”); (viii) alteração e seleção das populações de espécies vegetais do manguezal que se beneficiam das condições vigentes na borda, como alta incidência luminosa, sedimentos mistos de areia e lama e áreas menos úmidas, entre outras; (ix) algumas outras alterações locais: como o padrão de circulação, a frequência de inundação das marés e o padrão de salinidade nos sedimentos.

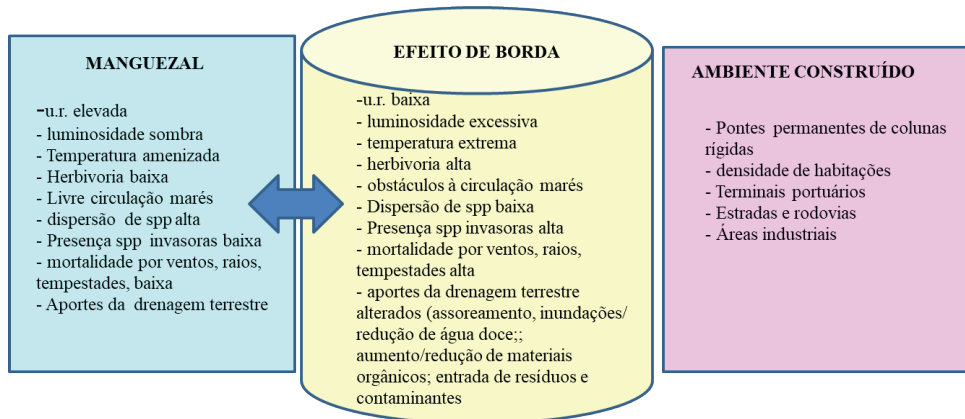


Figura 1: Efeito de Borda e a relação entre o ecossistema manguezal e uma área de ambiente construído. Fonte: os autores.

4 | PRINCÍPIOS BÁSICOS PARA RESTAURAÇÃO DE MANGUEZAIS

Pode-se delinear quatro esferas básicas requeridas para que a restauração seja efetiva e eficaz, em geral:

- o conhecimento científico;- o manejo interdisciplinar; - a abordagem participativa;- a contribuição institucional.

Dentro dessas esferas estabelecemos um conjunto de alguns princípios, métodos e técnicas. Estes vem se mostrando bem sucedidos por serem flexíveis, permitindo ajustes a partir do conhecimento do ecossistema e da biologia e ecologia das plantas de mangue e, em segundo, porque

• o conhecimento científico;

Alguns princípios básicos norteiam as ações de recuperação e devem ser adequados para cada tipo de bosque, área geográfica e comunidade de espécies. As bases para a recuperação e seus métodos podem ser encontradas em diversos documentos (FAO, 1982, 1994; ROLLET,1981).

- conhecimento da estrutura e função de cada espécie individualmente
- conhecimento da ecologia da comunidade (sinecologia), ou seja, como as espécies interagem entre si, com outras e com o seu ambiente, com especial atenção aos padrões reprodutivos, distribuição de propágulos e estabelecimento de plântulas;
- conhecimento dos padrões hidrológicos vigentes que controlam a distribuição, o estabelecimento e o crescimento das espécies de manguezal;
- avaliação prévia das modificações que impedem a sucessão secundária natural;

- seleção de um local apropriado que seja tanto tecnicamente passível de restaurar um manguezal saudável, quanto leve em consideração seu manejo e a conservação em longo prazo;

• o manejo interdisciplinar

- Delineamento de um programa de recuperação que, além de incorporar os itens anteriores, restaure ou mantenha os fluxos hidrológicos e aproveite o recrutamento natural de propágulos para o estabelecimento das plântulas;
- Utilização de plantio, coleta de propágulos ou cultivo de mudas em viveiros, somente após a consideração dos itens anteriores, quando a recuperação natural não se fizer efetiva no estabelecimento natural de plântulas, no crescimento de propágulos já estabelecidos, ou nos aspectos quantitativos (densidade, etc.), como se apresenta no modelo conceitual da Figura2.

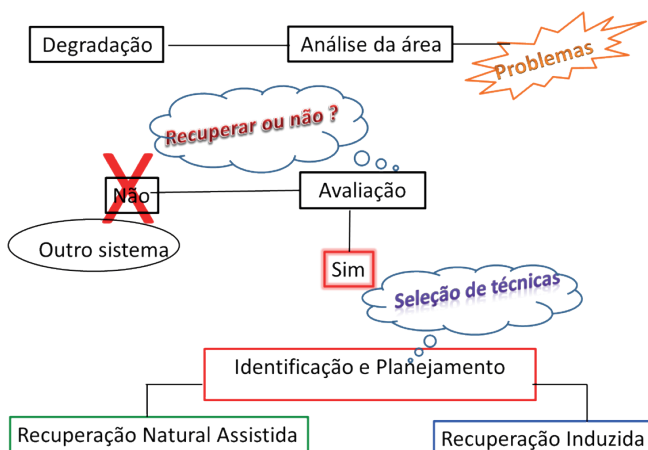


Figura 2. Modelo conceitual para restauração natural e restauração induzida, de acordo com Mochel e Fonseca, 2019. Fonte: Mochel e Fonseca , 2019

• a abordagem participativa

O envolvimento das comunidades, gestores públicos e privados no processo de restauração de áreas de manguezal é fundamental para a manutenção de áreas restauradas

• a contribuição institucional:

Universidades, institutos de pesquisa, setores governamentais de meio ambiente, de infraestrutura, trazem importantes aportes de conhecimentos, formação de parcerias para realização de análises em laboratório, além de históricos da região em situação anterior à degradação

Os princípios que norteiam os trabalhos, estudos e atividades de restauração na área do manguezal baseiam-se na premissa de que as ações mais adequadas devem atender as questões ambientais, sociais, legais, técnicas e operacionais. Portanto, devem permitir que um Plano de Restauração de Manguezais Degradados, PRAD, busque:

1. Restaurar o ecossistema nativo com segurança geoambiental (com estudos hidrodinâmicos)
2. Garantir estabilidade das estruturas e segurança das pessoas envolvidas
3. Minimizar riscos de execução/ garantir monitoramento futuro
5. Ser aprovada junto aos órgãos ambientais e de controle social

5 | FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS E PRÁTICAS DE RESTAURAÇÃO DE MANGUEZAIS

5.1 Critérios de seleção, preparação da área e setorização da área

Em áreas de manguezal, são considerados os seguintes fatores relacionados à seleção de áreas e preparação de terrenos:

(i) estabilidade do local; (ii) caracterização dos sedimentos; (iii) salinidade do substrato; (iv) inundação pelas marés; (v) disponibilidade de água doce (chuvas e drenagem superficial); (vi) insolação (incidência de luz); (vii) exposição ao vento; (viii) presença de predadores naturais (herbívoros); (ix) disponibilidade (fontes) de propágulos e plantas; (x) locais onde já esteja ocorrendo o estabelecimento natural de propágulos e plantas (recuperação natural); (x) umidade relativa do ar.

Também é necessária a Setorização da área, que deve conter os seguintes itens:

(ii) coordenadas GPS; tamanho da área (ha); declividade média; vegetação predominante; fase sucessional.

As técnicas de preparação da área incluem desde a remoção de materiais que possam oferecer obstáculos físicos à recuperação, como material lenhoso e resíduos sólidos dispersos na área, até a necessidade de se corrigir parâmetros físico-químicos do substrato. Entre os parâmetros que podem necessitar correção estão a mistura do sedimento (proporção areia, silte e argila), a salinidade, o teor de nutrientes (matéria orgânica e minerais), o pH, entre outros.

5.2 Etapa de Implantação

Em áreas de manguezal, são considerados os seguintes fatores relacionados a (i) estabilidade do local, (ii) caracterização dos sedimentos, (iii) salinidade do substrato, (iv) inundação pelas marés, (v) disponibilidade de água doce (chuvas e drenagem superficial), (vi) insolação (incidência de luz), (vii) exposição ao vento, (viii) presença de predadores

naturais (insetos e crustáceos – herbívoros “pragas”), (ix) disponibilidade (fontes) de propágulos e plantas, (x) locais onde já esteja ocorrendo o estabelecimento natural de propágulos e plantas (recuperação natural), (xi) umidade.

As técnicas de preparação da área incluem primeiramente a remoção de materiais que possam oferecer obstáculos físicos a recuperação, como material lenhoso e resíduos sólidos dispersos na área, até a necessidade de se corrigir parâmetros físico-químicos do substrato. Entre os parâmetros que podem necessitar correção estão a mistura do sedimento (proporção areia, silte e argila), a salinidade, o teor de nutrientes (matéria orgânica e minerais), o pH, entre outros.

As práticas de recuperação de manguezais envolvem dois métodos básicos: a recuperação natural e a recuperação artificial. (Clough et alli, 1997, Mochel 2019). A recuperação natural considera o estabelecimento de propágulos e plântulas a partir da distribuição espontânea desses elementos no ecossistema, que colonizam as áreas abertas, de forma natural. A recuperação induzida exige procedimentos induzidos por ações humanas, para o estabelecimento de propágulos e plântulas, nas áreas onde a recuperação natural não é eficiente. Entre os procedimentos possíveis estão o plantio direto, o plantio a partir de técnicas de viveiro e o transplante de plântulas.

A obtenção de propágulos e plântulas deve ser considerada quanto aos seguintes aspectos:

(i) a disponibilidade de doadores (plantas-matrizes);(ii) a distância dos doadores até os sítios de recuperação, (maiores distâncias podem aumentar a inviabilidade dos propágulos) (iii) a maturidade dos exemplares; (iv)o desenvolvimento estrutural das árvores adultas; a compatibilidade ecológica dos bosques (bosques mais distantes dos sítios de recuperação podem apresentar maiores diferenças nos fatores ecológicos daqueles requisitados nos sítios de recuperação; (v) a possibilidade de coleta de exemplares portadores de patógenos e de ovos e larvas de predadores herbívoros.

A limpeza da área é importante para liberar o sedimento dos obstáculos que impedem a livre distribuição dos propágulos e aumentam a mortalidade pelo adensamento, além de ocupar áreas que poderiam estar disponíveis para a recomposição do ambiente. Além da retirada do material lenhoso, são removidos os detritos e resíduos sólidos deixados pela população das obras, pelos residentes e os deixados pelas marés, que também dificultam os sítios de recuperação. O material lenhoso constituído por troncos e galhos sobre o sedimento, na área adjacente às áreas degradadas e, provenientes tanto dos procedimentos de corte da vegetação do manguezal quanto da queda de árvores, “*a posteriori*”, decorrentes da ação dos ventos, é desdobrado, empilhado e removido do local, transferido para um pátio de estocagem e posteriormente levado à disposição final, que é o retorno às demais áreas de manguezais, como matéria orgânica para a cadeia alimentar

A operação de remoção é feita por uma equipe treinada que recolhe galhos e troncos. Se e quando necessário, o material lenhoso de maior porte e mais pesado deve ser picotado

ou seccionado. Para remoção, o material lenhoso é transportado por caminhões para a transferência até um pátio de estocagem previamente selecionado e licenciado, dentro da área de trabalho. Nesse pátio, os troncos serão ainda desbastados e os galhos e gravetos retirados serão ensacados, enquanto os troncos serão depositados em feixes. Além da limpeza do material lenhoso, serão retirados os detritos e resíduos sólidos deixados pelas marés, que também dificultam os sítios de recuperação.

Para mitigação e recuperação dos danos causados pela fragmentação de habitats e pelos efeitos de borda serão realizados estudos prévios (fase de diagnose) para caracterização dos sedimentos, da salinidade do substrato, da inundação pelas marés, disponibilidade de água doce (chuvas e drenagem superficial), insolação (incidência de luz), exposição ao vento, presença de predadores naturais (herbívoros), disponibilidade (fontes) de propágulos e plantas; locais onde já esteja ocorrendo o estabelecimento natural de propágulos e plantas (recuperação natural).

Enfatiza-se que a estratégia de recuperação principal deve ser, prioritariamente, a de otimizar o esforço do ecossistema para a recuperação natural. Deste modo, na recuperação natural, pretende-se acompanhar a recolonização (recrutamento) natural da área, que já se observa em curso, verificando-se a composição específica das plântulas que estão se estabelecendo, sua densidade, seu tamanho

Quando necessário o plantio, os propágulos e plântulas devem ser obtidos das árvores adultas encontradas nas proximidades do local de recuperação. A obtenção desses elementos levará em conta o grau de maturidade dos exemplares, sendo coletados exemplares maduros, que possam ser plantados diretamente, bem como o desenvolvimento estrutural dos exemplares na sua fase de plântula. .

Os procedimentos de plantio seguirão os métodos descritos em diversos autores (FIELD et alii, 1997; Lewis, 2003), sendo os propágulos e plântulas colocados em covas entre 15 a 30 cm de profundidade e espaçamento entre 1,0 e 1,5 m, dependendo da espécie a ser plantada e de seu desenvolvimento estrutural. A distância dos doadores de propágulos (“plantas-mães”) até os sítios de recuperação será de no máximo 1km, uma vez que quanto maior a distância, maior a possibilidade de inviabilidade do desenvolvimento dos propágulos. Os exemplares doentes, portadores de patogenias e deformidades, serão descartados.

5.3 Etapa de Monitoramento e Manutenção

Após a etapa de implantação, são conduzidas operações que visem proporcionar as condições adequadas ao desenvolvimento das mudas estabelecidas naturalmente ou plantadas após produção em viveiro.

A recuperação tanto natural quanto induzida, deve ser acompanhada mensalmente, quanto aos seguintes parâmetros:

(i) identificar perdas das espécies vegetais plantadas: mortalidade de exemplares que deverá ser mantida num patamar inferior a 10% dos indivíduos estabelecidos no substrato,; avaliação do sucesso dos plantios efetuados a nível de sobrevivência e área dos sítios de plantios recuperados; (ii) densidade de indivíduos; desenvolvimento da altura e do diâmetro à altura da base (DAB) ou do peito (DAP);(iii) herbivoria (pastejo) de folhas, por espécie, para avaliação da predação, por fauna herbívora (caranguejos, moluscos e insetos), estabelecendo-se um patamar inferior a 10% como aceitável para a herbivoria natural do ecossistema;(iv) identificação das espécies da fauna herbívora presentes na região, que possam constituir uma ameaça ao sucesso da recuperação, por observação direta, coleta manual, identificação taxonômica e ainda, a formação e contagem de galhas presentes. O controle das espécies herbívoras será realizado de compreendendo a remoção manual e as especificidades de cada; (v) identificação e caracterização das anomalias foliares, por análise visual e registros fotográficos das deformidades nos limbos e caules da folhas das plântulas e propágulos; frequência e inundação das marés, nos sítios de recuperação;(vi) verificação dos sedimentos quanto a possíveis ocorrências de deposição, erosão, e alterações na granulometria, teores de matéria orgânica, minerais e salinidade; (vii) acompanhamento da entrada de detritos e resíduos sólidos trazidos pelas marés e sua remoção dos sítios de recuperação; (viii) identificação de outros tensor (es) : variações na salinidade, impacto pelos ventos; (ix) acompanhamento da umidade por medição *in loco*; (x) plantios de reposição; (xi) controle da invasão de espécies invasoras e de transição; (xii) controle fitossanitário; (xiii) possíveis adequações;

Algumas etapas de implantação e monitoramento podem ser observadas no Quadro 1

Etapas previstas	Implantação	Monitoramento
1. Vistorias, análises, pareceres, laudos	X	X
2. Planejamento, Elaboração do PRAD	X	
3. setorização da área		
4. Preparação do terreno	X	
5. Produção de mudas, plantios, reposição	X	X
6. Monitoramento, controles, manutenção, reposição		X
7. Medidas, Análises de campo, laboratório, estatísticas	X	X
8. Controle de espécies invasoras	X	X
9. Remoção de resíduos sólidos	X	X

Quadro 1. Etapas previstas entre as etapas de implantação e monitoramento.

Fonte: os autores, 2023

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS.

Buscou-se apresentar os princípios e práticas básicas para a realização de um projeto de restauração de manguezais. Os projetos de restauração são multidisciplinares, requerem treinamentos de equipes e, portanto, envolvem conhecimentos teóricos por parte da coordenação dos trabalhos para que as etapas sejam bem executadas, levando à recuperação bem sucedida.

REFERÊNCIAS

- BETTONI, S. G.; NAGY, M. B. R.; BERTOLDI, E. R. M.; FLYNN, M. N. 2007. Efeito de borda em fragmento de mata ciliar, Microbacia do Rio do Peixe, Socorro, SP. Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil. p. 1-2.
- CARVALHO, K.S. 1998. Efeito de borda sobre a comunidade de formigas da serrapilheira florestal na Amazônia Central. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA, Manaus, AM. 64 p.
- COMÍN, F.A. 2020. Ecological Restoration and Ecosystem Services Ecological Restoration and Ecosystem Services January 2020 DOI: 10.1007/978-3-319-71065-5_106-1 In book: Life on Land (pp.1-10) Authors: Francisco A. Comín 38.38Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC
- COMÍN, F.A, Miranda B, Sorando R et al (2018) Prioritizing sites for ecological restoration based on ecosystem services. *Journal of Applied Ecology* 55:1155-1163
- FLEMING, L.E., ; LAWS, E.. 2006. From the Guest Editors: Overview of the oceans and human health special issue. *Oceanography* 19(2):18–23, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2006.82>.
- George D. Gann, Tein McDonald, Bethanie Walder, James Aronson, Cara R. Nelson, Justin Jonson, James G. Hallett, Cristina Eisenberg, Manuel R. Guariguata, Junguo Liu, Fangyuan Hua, Cristian Echeverría, Emily Gonzales, Nancy Shaw, Kris Decleer, and Kingsley W. Dixon
- (2019) International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology* 27(S1): S1–S46.
- Keenleyside KA, Dudley N, Cairns S, Hall CM, and Stolton S (2012) Ecological restoration for protected areas: principles, guidelines and best practices. IUCN, Gland, Switzerland
- FAO, IUCN CEM & SER. 2021. Principles for Ecosystem Restoration to Guide the United Nations Decade 2021–2030. Rome, FAO.
- HANSSON, S.O. Science denial as a form of pseudoscience. *Studies in History and Philosophy of Science.*, 63 (2017): 39 – 47.
- MARTIN, D.M (2017) Ecological restoration should be redefined for the twenty-first century. *Restoration Ecology* 25:668–673
- MILLENNIUM, E.A. (2005) *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington D.C.
- MOBERG, F.; RÖNNBACK, P. Ecosystem services of the tropical seascape: interactions, substitutions and restoration. *Ocean and Coastal Management*, v. 46, n. 1-2, p. 27-46, 2003.
- MOCHEL, F. R. . Capital natural e os oceanos: Oceanografia e Educação ambiental. In: Giovanni Seabra. (Org). *O capital natural na economia global*. Minas Gerais: Barlavento, 2016. p. 44.

MOCHEL, F. R.; RIBEIRO, P. C. ; CORREA, J. N. . Environmental education games for mangrove restoration and protection involving global changing scenarios. Developing environmental education games for protection of mangrove ecosystems. In: 7th World Environmental Education Congress 7 WEEC, 2014, Marrakech. Proceedings 7th Congress WEEC. Marrakech: WEEC Network, 2014. v. 7. p. 512-523.

NASCIMENTO, H. E. M. & LAURANCE, W. F. 2006. Efeitos de área e de borda sobre a estrutura florestal em fragmentos de floresta de terra-firme após 13-17 anos de isolamento. Acta Amazonica, 36 (2): 183-192.

OECD (2000). PISA. La medida de los conocimientos y las destrezas de los alumnos. La evaluación de la lectura, las matemáticas y las ciencias en el proyecto PISA 2000. España.

OECD (2007). PISA 2006, Science Competencies for Tomorrow's World, Volume 1: Analysis. Paris: OECD Publishing.

ONU 2020. CDP and Sustainable Development Goals .Disponível em: <https://www.cdp.net/en/policy/program-areas/sustainable-development-goals>

PÉRICO, E.; CEMIN, G.; LIMA, D. F. B.; REMPEL, C. 2005. Efeitos da fragmentação de habitats sobre comunidades animais: utilização de sistemas de informação geográfica e métricas de paisagem para seleção de áreas adequadas a testes. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. p. 2339-2346.

APLICAÇÃO PRÁTICA DO PGRCC NAS CONSTRUÇÕES DA CIDADE DO RECIFE

Data de submissão: 27/09/2023

Data de aceite: 01/12/2023

Elisabeth Maria Ferreira Severo

Faculdade de Engenharia da Universidade
do Porto-FEUP
Porto-Portugal
<https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0003-0388-7324>

Hipólito José Campos de Sousa

Faculdade de Engenharia da Universidade
do Porto-FEUP
Porto-Portugal
<https://orcid.org/0000-0001-8335-0898>

RESUMO: É incontestável a importância da construção civil para a economia global, com efeitos multiplicadores gera a cada emprego direto, no mínimo quatro indiretos, trazendo efeitos positivos para a balança comercial dos países (ABIKO et al, 2005), por outro lado é uma das indústrias que mais impacta o meio ambiente, sendo responsável por 50% do CO₂ lançado na atmosfera e em torno da metade dos resíduos sólidos gerados no mundo. No Brasil com o intuito de melhorar a gestão de resíduos foram criadas legislações específicas através da Resolução CONAMA 307/2002 e da Lei 12.305/2010, trazendo, entre outros, o Programa Integrado de

Gestão de Resíduos de Construção e Racionalização dos Processos Produtivos induzindo numa melhoria na qualidade de vida da população, através do controle da poluição e contaminação do ar, da água e do solo provocada pela inadequada remoção, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos. O objetivo deste artigo é aplicar um *Check-List* do Programa de Gestão de Resíduos na Construção Civil, que foi desenvolvido de acordo com a legislação e normas vigentes pela Ambitec-Grupo de Pesquisa de Engenharia Aplicada ao Meio Ambiente da Universidade de Pernambuco. Para tal, foi escolhido um empreendimento em andamento na cidade de Recife na qual foi monitorado e avaliado.

PALAVRAS-CHAVE: Programa de Gestão de Resíduos na Construção Civil (PGRCC); Resíduos Sólidos; Check-List.

PRACTICAL APPLICATION OF THE PGRCC IN CONSTRUCTIONS IN THE CITY OF RECIFE

ABSTRACT: The importance of civil construction for the global economy with multiplier effects is indisputable, generating, for each direct employment, at least four indirect ones, bringing positive effects

to the trade balance of the countries (ABIKO et al, 2005), however, it is considered as a which accounts for 50% of the CO₂ released into the atmosphere and approximately half of the solid waste generated in the world. In Brazil, in order to improve waste management, specific legislation was created through CONAMA Resolution 307/2002 and Law 12,305 / 2010, bringing, among others, the Integrated Program for the Management of Construction Waste and Rationalization of Production Processes, inducing a improving the quality of life of the population by controlling pollution and contamination of air, water and soil caused by inadequate removal, treatment and final disposal of solid wastes.

KEYWORDS: Waste Management Program in Construction (PGRCC); Solid Waste; Check list.

1 | INTRODUÇÃO

Na Figura 1 são apresentados os impactos ambientais gerados pela construção civil, que vão desde a extração da matéria prima até a deposição adequada dos resíduos.



Figura 1. Impacto ambiental da construção civil

Fonte: Oliveira (2009)

Segundo Souza et al. (1998), “as perdas de materiais podem ter origem em diferentes momentos dentro da vida útil de um empreendimento. Simplificando-se em três grandes fases ao se empreender: na execução, na utilização e na desconstrução”.

Na fase da execução, um empreendimento gera muitos entulhos, tais como argamassa, componentes de vedação e outros materiais que podem ser reutilizados ou reciclados com as seguintes finalidades: conservação de matérias-primas não renováveis, redução do consumo energético e de custos, minimizar a poluição, preservação do meio ambiente e melhoria da saúde e segurança da população, resultando para as empresas uma sólida imagem corporativa.

O Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil - PGRCC tem como objetivo de solucionar as disposições inadequadas dos resíduos que além de degradarem o meio ambiente, trazem problemas a saúde da população.

A figura 2 representa um modelo de plano integrado de gerenciamento da Construção

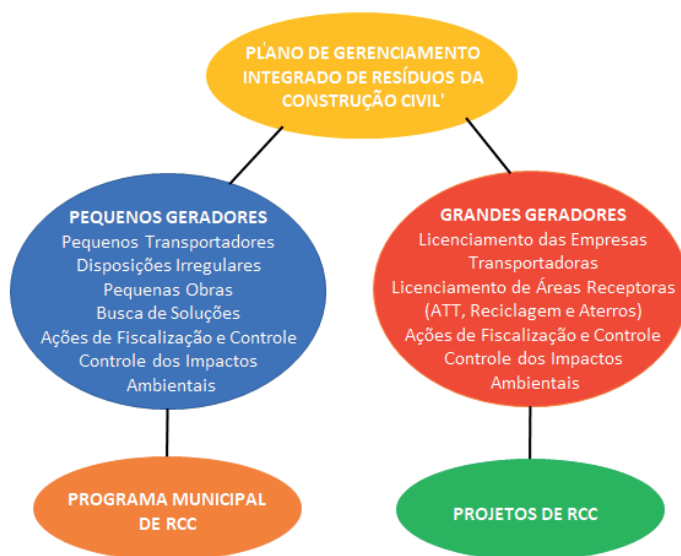


Figura 2. Organização do Plano de Gerenciamento Integrado de RCC

Fonte: Lima e Lima (2009)

2 | PROJETO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL - PGRCC

Na cidade do Recife para se obter a Licença de Construção, além dos projetos arquitetônico, estrutural, incêndio, instalações elétricas e hidrossanitárias, entre outros, se faz necessário a elaboração do Projeto de Gerenciamento de Resíduos da construção Civil – PGRCC que pode ser elaborado pelos grandes geradores ou por empresas de engenharia especializadas. Baseada na Resolução CONAMA 307/2002 e na Lei Federal 12.305/2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos do Brasil, ficaram estabelecidas as diretrizes e critérios do Programa de gerenciamento do Resíduo da Construção Civil no município de Recife conforme Lei Nº17072 de 03/01/2005 e posteriormente pelo Decreto Municipal Nº 27.045/2013 na qual ficou estipulado o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município do Recife.

Conforme Pinto (2005) e Gusmão (2008) o PGRCC possui as seguintes etapas:

1. Planejamento: Compatibilização dos projetos (exatidão nas cotas, níveis e alturas); Especificação clara dos materiais e componentes e detalhamento adequado dos projetos;
2. Caracterização: Identificação e quantificação dos resíduos;
3. Triagem ou segregação: feito na origem e de responsabilidade do gerador ou nas áreas licenciadas para essa finalidade, respeitando-se a classe dos resíduos;

4. Acondicionamento: Inicial e final com responsabilidade do gerador assegurando, caso seja possível, a condição de reutilização e de reciclagem dos materiais; e
5. Transporte interno do RCC's – responsabilidade do gerador (a ser feito por carrinhos, elevador de carga, guincho, guias e tubulões) de acordo com a classe do resíduo, normas técnicas e legislação vigente.
6. Destinação final de acordo com o tipo e classe do resíduo:
 - a) Classe "A" – Sobras de alvenaria, concreto, argamassa e solos. Áreas de Triagem. Transbordo, áreas de reciclagem ou aterros de RCC's. Dispostos nas áreas de triagem, transbordo, áreas de reciclagem ou aterros de RCC's.
 - b) Classe "B" – Sobras de madeira, metal, plásticos em geral, gesso e papel. Podem ser comercializados para empresas, ONG's, cooperativas ou associações de coleta seletiva.
 - c) Classes "C" e "D" – Tintas, solventes, óleos, etc. Materiais que devem ir para empresas especializadas e licenciadas nos órgãos ambientais e contando com o envolvimento e responsabilidade dos geradores, dos fornecedores e dos transportadores, conforme NBR 10.009:2004.
 - d) Resíduos orgânicos – coleta sistemática de responsabilidade municipal

Para se implantar o PGRCC são necessárias as seguintes atividades: Reunião inaugural, planejamento, qualificação dos agentes (fornecedores de dispositivos e acessórios, empresas transportadoras e destinatários dos resíduos), plano de monitoramento do PGRCC com a finalidade de controlar a geração, o acondicionamento, o transporte e as ações preventivas e educativas referentes aos resíduos definidos e apresentados num cronograma (atividades X tempo). O PGRCC de uma determinada obra deve estar integrado à estrutura organizacional da mesma, ser parte dela. Se a empresa possui Programa de Qualidade (Certificações ISO), Sistema de Gestão Ambiental (SGA), 5S, ou outros, o PGRCC deve ser inserido no contexto da empresa, sendo importante definir uma única obra, de preferência na fase inicial, para a implantação do Projeto-Piloto para assim se validar a metodologia a ser adotada para todas as obras da empresa.

3 | A IMPORTÂNCIA DO CHECK LIST NO PGRCC

O monitoramento do PGRCC é feito através de *check lists* que tem a função de facilitar a avaliação contínua do desempenho do programa.

Conforme Guerra (2009) e Pinto (2005), a avaliação do desempenho da obra deve ser feita por auditorias através de *check lists* periódicos (Figura 3), onde serão avaliados entre outros os seguintes parâmetros: a limpeza, a segregação e a destinação compromissada dos resíduos. Sendo que essas informações servirão para gerar um relatório de tomada de decisão para correção das não conformidades observadas tanto no canteiro (internamente), como no transporte e destinação final (externamente), como estabelecer treinamentos que

supram as deficiências do sistema e um comparativo da situação atual com as anteriores, servindo para como parâmetro para se medir a evolução do sistema.

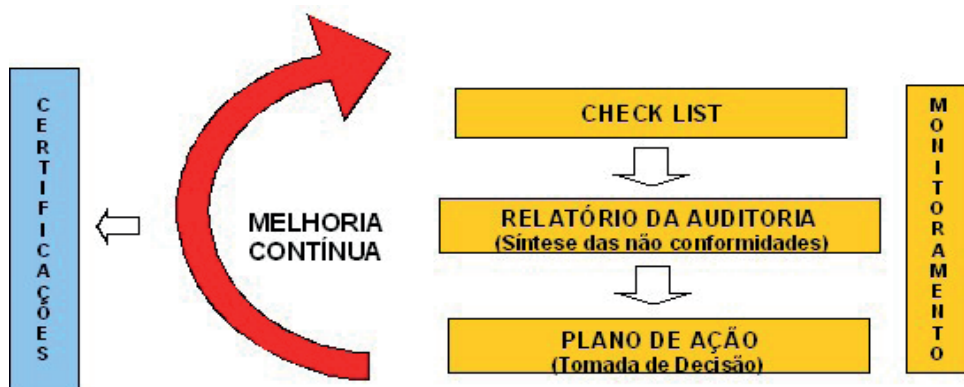


Figura 3. Fluxograma da Melhoria Contínua do Sistema

4 | ESTUDO DE CASO EM RECIFE

4.1 Dados Gerais da Empresa

Empresa: A.

Endereço da empresa: Recife-PE.

Responsável Técnico: X

Engº Co-responsável: Z

Resumo da empresa:

Fundada em 1983, com atividades construtivas nas áreas: residenciais e comerciais, com mais de 80 empreendimentos construídos totalizando 1,1 milhão m², atua nos estados de Pernambuco, Rio Grande do Norte, Ceará, Alagoas e Bahia.

A filosofia e gestão tem como base o Sistema Integrado de Gestão Organizacional com os seguintes programas:

Gestão da Qualidade: ISO 9001

Gestão de Segurança e Saúde Ocupacional: OHSAS 18001

Gestão de Recursos Humanos

Gestão Ambiental (Projeto de Gestão Ambiental, coletas seletivas de resíduos e aproveitamento de materiais e cursos internos de RCC: ISO 14001

O Sistema Integrado de Gestão Organizacional é monitorado pela equipe de auditoria interna, composta por:

Engenheira - Coordenadora e responsável pelos *Check lists* nas obras e as engenheiras civis Fulana e Beltrana.

4.2 Dados do Empreendimento a ser estudado

Através de visita pré-agendada, em 23/11/2018, se obteve as seguintes informações:

- a) O PGRCC foi elaborado pela engenheira coordenadora e o monitoramento e auditoria do Sistema de Gestão Integrada (SGI) é feito bimensalmente em todas as obras e no escritório central: personalização, coordenação, SAT, suprimentos, projetos, SGI e orçamento.

O monitoramento do SGI consta de:

- Check list em cada obra
- Relatório de Auditoria Interna relatando todas as não conformidades encontradas na obra
- Plano de Ação – gerado com as informações do *check list* e pelo relatório de auditoria interna, o plano de ação tem como objetivo de apontar os pontos críticos e as ações corretivas do sistema

b) Empreendimento de incorporação, multifamiliar a ser monitorado: Edifício ABC

- Engº responsável pela obra: X
- Endereço do Empreendimento: Recife – PE
- Área total Construída: 17.630,66 m²
- Área T. Terreno: 2.961,07 m²
- Estimativa média de funcionários: 50 - Horas trabalhadas: 44 horas semanais
- Número de funcionários: 72 (9 administrativos e 63 da produção).
- Pavtos: T, V1, V2, 1º ao 35º e coberta (Ático) – Totalizando: 38 pavimentos + Ático.
- Início da obra: Maio de 2018 com término previsto para Outubro de 2020 (conforme e cronograma obra).

4.3 Check List de Limpeza e Segregação dos RCCs

Verificou-se que o Edifício A se encontrou com a estrutura toda concluída, com exceção do ático que estava na etapa de armações e fôrmas; alvenaria de periferia no 32º tipo; contra-marcos de varanda nos 26º e 27º tipos: onde se avaliou o desempenho do empreendimento em relação a limpeza, segregação e destinação compromissada dos resíduos por meio de *check list*.

Conforme *check list* fornecido pela Ambitec, foram anotadas todas as observações possíveis sobre a limpeza, a segregação e destinação compromissada dos resíduos, sendo que houve também o registro fotográfico para melhor análise da atual situação e para avaliação através de notas em cada andar avaliado. (conforme *Check list* anexo). Logo

após foi gerado um relatório de desempenho (conforme anexo) com as conformidades e não conformidades, indicando o caminho para a melhoria da qualidade do sistema PGRCC.

5 | CONCLUSÃO

Verifica-se que a construtora não terá maiores dificuldades em melhorar o desempenho da gestão do PGRCC, empresa já está consolidada no mercado imobiliário e foi uma das primeiras empresas no ramo da construção civil a trabalhar com o Sistema Integrado de Gestão Organizacional em Pernambuco, o que vem trazendo maior qualidade dos seus processos e produtos, obtendo como resultado final a satisfação dos seus clientes.

Fica a sugestão da implantação de uma usina de reaproveitamento de resíduos sólidos da construção civil, o que poderia ser feito com a parceria de outras empresas do ramo, ou a própria prefeitura do Recife, conforme foi implantado na Prefeitura de São Gonçalo, Rio de Janeiro através da Lei N° 714/2017.

AGRADECIMENTOS:

Este trabalho teve o apoio financeiro de: Financiamento Base – UIDB/04708/2020 do CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções – financiado por fundos nacionais através do FCT/MCTES/PT (PIDDAC).

REFERÊNCIAS

ABIKO, A K.; GONÇALVES, O M.; CARDOSO, L.R.A. **O futuro da indústria da Construção Civil: construção habitacional. Série Política Industrial** – 5. Brasília, 2005. Disponível em:<http://prospectiva.pcc.usp.br/.../O%20futuro%20da%20construção%20civil20no%20brasil.pdf> – Acesso em: 21 Out 2018.

BRASIL. **Lei N°12.305/2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos do Brasil.** Disponível em: https://fld.com.br/catadores/pdf/politica_residuos_solidos.pdf. Acesso em: 10 Nov 2018.

GUERRA, J. S. **Gestão de resíduos da Construção civil em obras de edificações.** Dissertação do PEC/POLI/UPE. RECIFE, 2009.

GUSMÃO, A. D. **Manual de Gestão dos Resíduos da Construção Civil.** Camaragibe, 2008.

LIMA, R. S.; LIMA, R. R. R. R. Guia para a elaboração de projeto de gerenciamento de resíduos da construção civil. Série de Publicações Temáticas do CREA-PR, Curitiba, 2009. Disponível em:http://www.crea-pr.org.br/crea3/html3_site/doc/guia/cartilhaResiduos baixa.pdf. Acesso em 28 Nov 2018.

LORDÊLO, P. M.EVANGELISTAS, P.A.; FERRAZ, T. G.A. **Programa de gestão de resíduos em canteiros de obras: método, implantação e resultados, Senai-BA.** Salvador, 2005. Disponível em: <http://www.200.223.40.100/.../Artigo%20Gestão%20de%20Resíduos%20Construção%201.PDF>. Acesso em: 28 Nov.2018.

OLIVEIRA, F.L. **Gestão de resíduos na Construção Civil. Apontamentos de aula da FAUUSP**, Curso de Design, São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.usp.br/.../> (17.03.2009)_Gestao_de_residuos_na_Construcao_Civil.pdf . Acesso em: 28 Nov. 2018.

PINTO, T. P. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil. A experiência do Sinduscon-SP**. São Paulo, 2005. Disponível em: http://www.gerenciamento.ufba.br/Downloads/Manual_Residuos_Solidos.pdf Acesso em: 21 Nov 2019.

RECIFE. **Decreto Municipal Nº 27.045/2013. Estabelece o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município do Recife**. Recife, 2005. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/pe/r/recife/decreto/2013/2705/27045/decreto-n-27045-2013-reconhece-o-plano-metropolitano-de-residuos-solidos-pmrs-da-regiao-metropolitana-como-plano-municipal-de-gestao-integrada-de-residuos-solidos-do-municipio-do-recife>. Acesso em 20 Nov. 2017.

RECIFE. Lei Nº 17.072 de 04 de Janeiro de 2005. **Estabelece as diretrizes e critérios para o Programa de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil na Cidade do Recife**. Recife, 2005. Disponível em: <http://www.recife.pe.gov.br/diariooficial>. Acesso em 20 Nov. 2018.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 307/2002. Disponível em: http://www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/rsulegis_10.pdf . Acesso em: 12 Ago 2018.

SÃO GONÇALO. Lei Nº 714/2017. Reaproveitamento de Resíduos na Construção Civil. Disponível em: <https://sogi8.sogi.com.br/Arquivo/Modulo113.MRID109/Registro1284215/lei%20n%20714%20de%2020072017.pdf>. Acesso em: 10 Ago 2018.

SOUZA, U. E. L.; PALIARI, J. C.; ANDRADE, A. C.; AGOPYAN, V. **Os valores das perdas de materiais nos canteiros de obras do Brasil. In: \Congresso Latino Americano e Gestão na Produção de Edifícios: Soluções para o terceiro milênio**. Anais, v.1, EPUUSP/PCC. São Paulo, 1998.

ANEXOS

- Check-List de Limpeza e Segregação de Resíduos
- Relatório de Desempenho

Construtora: A
Obra: X

Data: 23 de novembro de 2018
Resp. Preenchimento: Elisabeth M. F. Severo

Pavimento	Áreas (m²)	Fator de Ponderação	Notas 1 a 10		Bombonas em uso					Número da(s) Foto(s)	CHECK - LIST : LIMPEZA E SEGREGAÇÃO												OBSERVAÇÕES GERAIS
			Limpeza	Segregação	Orgânico	Papel	Plástico	Metal	Madeira		Outros resíduos / Sem destino	Variáveis insalubres	Resíduos Classe A	Resíduos Classe B	Resíduos Classe C	Resíduos Classe D	Resíduos Classe E	Resíduos Classe F	Resíduos Classe G	Resíduos Classe H	Resíduos Classe I	Resíduos Classe J	
Coberta (Atico)	415	0,00%											X										Atenuação e formas no Atico (não foi possível ter acesso ao pavimento)
35º tipo	415	0,00%											X										Leve sendo desmontada (em produção). Sem acesso ao pavimento
34º tipo	415	2,70%	9	7						3			X	X	X	X	X						As formas do ponto Superior (35º) foram colocadas neste pavimento
33º tipo	415	2,70%	5	6						4 5			X	X	X	X	X					X	Deformação concluída. Aguardando alvenaria. Resíduos A e B misturados
32º tipo	415	2,70%	8	6						6 7 8			X	X	X	X	X						Início duto (tubulão) p/ resíduos A. Encontrados resíduos A
31º tipo	415	2,70%	9	5						9 10			X	X	X	X	X						Excedente entre o 31º e 30º construído com resíduos, at. espalhando o acesso
30º tipo	415	2,70%	9	9						11 12			X	X	X	X	X						Segregação e limpeza corretas. Encontrados sacos de cimento em fundos
29º tipo	415	2,70%	10	9						13			X	X	X	X	X						Segregação e limpeza corretas
28º tipo	415	2,70%	8	8						14			X										Boa limpeza
27º tipo	415	2,70%	9	9						15			X										Poucos resíduos classe A não segregado
26º tipo	415	2,70%	10	8						16			X										Poucos resíduos classe A não segregado
25º tipo	415	2,70%	9	9						17													Limpeza e varrição
24º tipo	415	2,70%	8	9						18													Encontrados resíduos de laje espalhados no piso
23º tipo	415	2,70%	9	9						19													Boa limpeza e poucos resíduos
22º tipo	415	2,70%	8	6						20			X			X							Encontrados sacos de cimentos misturados com resíduos classe A
21º tipo	415	2,70%	9	10						21													Segregação de resíduos e limpeza, corretos
20º tipo	415	2,70%	7	8						22			X										Limpeza e varrição insuficientes
19º tipo	415	2,70%	9	9						23													Limpeza e varrição corretas
18º tipo	415	2,70%	7	10						24													Boa limpeza. Sem resíduos
17º tipo	415	2,70%	9	9						25													Boa limpeza. Sem resíduos
16º tipo	415	2,70%	8	9						26													Boa limpeza. Sem resíduos
15º tipo	415	2,70%	8	8						27					X								Poucos espalhados no piso
14º tipo	415	2,70%	5	4						28 29													Resíduos de reforma com limpeza prevista apenas para o final do dia
13º tipo	415	2,70%	8	10						30			X										Encontrado resíduos classe A (alvenaria). Em produção alvenaria interna
12º tipo	415	2,70%	7	9						31													Alvenaria interna de laje de gesso. Não houve limpeza e boa segregação
11º tipo	415	2,70%	6	8						32			X			X							Pouca limpeza com resíduos de gesso
10º tipo	415	2,70%	6	8						33			X			X							Pouca limpeza com bastante resíduos de gesso. Limpeza final do dia
9º tipo	415	2,70%	7	5						34			X	X	X	X	X						Resíduos A e B misturados com EP's e gesso (Classe C)
8º tipo	415	2,70%	7	6						35			X			X							Resíduos de gesso com resíduos orgânicos
7º tipo	415	2,70%	8	4						36			X	X	X	X	X						Vários resíduos misturados
6º tipo	415	2,70%	6	4						37			X	X	X	X	X	X					Andar alvenaria no piso cobrante resíduos misturados (gesso e outros)
5º tipo	415	2,70%	7	6						38 39													Resíduos de instalações elétricas. Limpeza adequada
4º tipo	415	2,70%	8	7						40 41													Revestimento gesso liso. Alvenaria int. concluída. espec. rev. cerâmico
3º tipo	415	2,70%	7	4						42 43													Alvenaria int. em gesso concluída com bastante resíduos mist A, B e C
2º tipo	415	2,70%	9	6						44 45													Boa limpeza, porém os resíduos de gesso
1º tipo	415	2,70%	7	5						46													Resíduos misturados
Vazado 2	415	2,70%	10	8		X	X	X	X	47 48													Escritório e almoxarifado. Ótima limpeza, cesto de lixo sempre em ordem
Vazado 1	415	2,70%	10	10	X	X	X	X	X	49 50													Refeitório. Bem limpo e organizado.

Construtora: A
Obra: X

Data: 23 de novembro de 2018
Resp. Preenchimento: Elisabeth M. F. Severo

Pavimento	Áreas (m²)	Fator de Ponderação	Notas 1 a 10		Bombonas em uso						Número da(s) Foto(s)	CHECK - LIST : LIMPEZA E SEGREGAÇÃO												OBSERVAÇÕES GERAIS			
			Limpeza ¹	Segregação na fonte ²	Orgânicos	Papel	Plástico	Metal	Madeira	Utilização		Obs.	Não Avaliado / Sem acesso	Verificação Insuficiente	Resíduos Classe A	Resíduos de Madeira	Resíduos metálicos (resíduos)	Resíduos de gesso	Embalagens de plástico e papel	Resíduos de Construção	Lixo, lixo, entulhos no local	Resíduos espalhados	Materiais de acordo		Resíduos não segregados	Resíduos orgânicos	Manejo de resíduos
Térreo	415	2,70%	9	8							1	2															Baixas cobertas e separadas por tipo de resíduo (B e C)
Semi-enterrado	415	0,00%																									
Área de Periferia	3603	0,00%																									
Área Total	20203		8,0	7,5	0	0	0	0	0	0																	
Acondicionamento Final ³			Notas 1 a 10		Alc. conc.	Papel	Plást.	Metal	Mud.	Gesso	Fotos	Resíduo Misturado	Lotado	Sem Uso	Uso Incorreto	Não sinalizado	Resíduo em torno	OBSERVAÇÕES									
Utilização Bags	0%		0																								
Utilização Baías	71%		7		0	1	1	1	1	1	1	2														Resíduo de gesso na base de madeira	
Caçambas	29%		8		1	0	0	0	0	1																	
100%			7,5																								
MÉDIAS FINAIS:			Fator ponderação:		38%	Fator ponderação:		55%	Acondicionamento final:		7,5	Segregação Geral:		7,5													
Limpeza			8,0		Segregação na fonte		7,5		Acondicionamento final		7,5		Segregação Geral														

INSTRUÇÕES PARA PREENCHIMENTO	
<p>1 - Limpeza: avaliar a limpeza do pavimento, considerando a sistemática da obra e o processo construtivo. Caso o processo gere bastante resíduo isto deve ser pontuado com decréscimo na nota.</p> <p>2 - Segregação: avaliar bombonas, existência de resíduos empilhados não segregados, ou de resíduos de tipologias diferentes espalhados no pavimento (problema potencial de segregação após limpeza).</p> <p>3 - Acondicionamento Final: Estipular peso com base no número de bags, baías e caçambas e no volume de resíduos gerados de cada tipo. A avaliação (nota) deve considerar: quantidade de resíduos no local, presença de resíduos no entorno, segregação, acesso e sinalização.</p>	<p>Padrão para auxiliar definição de notas:</p> <p>10-0 - Excelente. Sistemática implementada de forma eficaz.</p> <p>8-7 - Bom. Sistemática adequadamente implementada, porém com falhas pontuais e em pequeno volume.</p> <p>6-4 - Regular. Sistemática ineficaz. Presença de problemas pontuais em diferentes locais ou em volume significativo.</p> <p>4-3 - Ruim. Sistemática parcialmente implementada. Resíduos acumulados e não segregados de forma generalizada no pav.</p> <p>2-1 - Péssimo. Sistemática não implementada. Muito resíduo acumulado por muito tempo no pavimento.</p>

PROGRAMA DE GESTÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL
RELATÓRIO DE DESEMPENHO
ELISABETH M. F. SEVERO

Cliente:	A	Período avaliado:
Obra:	X	23-nov-18 a 23-nov-18

Itens avaliados	Avaliações	Foto
Uso das bombonas:	Nos andares observa-se que a quantidade de bombonas é insuficiente para a segregação adequada dos resíduos classe B. Para os resíduos classes A e C, o ideal é que os pavimentos fossem demarcados com espaços exclusivos para tipo de resíduo até seu transporte para as baías ou caçambas. Nos pavimentos tipos só foram encontradas bombonas amarela e azul, conforme foto.	
Uso das baías:	As baías estão bem localizadas na entrada da obra, com identificação do tipo de resíduo e com a cobertura para a proteção dos resíduos, sendo que na baía destinada à madeira foram encontrados sacos de gesso.	
Uso dos bag's:	A obra não utiliza os bag's, mas, seria uma alternativa interessante devido à mobilidade que os mesmos proporcionam.	
Acondicionamento dos Materiais:	Em geral, o acondicionamento é bom, mas, poderia ser melhor se os resíduos não estivessem tão misturados (classe A, B, C, orgânicos e EPI's).	
Geração de resíduos (processos construtivos):	Devido à maior parte da obra encontrar-se na fase de alvenaria interna de gesso (classe C), esse resíduo aumentou bastante, mas também verifica-se os resíduos classes A e B, apesar de sua diminuição e que em alguns andares não se encontram segregados corretamente, ou seja, misturados.	
Destinação dos resíduos:	Os resíduos classe A estão sendo destinados corretamente para a empresa GLOBAL com notas e tickets da destinação de transporte. Os classe B (plástico, madeira, metal e papel), também estão sendo destinados corretamente, porém para a empresa RECICLAR. Já os resíduos de classe C (gesso) estão sendo destinados para a COMLURB e sem as rotas de destinação.	
Registro da Destinação:	Os resíduos das classes A e B tiveram seus registros da destinação corretos com seus tickets e rotas de destinação, entretanto, os resíduos classe C embora possuam registro, não possuem as rotas de destinação.	
Segregação (situação e sistemática):	Bombonas insuficientes nos pavimentos tipos (em produção). Com a finalidade do reaproveitamento e/ou reciclagem dos resíduos classe A, B e C, os mesmos não devem ser misturados, tanto nos pavimentos quanto bombonas, baías e caçambas.	
Limpeza (situação e sistemática):	Como normalmente a empresa é efetuada no final do dia, encontrou-se uma situação de limpeza boa, sendo que, seria interessante uma maior frequência das vistorias do dia, evitando-se o acúmulo de resíduos nos pavimentos.	
Organização Geral:	A organização geral também é boa e observa-se que a construtora teve o cuidado de, dois dias após a vistoria, de providenciar uma maior organização e limpeza em todos os pavimentos.	
Comprometimento da equipe:	Verifica-se que a equipe se empenha tanto no quesito limpeza quanto na organização, mas, seria interessante salientar/informar periodicamente as não conformidades encontradas.	
Comentários Finais:	Observou-se que a equipe está comprometida com a melhoria do sistema de gerenciamento dos RCC's. Seria importante que na ocasião dos treinamentos fossem salientadas as não conformidades e as ações corretivas necessárias.	

Destinação comprometida dos resíduos				
Resíduo	Solução Anterior	Solução Atual	Peso %	Notas
Alv./Concr.	Global	Global	7,1%	10,0
Gesso Acart	Comlurb (sem roteiro definido)	Comlurb (sem roteiro definido)	7,1%	8,0
Madeira	Reciclar	Reciclar	7,1%	10,0
Metais	Reciclar	Reciclar	7,1%	10,0
Papel	Reciclar	Reciclar	7,1%	10,0
Plástico	Reciclar	Reciclar	7,1%	10,0
Serragem	Não está em uso	Não está em uso	0,0%	
Terra	Reaproveitamento na própria obra	Reaproveitamento na própria obra	0,0%	0,0
Outros	Não está em uso	Não está em uso	0,0%	
Observações: O gesso sendo resíduo classe C necessita ter a destinação correta e/ou roteiro bem definido.			Registro da destinação >>>	42,9%
			Média Final >>>	9,3

Notas

Limpeza	8,0
Segregação na fonte	7,5
Acondicionamento final	7,3
Segregação geral	7,4
Destinação comprometida	9,3

CONTROLE PID ADAPTATIVO DE TEMPERATURA EM UM TÚNEL PSICROMÉTRICO

Data da submissão: 03/10/2023

Data de aceite: 01/12/2023

José Antonio Riul

Universidade Federal da Paraíba,
Centro de Tecnologia, Departamento de
Engenharia Mecânica
João Pessoa – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/1577115832986997>

Paulo Henrique de Miranda Montenegro

Universidade Federal da Paraíba,
Centro de Tecnologia, Departamento de
Engenharia Mecânica
João Pessoa – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/6068304104229234>

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo o projeto de um controlador adaptativo para controle de temperatura em um túnel psicrométrico. O controle é realizado através de simulação, usando um modelo do túnel obtido com dados reais do sistema, através de estimação de parâmetros com o algoritmo dos mínimos quadrados recursivo. É projetado um controlador PID adaptativo de Dahlin para o controle de temperatura do túnel. Nesse projeto os parâmetros do túnel são estimados pelo algoritmo dos mínimos quadrados recursivo, usando como dados a variável de controle e a saída obtida do modelo do túnel. A partir

dos parâmetros estimados, obtém-se os parâmetros do controlador PID de Dahlin. O controlador é implementado através de um programa computacional e são mostrados como resultados as curvas da resposta do sistema sob ação do controlador adaptativo projetado e do erro entre a referência e a resposta do sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Identificação de Sistemas, Controle Adaptativo, Túnel psicrométrico.

ADAPTIVE TEMPERATURE PID CONTROL IN A PSYCHROMETRIC TUNNEL

ABSTRACT: This work aims to design an adaptive controller for temperature control in a psychrometric tunnel. The control is performed through simulation, using a tunnel model obtained with real data from the system, through parameter estimation with the recursive least squares algorithm. A Dahlin adaptive PID controller is designed for tunnel temperature control. In this project, the tunnel parameters are estimated by the recursive least squares algorithm, using the control variable and the output obtained from the tunnel model as data. From the estimated parameters, the parameters of

the Dahlin PID controller are obtained. The controller is implemented through a computer program and the results are shown as the output curves of the system under the action of the designed adaptive controller and the error between the reference and the system output.

KEYWORDS: Identification Systems, Adaptive Control, Psychrometric tunnel.

1 | INTRODUÇÃO

O objetivo do presente trabalho é o projeto de um controlador adaptativo de temperatura em um túnel psicrométrico. O equipamento é composto de um sistema de ventilação e de um sistema de refrigeração, que permite a adição ou retirada de calor de um fluxo variável de ar em deslocamento forçado no seu interior, possibilitando simular diversas condições atmosféricas de temperatura e de umidade. Um modelo do túnel obtido com dados reais captados do sistema em malha aberta, usando como entrada ou excitação a variação da velocidade da turbina, que gera a variação do fluxo de ar no túnel e como saída ou resposta a temperatura medida no conduto do túnel é usado para representar o sistema. O modelo foi obtido através de estimação de parâmetros com o algoritmo dos mínimos quadrados recursivo conforme Aguirre (2000).

A ação de controle adaptativo conforme Astrom & Wittenmark (1995), será realizada por um controlador auto-ajustável PID de Dahlin. (BEHAR E IRANZO, 2003) “Os controladores da família PID constituem cerca de 90% dos instalados atualmente na indústria”. No projeto do controlador os parâmetros do túnel são estimados pelo algoritmo dos mínimos quadrados recursivo, usando como dados a variável de controle e a saída obtida do modelo do túnel. Com os parâmetros estimados para o túnel, obtém-se os parâmetros do controlador PID de Dahlin e conseqüentemente a variável de controle. Com a variável de controle definida, um programa computacional é elaborado e simulações são realizadas, mostrando curvas da resposta do sistema sob ação do controlador adaptativo projetado e do erro entre a referência e a resposta do sistema.

2 | DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O túnel psicrométrico conforme Montenegro et al. (2006), como mostrado na Figura 1, é composto de um sistema de ventilação e de um sistema de refrigeração, é utilizado como protótipo para realização de controle de temperatura e de umidade. O projeto do equipamento é similar a de um túnel de vento de baixa velocidade. Foi construído em metal com seção transversal quadrada de 254 mm² de área, possui janelas removíveis que permitem acesso ao seu interior para adição de instrumentos, além dos já existentes. O equipamento também pode ser classificado como um túnel psicrométrico devido sua capacidade de simular diversos níveis de temperatura, de umidade e de velocidade do ar. Por conveniência o fabricante dividiu o equipamento em duas partes principais: a primeira é denominada sistema de ar e é composta pela turbina, pelos aquecedores de ar, pelos

umidificadores por vapor e pelos medidores de fluxo de ar. A segunda parte é denominada de sistema refrigerante e é composta por um compressor-condensador, um umidificador, e pelos controles e instrumentação.



Figura 1. Túnel Psicrométrico.

Para realização do controle de temperatura, o túnel foi adaptado, sendo a turbina acionada por um motor de corrente contínua comandado por um computador. A turbina tem a função de gerar um fluxo variável de ar na temperatura ambiente e desloca-lo no interior do duto forçando sua passagem através dos dois conjuntos de resistências elétricas de 2 kw e 1 kw, originais do equipamento e que funcionam de maneira independente. Faz parte também do sistema um transdutor de temperatura instalado na extremidade de saída do duto. No sistema de ventilação, a turbina com velocidade variável é usada para fornecer um fluxo de ar objetivando alcançar a temperatura desejada. Um computador, uma placa de entrada e saída de dados e o programa computacional LabVIEW, são utilizados para coleta de dados oriundos do transdutor de temperatura, processamento, cálculo da variável de controle e envio da mesma para a turbina.

3 | CONTROLADOR AUTO-AJUSTÁVEL (STR)

O controlador auto-ajustável (STR) é um tipo de controlador adaptativo, que automatiza as tarefas de modelagem matemática, projeto e implementação da lei de

controle. O STR é explícito quando as tarefas de modelagem matemática, projeto e implementação da lei de controle são realizadas a partir dos parâmetros estimados da planta. No STR, os parâmetros estimados do sistema são determinados e atualizados, à cada período de amostragem, através do MQR. O diagrama de blocos de um STR explícito é apresentado na Figura 2. No diagrama de blocos destacam-se duas malhas fechadas. A malha inferior composta pelo sistema e pela realimentação de saída, e a superior composta pelo estimador de parâmetros, pelo projeto da lei de controle e pelo controlador ajustável. No STR os parâmetros estimados são considerados como se fossem os parâmetros reais do sistema. Esta abordagem é baseada no princípio da equivalência à certeza, conforme Hemerly (1996).

Controladores como: Proporcional Integral Derivativo (PID), Proporcional Integral (PI), Proporcional Derivativo (PD), de Variância Mínima (MV), de Variância Mínima Generalizado (GMV), Linear Quadrático Gaussiano (LQG) e Controlador Preditivo Generalizado (GPC), podem ser utilizados para o projeto da lei de controle.

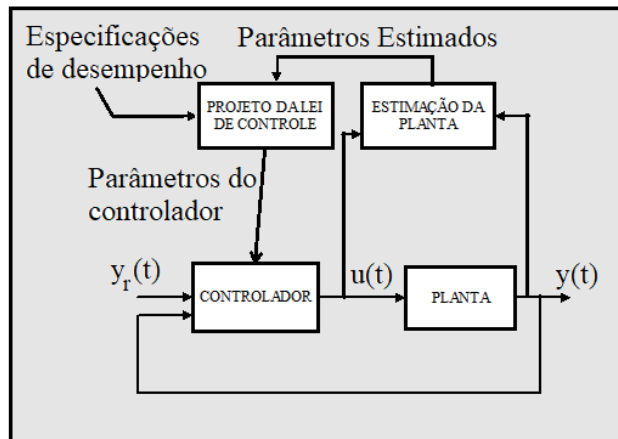


Figura 2. Diagrama de blocos do STR explícito.

A estimação dos parâmetros do sistema é a essência do STR. (AGUIRRE, 2000, LJUNG, 1987, HEMERLY, 1996, RÚBIO E SANCHÉZ, 1996 e COELHO E COELHO, 2004) “Dentre os algoritmos aplicáveis à esta tarefa cita-se o dos mínimos quadrados recursivo (MQR) com fator de esquecimento”. Os algoritmos recursivos usam as estimativas do vetor $\theta(t)$, previstas a partir dos instantes anteriores ao instante de tempo t , para obtenção das estimativas $\theta(t+1)$, conforme indica a Equação 1.

$$\hat{\theta}(t+1) = \hat{\theta}(t) + \Delta \hat{\theta}(t+1) \quad (1)$$

Um modelo paramétrico quando utilizado para projeto de controladores não representa uma descrição complexa do sistema, mas deve descrever com grande precisão as características dinâmicas essenciais para o projeto do controlador. Diversos modelos

paramétricos podem ser utilizados para representar os sistemas, entre eles, o linear do tipo ARMAX, dado pela Equação 2.

$$A(z^{-1})y(t) = z^{-d}B(z^{-1})u(t-1) + C(z^{-1})e(t) \quad (2)$$

onde:

$$z^{-1}y(t) = y(t-1) \quad (2.a)$$

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_{n_a}z^{-n_a} \quad (2.b)$$

$$B(z^{-1}) = b_0 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2} + \dots + b_{n_b}z^{-n_b} \quad (2.c)$$

$$C(z^{-1}) = 1 + c_1z^{-1} + c_2z^{-2} + \dots + c_{n_c}z^{-n_c} \quad (2.d)$$

z^{-1} - operador atraso;

$u(t)$ e $y(t)$ - são respectivamente o sinal de controle e a saída do sistema;

$A(z^{-1})$; denominador da função de transferência do sistema;

$B(z^{-1})$; numerador da função de transferência do sistema;

$C(z^{-1})$; numerador da função de transferência do filtro auto regressivo;

$e(t)$ - ruído branco de média nula;

d - atraso de transporte do sistema;

n_a, n_b, n_c - ordem dos polinômios A, B e C.

Com $C(z^{-1})=1$, o modelo ARMAX, resulta no modelo ARX, que pode ser escrito conforme o modelo de regressão linear mostrado na Equação 3.

$$y(t) = \phi^T(t-1)\theta + e(t) \quad (3)$$

onde:

$$\phi^T(t-1) = [-y(t-1), -y(t-2), \dots, -y(t-n_a), u(t-1), u(t-2), \dots, u(t-1-n_b)] \quad (3.a)$$

$$\theta^T = [a_1, a_2, \dots, a_{n_a}, b_0, b_1, \dots, b_{n_b}] \quad (3.b)$$

A estimação recursiva do vetor de parâmetros θ^T é regida pelas Equações 4, 5 e 6.

$$\theta(t) = \theta(t-1) + K(t)[y(t) - \phi^T(t)\theta(t-1)] \quad (4)$$

$$K(t) = P(t-1)\phi(t)[I - \phi^T(t)P(t-1)\theta(t)]^{-1} \quad (5)$$

$$P(t) = \frac{P(t-1)}{\lambda e} [I - K(t)\phi^T(t)] \quad (6)$$

onde :

$K(t)$ - ganho do estimador;

$P(t)$ - matriz de covariância dos parâmetros estimados;

λe - fator de esquecimento;

I - matriz identidade.

No projeto do controlador PID de Dahlin, adota-se o o modelo ARX , obtido a partir da Equação 2, e mostrado na Equação 7.

$$y(t) = y_u(t) + n(t) = \frac{z^{-d}B(z^{-1})}{A(z^{-1})}u(t-1) + \frac{1}{A(z^{-1})}e(t) \quad (7)$$

onde:

$y_u(t)$ – modelo do sistema;

$n(t)$ – modelo da perturbação.

4 I CONTROLADOR PID DE DAHLIN

A Equação 8 mostra a (COELHO E COELHO, 2004) “representação da ação de controle do controlador PID”.

$$G_c(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = \frac{1}{G_p(z)} \frac{[y(t)/y_r(t)]}{[1-y(t)/y_r(t)]} \quad (8)$$

onde: $G_p(z)$ é a função de transferência do sistema, $G_c(z)$ é a função de transferência do controlador, $y(t)$ é a saída do sistema, $y_r(t)$ é a referência, $U(z)$ é a variável de controle e $E(z)$ é o erro de saída do sistema.

A proposta de projeto do controlador Dahlin conforme Coelho et al. (2019) , considera que o sistema em malha fechada, se comporta como de primeira ordem e com atraso de transporte, conforme Equação 9.

$$G_c(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = \frac{1}{G_p(z)} \frac{[(1-p_1)z^{-(d+1)}]}{[1-p_1z^{-1} - (1-p_1)z^{-(d+1)}]} \quad (9)$$

onde: d é o atraso de transporte.

O túnel é representado pela função de transferência discreta de segunda ordem dada pela Equação 10.

$$G_p(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{z^{-(d+1)}(b_0 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2})}{1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}} \quad (10)$$

Substituindo Equação 10 na Equação 9, obtém-se a Equação 11 do controlador.

$$G_c(z) = \frac{(1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2})}{(b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2})} \frac{(1 - p_1)}{[1 - p_1 z^{-1} - (1 - p_1) z^{-(d+1)}]} \quad (11)$$

Dahlin considera o controlador PID na forma ideal conforme Equação 12.

$$G_c(z) = k_c \left[\frac{(1 + T_s/T_i + T_d/T_s) - (1 + 2T_d/T_s)z^{-1} + (T_d/T_s)z^{-2}}{(1 - z^{-1})} \right] \quad (12)$$

Na Equação 11 e na Equação 12, tem-se os parâmetros conforme Equações 13 à 17.

$$k_c = -\bar{k}(a_1 + 2a_2) \quad (13)$$

$$\bar{k} = \frac{(1 - p_1)}{(b_0 + b_1 + b_2)[1 + d(1 - p_1)]} \quad (14)$$

$$p_1 = e^{\frac{-T_s}{\tau_{MF}}} \quad (15)$$

$$T_i = \frac{-(a_1 + 2a_2)T_s}{(1 + a_1 + 2a_2)} \quad (16)$$

$$T_d = \frac{-a_2 T_s}{(a_1 + 2a_2)} \quad (17)$$

onde:

T_s - tempo de amostragem;

τ_{MF} - constante de tempo desejada em malha fechada.

A Equação 12 representa o controlador PID na forma discreta, e a equação a diferenças que descreve o comportamento da variável de controle do sistema $u(t)$ é dada pela Equação 18.

$$u(t) = q_0 e(t) + q_1 e(t-1) + q_2 e(t-2) \quad (18)$$

onde:

$$q_0 = k_c (1 + T_s/T_i + T_d/T_s) \quad (19)$$

$$q_1 = -k_c (1 + 2T_d/T_s) \quad (20)$$

$$q_2 = k_c (T_d / T_s) \quad (21)$$

5 | RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados a seguir foram obtidos através de simulação usando um programa computacional gerado no Matlab, usando: a Equação 22 que é o modelo do túnel em malha aberta, que representa o sistema real, o algoritmo MQR para estimar os parâmetros necessários à obtenção da variável de controle, a Equação 18 para implementação da variável de controle e as referências. Como especificações de desempenho usou-se: sobressinal máximo de 20 % e erro em regime permanente de 2 %.

$$y(t) = 0,64*y(t-1) + 0,30*y(t-2) + 0,02*u(t-3) + 0,01*u(t-4) \quad (22)$$

A Figura 3 mostra a resposta simulada da temperatura do túnel, sob ação do controlador adaptativo PID de Dahlin projetado, para uma referência degrau de 80 °C com tempo de amostragem $T_s = 0,2$ segundo. O programa é iniciado com valores nulos para os parâmetros estimados do túnel nas 7 amostras iniciais, que corresponde a 1,4 segundo. Nesse intervalo de tempo um controlador convencional proporcional é usado para que o controlador adaptativo comece a atuar com valores dos parâmetros estimados diferentes de zero. A temperatura do túnel no início do processo era de 25 °C e com 15 seg o regime permanente é alcançado com 0,5 °C de erro, que corresponde a um valor menor que 2 % e sem sobressinal. A resposta estimada apresenta erro em relação à simulada apenas no início do processo.

A Figura 4 mostra o erro entre a referência degrau de 80 °C e a resposta simulada. Após 15 segundos do início do processo, o erro é praticamente nulo.

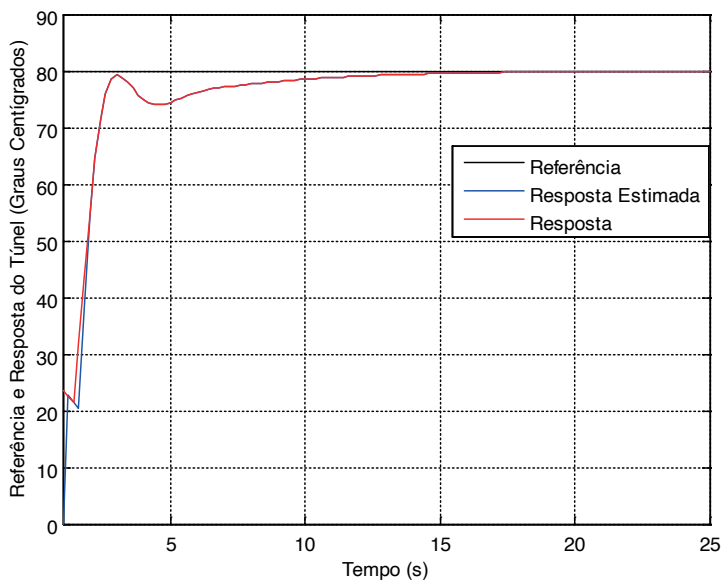


Figura 3. Resposta do túnel sob ação do controlador PID para a referência degrau.

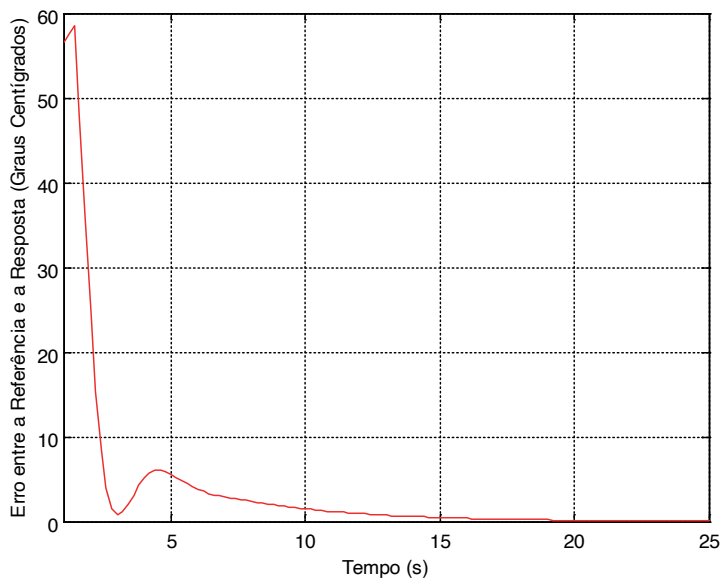


Figura 4. Erro da resposta do túnel sob ação do controlador PID.

A Figura 5 mostra os parâmetros estimados do túnel e observa-se que seus valores se aproximam daqueles do modelo do túnel rapidamente.

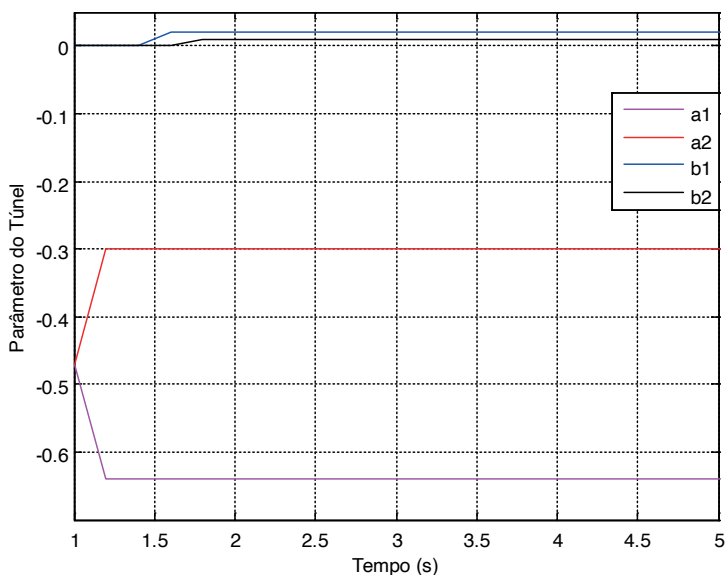


Figura 5. Parâmetros estimados do túnel sob ação do controlador PID.

A Figura 6 mostra as respostas simulada e estimada da temperatura do túnel, sob ação do controlador adaptativo PID de Dahlin projetado, para uma referência sequência de degraus variando-se o intervalo de tempo e a amplitude dos degraus.

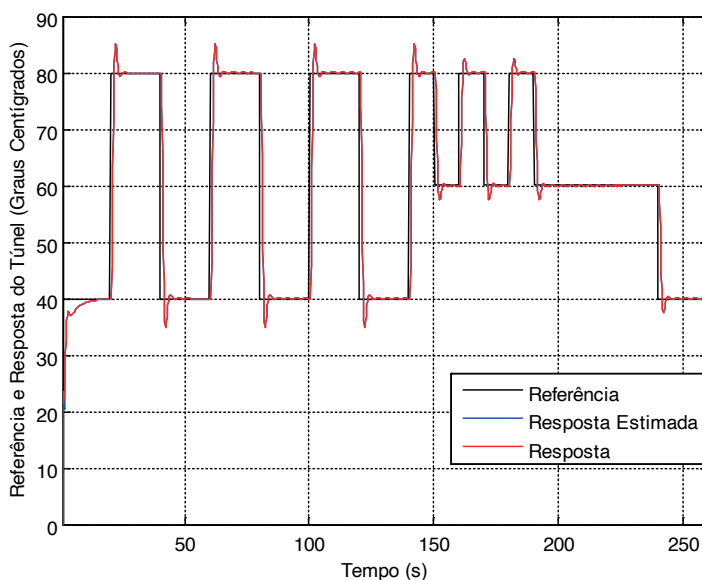


Figura 6. Resposta do túnel sob ação do controlador PID para a referência sequência de degraus.

Observa-se sobressinais máximos de 6,5 % em $t = 62,2, 102,2$ e $142,2$ segundos e regime permanente com erro menor que 2 % após 1 segundo de cada tempo anteriormente citado. A Figura 7 mostra o erro da resposta do túnel sob ação do controlador PID para a referência sequência de degraus. Para essa referência nota-se picos nos valores do erro que ocorrem nas variações dos valores da referência de 40°C para 80°C instantaneamente, enquanto que a resposta do túnel não ocorre dessa forma, como mostra a Figura 6.

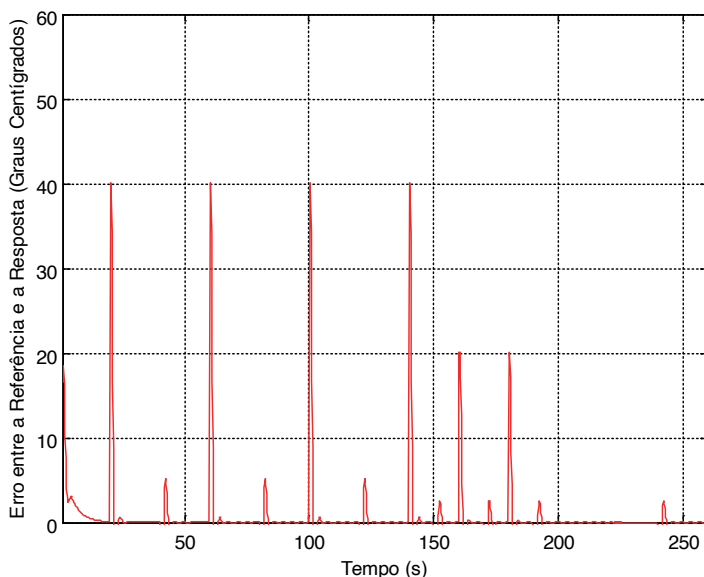


Figura 7. Erro da resposta do túnel sob ação do controlador PID para a referência sequência de degraus.

6 | CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o projeto e implementação do controlador PID adaptativo de Dahlin, para um túnel psicrométrico. Foram mostrados resultados de simulações, utilizando um modelo do túnel. A resposta do túnel sob ação do controlador para a referência degrau, não apresentou sobressinal e o regime permanente foi atingido em 15 segundos com erro menor que 2 %. Na simulação usando referência uma sequência de degraus observou-se sobressinais máximos de 6,5 % em 3 patamares e o regime permanente foi atingido 1 segundo após cada sobressinal, com erro menor que 2 %. Diante dos resultados obtidos conclui-se que o controlador PID adaptativo de Dahlin é satisfatório para aplicações no túnel psicrométrico.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, L. A. **Introdução à identificação de sistemas: Técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais**. UFMG, 2ª Edição, Belo Horizonte, MG, 2000.

ASTROM, K. J. & WITTENMARK, B. **Adaptive Control**. Editora Addison Wesley, 2ª edição, London, 1995.

BEHAR, A. A. e IRANZO, M.M. **Identificación y Control Adaptativo**. Ed. Prentice Hall 1ª edição, Madri, 2003.

COELHO, A.A.R., COELHO, L.S. **Identificação de Sistemas Dinâmicos Lineares**. Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 1ª edição, Florianópolis, 2004.

COELHO, A.A.R., JERONYMO, D.C., ARAÚJO, R.B. **Sistemas Dinâmicos Controle Clássico e Preditivo Discreto Lineares**. Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 1ª edição, Florianópolis, 2019.

HEMERLY, E. M. **Controle por Computador de Sistemas Dinâmicos**. Ed. Edgard Blucher, Ltda, S. Paulo, Brasil, 1996.

LJUNG, L. **System Identification: Theory for the User**. Ed. Prentice – Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, 1987.

MONTENEGRO, P.H.M.; RIUL, J.A.; OLIVEIRA, B.S.; SILVA, S.A. Controladores Adaptativos de Temperatura em um Túnel Psicrométrico. **SBA. Sociedade Brasileira de Automática**, v. 17, p.257 - 264, 2006.

RÚBIO, F.R & SÁNCHEZ, M. J. L. **Control Adaptativo y Robusto**. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, Espanha, 1996.

EFFECTS OF SILICA NANOFIBERS AND MMT CLAY ON MECHANICAL PROPERTIES OF POLYAMIDE 6: A COMPARATIVE STUDY

Data de submissão: 06/10/2023

Data de aceite: 01/12/2023

Edvânia Trajano Teófilo

Federal University of Cariri (UFCA),
Materials Engineering Course
Juazeiro do Norte – CE
<http://lattes.cnpq.br/8243151291427201>

Rosiane Maria da Costa Farias

Federal University of Campina Grande
(UFCG), Academic Unit of Materials
Engineering, Campina Grande – PB
<http://lattes.cnpq.br/7323282283912066>

Ermeson David dos Santos Silva

Federal University of Cariri (UFCA),
Materials Engineering Course
Juazeiro do Norte – CE
<http://lattes.cnpq.br/5128932687931370>

Radamés da Silva Teixeira

Federal University of Cariri (UFCA),
Materials Engineering Course
Juazeiro do Norte – CE
<http://lattes.cnpq.br/8901810597700490>

Gabriel Lucena de Oliveira

Federal University of Cariri (UFCA),
Materials Engineering Course
Juazeiro do Norte – CE
<http://lattes.cnpq.br/6828759563492318>

ABSTRACT: Polymeric nanocomposites have been outstanding in recent years. The most used fillers have been montmorillonite clay (MMT) and silica nanoparticles due to their high aspect ratio. However, the tendency to agglomeration during the process has made it difficult to obtain nanocomposites with desired properties. The use of fillers as nanofibers may prevent such aggregation. This study aims to obtain silica nanofibers, comparing their mechanical properties with MMT as fillers into a polymeric matrix. Nanofibers were obtained by Solution Blow Spinning (SBS) followed calcination process. SEM analyzes was performed indicating the silica fibers in nanoscale. The nanofibers were incorporated in polyamide 6 film-forming solution and the hybrids were submitted to mechanical tests. The best mechanical resistances were obtained with the 1.5% content for both fillers. There was a decrease in the ductility with the increase of the MMT content, but such influence was not observed for silica nanofibers.

KEYWORDS: Silica nanofibers, solution blow spinning, polyamide 6, montmorillonite clay.

1 | INTRODUCTION

The incorporation of inorganic fillers in polymers makes it possible to obtain hybrid materials with greater mechanical resistance, greater thermal stability or with superior optical, magnetic or electrical properties [1]. Among the usual fillers in thermoplastic polymers, montmorillonite clay (MMT) and spherical silica nanoparticles have been the most used. In this context, MMT has stood out in recent years due to its high aspect ratio and the possibility of intercalating/exfoliating its lamellae [2], which promote a greater contact filler/surface of the matrix. However, the tendency to agglomerate during the process has made it difficult to obtain predominantly delaminated nanocomposites. Silica nanoparticles with high surface area also generate expectations of a good interaction with the matrix, and may provide, in addition to better mechanical and barrier properties, flame retardancy characteristics and resistance to chemical agents. [1, 3, 4]. However, the agglomeration of nanoparticles has also limited the obtainment of nanocomposites with the desired properties. An alternative would be to use the load in the nanofibers form, since their high anisotropy associated with high aspect ratio can prevent the aggregation of nanoloads in composite materials [5, 6].

Among the usual spinning techniques, electrospinning has been considered the most used for producing ceramic fibers on a nanometric scale. However, recent studies [7-10] reported the production of ceramic nanofibers by solution blow spinning method (SBS). This method uses a polymeric solution (which may contain ceramic precursors), a spinning matrix composed of concentric nozzles with special geometry (which allows the production of nanofibers analogous to electrospinning), a pressurized gas system (which replaces the high voltage used in electrospinning) and a pressure regulator to control the gas outlet. The solution is pumped at a predetermined and constant rate, until it reaches the tip of the internal nozzle of the matrix. Simultaneously, the pressurized gas flows through the external nozzle. Upon reaching the tip of the nozzle, it drags the solution towards the collector. At this point, the solution is pressed and the polymer chains are stretched, promoting the formation of fibers and evaporation of the solvent. [11, 12].

In this sense, the present work aimed to produce silica nanofibers by SBS and incorporate them in a Polyamide 6 (PA6) matrix to obtain PA6/nanofiber hybrids. In addition, MMT clay was also incorporated into a Polyamide 6 matrix to obtain PA6/MMT hybrids. The hybrids materials were compared from the perspective of mechanical properties. There are few publications in the specialized literature report the use of silica nanofibers as filler in thermoplastics, therefore, a comparative study with a filler widely investigated as MMT has its justified relevance.

2 | EXPERIMENTAL

Polyamide 6 (PA6), supplied by Radici in the form of pellets, was used as a polymeric matrix, which was solubilized in formic acid (85% P.A.) to obtain dense films. Fillers used:

i) commercial montomorilonitic clay, encoded as Cloisite Na⁺, from Southern Clay Products (Texas/USA) ii); silica nanofibers, synthesized at laboratory from a precursor solution containing polyvinyl chloride (PVC), tetrahydrofuran (THF), hydrochloric acid (HCl) and tetraethylortosilicate (TEOS). An unmodified lamellar nanofiller was used to avoid the effect of the surfactant, as the fibrous nanofiller used did not have surface treatment as well.

For the synthesis of the nanofibers, the precursor solution was submitted to the SBS process using compressed air and the following spinning parameters: injection rate of 7.2 mL h⁻¹, gas pressure of 50 psi, working distance of 30 cm and protrusion of 2 mm [13]. The as-spun fibers were calcined at 700 °C to remove organics and other volatiles. The morphology of the fibers was analyzed by a scanning electron microscope (SEM) (Shimadzu SSX-550). The diameters of the fibers were measured using ImageJ (software of National Institutes of Health USA).

The specimens were prepared using PA6 films, which were dissolved in formic acid (13% m/v) under magnetic stirring at room temperature until its solubilization was complete. After the solubilization, the fillers were added. The amount of fillers was determined as being 0%, 1%, 1.5%, 2.5% and 5% in mass. The final solution was deposited in a petri dish for evaporation of the solvent in an oven at 100 °C. The specimens were subjected to tensile tests in TIRATEST 24250 equipment, with a traverse displacement rate of 5 mm/min. The resulting materials were PA6/nanofiber and PA6/MMT hybrids.

3 | RESULTS AND DISCUSSION

Fig. 1a and 1b shows macroscopic images of nanofibers obtained by SBS before and after calcination process. It is observed that the macroscopic appearance not change after the polymer removal, resulting in silica nanofibers mats as cotton-wool-like. SEM image was performed only for calcined fibers, which is possible to evaluate the morphology of the fibers as well as to calculate their average diameter (Fig. 1c). As it can see, the obtained silica fibers were cylindrical and elongated similar to that produced by electrospinning. Fibers diameters were measured by ImageJ software. Fig. 1d illustrates the graph of fibers diameter distribution. Results revealed an average value of 527 nm with a standard deviation of 235 nm. Moreover, through the histogram a wide distribution range is observed, however, approximately 70% of the fibers are found with diameters below 700 nm, a condition that, according to literature observations [14], nanometric fibers can be considered.

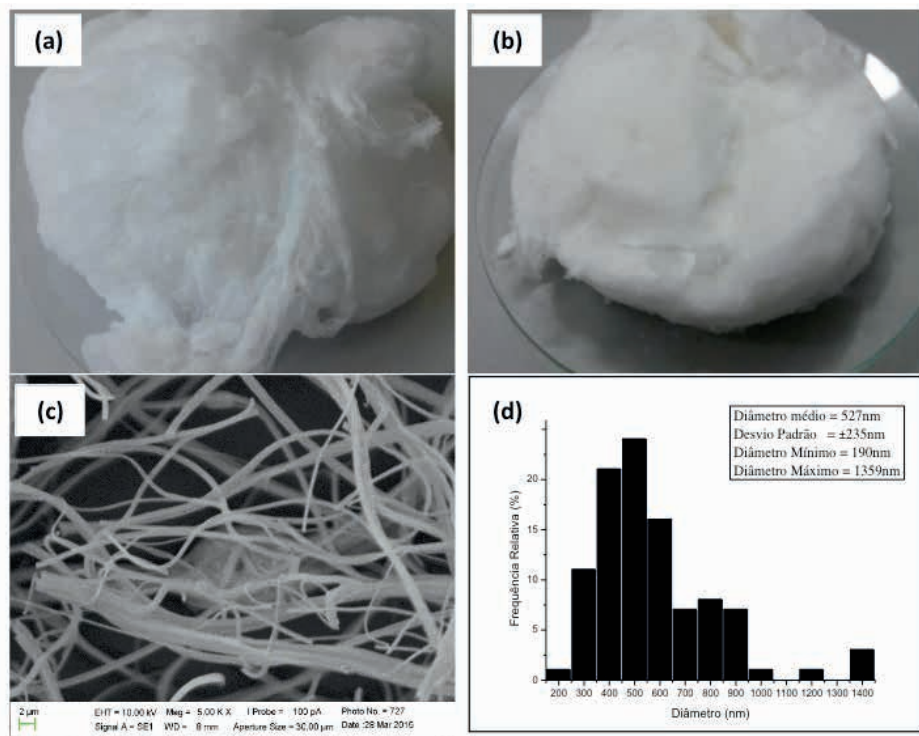


Figure 1. Silica nanofibers obtained by SBS: a) macroscopic image of as-spun nanofibers (PVC/silica); b) macroscopic image of calcined nanofibers (700 °C); c) SEM image of calcined nanofibers; d) graph of the diameter.

It is also observed that, although most fibers obtained are isolated, they can be grouped forming nanofiber “bundles” (Fig. 1c), which impairs the establishment of the average diameter, justifying the value for the standard deviation. This can also be harmful when incorporating such fibers in a polymeric matrix because if the “deinterlacing” does not occur, the “bundles” can provide the same effect of agglomeration of spherical and lamellar nanofillers. To verify this effect, nanofibers were incorporated into a PA6 matrix at different levels and the mechanical properties of the material under tension were measured. As a comparison, a non-organophilized lamellar nanofiller (MMT Na⁺) was used since there is less tendency for this filler to be dispersed in the matrix, facilitating the verification of the agglomeration effect. The results are shown in Figures 2 and 3.

Figure 2 shows that the addition of fillers to the polymer in concentration up to 2.5% follows a similar trend for the two types of fillers studied: mechanical resistance decay with 1% of filler, followed by recovery with 1.5% and subsequent decay with 2.5%. For these filler content, the decrease in mechanical strength was considerable for specimens with nanofibers, reaching up to about 35%, suggesting that the high anisotropy of the nanofibers was not sufficient to avoid the effects of the agglomeration of fillers in those

concentrations – possibly the “nanofiber bundles” previously observed are influencing the tension concentration caused by the charge. However, at higher amount (5% of nanofiber) there is a recovery in mechanical strength of about 20%, making evident the need to study the influence of higher concentrations of nanofiber. It may be that the effect of anisotropy is favored at higher amounts, or it may be that, it acts as a conventional filler, requiring greater concentrations to provide improved properties. As for the lamellar filler, when comparing the pure polymer with the hybrid with 1 and 2.5%, the maximum tension was not very divergent, and it can be said that the clay, although not organophilized, did not negatively influence the mechanic resistance of the material. For 1.5% filler content, the tension increased over than 5 MPa, which indicates that, for this specific concentration, the clay interacted better with the matrix due to a larger surface area available (although without forming greater agglomerates, which will happen in larger quantities) and, consequently, improved the mechanical resistance of the PA6/MMT hybrid. When the clay concentration was 5%, the mechanical strength decreased considerably (~40%), indicating that the clay in this concentration started to act as a stress concentrator, possibly due to the agglomeration of the filler.

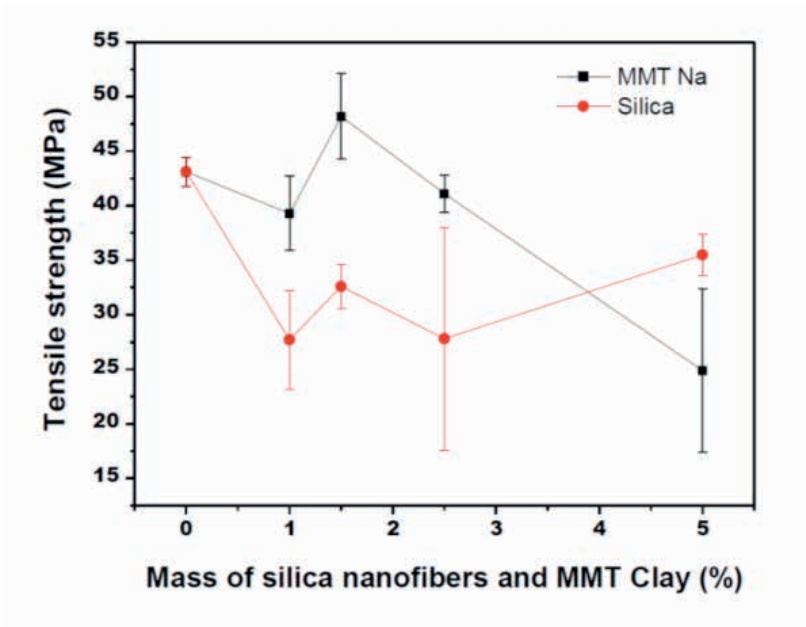


Figure 2. Limit of tensile strength of PA6 with different amount of lamellar (MMT Na+) and fibrous (silica nanofiber) filler.

In Figure 3, there is a noticeable decay of pure material deformation, with the addition of 1% filler, which sums up to about 70% for both charges. However, when increasing filler content, it is possible to notice divergent behaviors for lamellar and fibrous fillers. For instance, silica nanofibers do not show decrease in deformation after subsequent increases

in mass. Therefore, it can be said that the ductility remains constant with the additional filler content. As for the clay, it is possible to notice that the more the MMT concentration increases, the more the elongation of the hybrid film decreases. This indicates that the clay concentration both directly and negatively influences the ductility of the material.

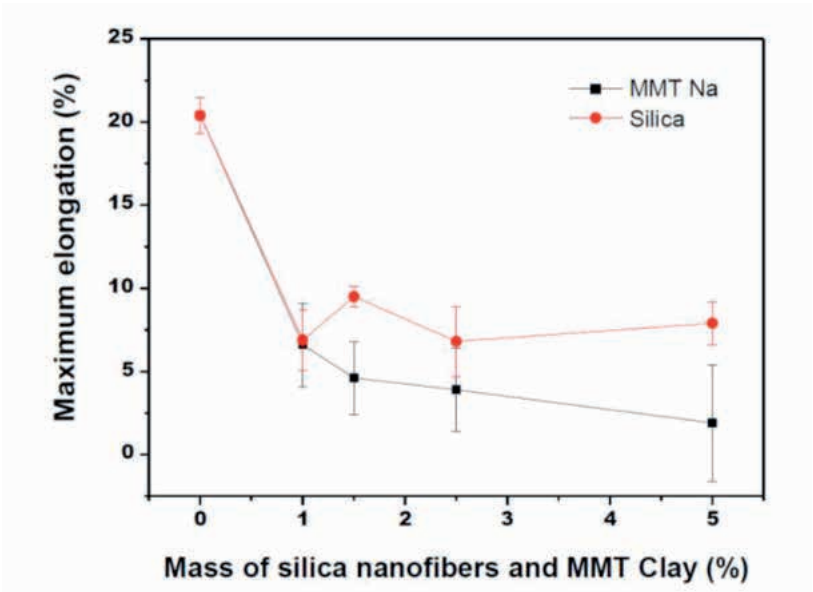


Figure 3. Deformation of PA6 specimens with different amount of lamellar (MMT Na⁺) and fibrous (silica nanofiber) at the moment of rupture during the tensile test.

4 | CONCLUSIONS

The silica fibers produced by the SBS method were within the standards necessary for them to be characterized as “nano”. Even so, the addition of these nanofibers to the polymer caused a considerable decrease in the mechanical strength, indicating that the high anisotropy and aspect ratio of the nanofibers were not sufficient to avoid the effects of agglomeration of charges under the studied conditions. For the MMT clay, the stress-concentrating effect was only evident at concentrations above 2.5%. At low concentrations, the best results were obtained with the content of 1.5% for both fillers and the MMT promoted an increase in mechanical strength for this concentration. In relation to the ductility, it was observed that this property decreases as the MMT concentration increases. This influence was not observed with the use of silica nanofibers, keeping the ductility practically constant with the increase in the filler content.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the Fundação Cearense de Apoio a Pesquisa

(FUNCAP) for the scholarships granted, to the Faculdade de Tecnologia Cariri (FATEC) for carrying out the mechanical tests and to CNPq for the resources released, which enabled the implementation of the SBS system in the region of Cariri.

REFERENCES

- [1] ESTEVES, A. C. C.; BARROS-TIMMONS, A.; TRINDADE, T. NANOCOMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA: ESTRATÉGIAS DE SÍNTESE DE MATERIAIS HÍBRIDOS. **Química Nova**, v. 27, n. 5, p. 798–806, 2004.
- [2] SOUZA, M. A.; PESSAN, L. A.; RODOLFO JR., A. - Nanocompósitos de poli(cloreto de vinila) (PVC)/ argilas organofílicas. **Polímeros**, v. 16, n. 4, p. 257-262, 2006.
- [3] YANG, M.; GAO, Y.; HE, J. P.; LI, H. M. Preparation of polyamide 6/silica nanocomposites from silica surface initiated ring-opening anionic polymerization. **Express Polymer Letters**, v. 1., N.7., p. 433-442, 2007.
- [4] CHAE, D. W.; KIM, B. C. Effects of introducing silica particles on the rheological properties and crystallization behavior of poly(ethylene terephthalate). **J. Mater Sci**, v. 42, p.1238–1244, 2007.
- [5] ANDRADY, A. L. **Science and Technology of Polymer Nanofibers**, in Copyright John Wiley & Sons, 2008.
- [6] SONG, F.; SHEN, X.; LIU, M.; XIANG, J. Microstructure, magnetic properties and exchange–coupling interactions for one-dimensional hard/soft ferrite nanofibers. **Solid State Chemistry**, v.185, p.31-36, 2012.
- [7] FARIAS, R. M. C.; MENEZES, R. R.; OLIVEIRA, J. E.; MEDEIROS, E. S. Production of submicrometric fibers of mullite by solution blow spinning (SBS). **Materials Letters**, v. 149, p. 47-49, 2015.
- [8] FARIAS, R.M.C. et al. Green synthesis of porous N-Carbon/Silica nanofibers by solution blow spinning and evaluation of their efficiency in dye adsorption. **Journal of Materials Research and Technology**, v.9, p. 3038-3046, 2020.
- [9] MOTA, M. F. et al. Synthesis and characterization of alumina fibers using solution blow spinning. **Cerâmica**, v.65, p.190-193, 2019.
- [10] R.M.C. Farias. et al. **Ceramics International**, 2018, 44.
- [11] MEDEIROS, E. S. et al. Solution blow spinning: a new method to produce micro- and nanofibers from polymer solutions. **Journal of Applied Polymer Science**, v.113, p. 2322–2330, 2009.
- [12] OLIVEIRA, J. E. et al. Nano and submicrometric fibers of poly(D,L-Lactide) obtained by solution blow spinning: process and solution variables. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 122, p. 3396-3405, 2011.
- [13] TEÓFILO, E. T. et al. In: Anais do XIV Latin American Symposium on Polymers – XII Ibero American Congress on Polymers, 2014, Porto de Galinhas. **Anais**. Porto de Galinhas: ABPOL, 2014.

[14] NAGAMINE, S. et al. Silica nanofiber with hierarchical pore structure templated by a polymer blend nanofiber and surfactant micelle. **Materials Research Bulletin**, v. 50, p. 108-112, 2014.

A INFLUÊNCIA DO VALOR DE ABSORÇÃO DE ÓLEO DOS PIGMENTOS E DAS CARGAS MINERAIS USADAS NA FABRICAÇÃO DE TINTAS ARQUITETÔNICAS

Data de aceite: 01/12/2023

Almir Pereira da Silva

Graduando em Engenharia Química
Centro Universitário Favip Wyden

Laércio da Cunha Beringuel

Bacharel em Química UFPE (Universidade
Federal de PE)

Anderson Laursen

(Prof: Orientador)

Evandro Queiroz

(Prof: Orientador)

RESUMO: A formulação de tintas realizada adequadamente gera produtos de qualidade e segurança aos usuários, ainda que se trate de tintas cuja característica é econômica. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é estudar as propriedades dos pigmentos e cargas minerais, além de destacar as características específicas de cada pigmento ou carga que é o valor de absorção de óleo (VAO). Como problema de pesquisa, foi proposto: “A influência do valor de absorção de óleo dos pigmentos e cargas minerais podem trazer prejuízos à formulação de tintas arquitetônicas?” Como hipótese, formulou-se a resposta afirmativa, pois o valor de absorção de óleo dos

pigmentos e cargas minerais podem ter um impacto significativo na formulação de tintas arquitetônicas. Assim, como metodologia de nio-se o presente trabalho como um pequeno estudo de caso, onde foi estudada a absorção de óleo dos pigmentos e cargas minerais de tintas arquitetônicas, sendo o desenvolvimento baseado nas fontes indexadas: Scielo e Google Acadêmico. Por m, os resultados aqui evidenciados destacam que. Quanto mais altos forem os valores de absorção de óleo (VAO) dos pigmentos e das cargas minerais usados em determinada formulação de tinta, mais alto também será sua demanda por aglutinante, onde comprova-se que se essa demanda por aglutinante não for suprida os valores de PVC e CPVC aumentam e os aspectos positivos da formulação se- reduz.

PALAVRAS-CHAVE: Pigmentos. Cargas Minerais. Absorção de óleo. Tintas arquitetônicas.

1 | INTRODUÇÃO

As tintas podem ser definidas como uma composição química, geralmente viscosa, composta de um ou mais pigmentos dispersos em um meio aquoso

ou não, em um meio aglomerado líquido que, ao ser aplicadas sobre uma superfície seca, forma um filme opaco e aderente ao substrato. Para a sua formulação é necessário determinar a relação ideal de seus componentes, a fim de se alcançar os parâmetros desejados.

A presente pesquisa abordará uma característica muito relevante dos pigmentos e cargas minerais utilizada em formulações tintas imobiliárias. Dessa forma, é válido ressaltar que muitos dos pequenos fabricantes de tintas arquitetônicas executam suas formulações sem o conhecimento necessário para um correto balanceamento dessas cargas e pigmentos em seus produtos principalmente a linha econômica, que sempre é produzida em maior escala, uma vez que se trata de uma categoria de tintas de alta demanda. Ainda, sabe-se que existem poucos profissionais da área neste mercado, reconhecidos como químicos formuladores de tintas. Fato que abre precedente para muitos dos fabricantes atuarem com imperícia em relação aos princípios básicos de formulação.

Logo surge a necessidade de haver mais formuladores capacitados, a fim de embasar suas formulações adequadamente, tendo como base o empirismo. Além da falta de conhecimento técnico, um outro problema é destacado pelos baixos preços praticados no mercado da referida categoria de tintas, fato que é em parte cometido por fabricantes não associados a Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas (ABRAFATI).

As formulações de tintas podem ser vistas por duas óticas distintas, que, na maioria das vezes se apresentam com análises incompatíveis com a realidade. Uma delas é a de quem visa a máxima qualidade, esse é capaz de trazer satisfação ao consumidor, o perfeito balanceamento e a produção de uma formulação com excelência, não apresentando problemas ao ser aplicada pelos anos subsequentes ao seu uso.

A segunda perspectiva se dá pelo ensejo do lucro e a competitividade de mercado como únicos objetivos através da produção de seus produtores, causando disputa em busca de atender públicos alvos de menor poder aquisitivo. Assim, aquele que vende seus produtos por menores preços, pode transformar um ciclo vicioso que favorece aquele que apresenta produtos fora dos padrões de qualidade, não atendendo as exigências mínimas estabelecidas por normas técnicas.

É possível e se faz necessário modelar formulações econômicas dentro dos padrões exigidos pela ABRAFAT, realizando os procedimentos corretos de formulações, levando em consideração determinados Cálculos. Ao formular uma tinta, deve-se atentar criteriosamente à classificação da tinta e ao seu tipo de acabamento. Esses resultados são adquiridos através das seguintes variáveis: PVC; CPVC, Λ , NVP e NVV. Para que se encontre essas especificações, deve-se compreender o valor de absorção de óleo de cada carga e/ou pigmento, representado por: VAO.

Diante do que foi exposto, surge a seguinte questão norteadora do presente estudo: A influência do valor de absorção de óleo dos pigmentos e cargas minerais podem trazer prejuízos à formulação de tintas arquitetônicas? Como resposta à indagação, tem-se que, sim, o valor de absorção de óleo dos pigmentos e cargas minerais podem ter um impacto

signi cativo na formulação de tintas arquitetônicas.

A absorção de óleo é uma medida da quantidade de óleo que um pigmento ou carga mineral pode absorver. Pigmentos e cargas com alta absorção de óleo podem levar a problemas na formulação de tintas, como a necessidade de adicionar mais solventes e aglutinantes para atingir a consistência desejada, o que pode levar a problemas de desempenho da tinta, como baixa resistência à abrasão e aderência em relação à superfície. Além disso, um alto valor de absorção de óleo pode levar a uma menor estabilidade da tinta, causando problemas de armazenamento e aplicação, além do fato de elevar o custo da fórmula.

Por outro lado, pigmentos e cargas minerais com baixa absorção de óleo podem ser mais eficientes na formulação de tintas, pois toleram menos aditivos para atingir a consistência desejada, além de oferecerem uma melhor estabilidade da tinta e um melhor desempenho. Portanto, é importante considerar o valor de absorção de óleo dos pigmentos e cargas minerais ao selecionar os materiais para a formulação de tintas arquitetônicas. É necessário realizar testes de desempenho e avaliação de estabilidade para garantir a qualidade da tinta final.

Assim, a presente pesquisa justifica-se pela necessidade de haver regulamentação e técnica na formulação de tintas, a fim de garantir boa qualidade na oferta de tais produtos ainda que sejam econômicos. Logo, a importância da qualificação profissional também estabelece mais segurança e competência àqueles fabricantes que se utilizam de determinados materiais, evitando-se problemas futuros.

Por fim, o objetivo geral traçado neste estudo é estudar as propriedades dos pigmentos e cargas minerais, além de destacar as características específicas de cada pigmento ou carga que é o valor de absorção de óleo (VAO).

2 | CLASSIFICAÇÃO DA TINTA E ACABAMENTO

As tintas arquitetônicas por sua vez, de acordo com a ABNT NBR 15079 de 2019, podem ser classificadas como: econômica, standard, premium e super premium, onde dentro dessas classificações pode-se obter os acabamentos fosco, acetinado, semiacetinado, semibrilho e brilhante.

A categoria econômica possui menor resistência aos efeitos do tempo, devendo ser utilizadas em ambientes internos. A sua média de durabilidade é de 2 anos e apresenta uma menor opção de acabamentos. Os cálculos aritméticos abordados para avaliar a classificação e acabamento serão dados por PVC, CPVC e Λ que são dados qualitativos indicadores de equilíbrio ou não. Tais cálculos poderão demonstrar o VAO médio de sua composição de cargas e pigmentos, medindo também o lme seco, e no caso do CPVC é possível alcançar através dele, o valor máximo de pigmento e carga, em percentual, que aquela composição permite, se o PVC ultrapassar de forma muito elevada o CPVC, isso

trará algumas complicações ao consumidor (FAZENDA, 2009).

Nesse sentido, o valor de absorção de óleo (VAO) é determinado pela quantidade de óleo que é suficiente para cobrir as partículas do pigmento e/ou carga mineral e preencher os interstícios entre as partículas. Devem ser medidos em gramas de óleo consumidas por cada grama de carga mineral 100% seca de modo que a quantidade usada seja o suficiente para promover uma trabalhabilidade adequada onde se consegue molda a pasta formada com o óleo e a carga mineral (CASTRO et al., 2005).

O valor de absorção de óleo (VAO) é uma característica específica de cada pigmento ou carga onde cada um possui o seu devido valor. Pode ser medido de forma prática e rápida, sendo a sua execução fundamental na indústria de tintas. Assim, o óleo usado nessa determinação geralmente é o óleo de linhaça. Na execução do teste de absorção de óleo se determina a quantidade de resina acrílica a ser absorvida por parte das cargas minerais, onde essa quantidade é usada como dados para os cálculos das especificações citadas (CASTRO et al., 2005). Neste sentido a Figura 1 representa uma análise prática de valor absorção de óleo de uma carga mineral.



Figura 1- Teste de absorção de óleo (Carbonato de Cálcio precipitado)

Fonte: O Autor, 2023.

A gura acima demonstra de forma pratica uma análise de absorção de óleo, onde os valores obtidos são comparados com os valores fornecidos nos boletins técnicos enviados por fornecedores.

A sigla PVC (Pigment Volume Concentration) é representante da concentração volumétrica de pigmentos, atuando como parâmetro ao entendimento de algumas características de cada tinta, como o lme formado na superfície quando aplicada. Assim, o PVC é a razão entre o VP sobre a soma dos VP e o VVS, como sugere a Equação 1:

$$PVC = \frac{VP}{VP + VVS} \cdot 100 \quad (Eq1)$$

Onde: VP = Volume dos Pigmentos e cargas

VVS = Volume de Veículo (resina) sólida, seca.

Para as tintas arquitetônicas a base de água o polímero mais comum, usado, mas formulações é a Dispersão aquosa de copolímero acrílico-estireno, conhecida como Emulsão Acrílica Estirenada ou resina acrílica, que é geralmente comercializada com 50% ± de sólidos, com uma margem de erro de 2% pra mais ou pra menos. A resina acrílica após evaporação de sua parte volátil deixa uma massa constante de 1,100 a 1,200g/cm³. A média aritmética utilizada como parâmetro é 1,150g/cm³. Ou seja, para efeito de cálculo, a densidade dos sólidos da emulsão acrílica estirenada a 50% de sólidos 1,150g/cm³ será utilizada (PILZ, 2004).

O CPVC (Critical Pigment Volume Concentration), aborda a Concentração volumétrica crítica dos pigmentos está relacionada diretamente com o VAO (Valor de Absorção de Óleo) por parte dos pigmentos e cargas que compõe a tinta. Na composição das tintas, é fundamental incrementar de forma adequada os pigmentos e cargas que irão compor a mesma, para que se tenha um produto nal que atenda às normas técnicas (PETTER et al., 2005).

Matematicamente o CPVC é a razão entre o volume de pigmentos, VP, sobre a soma do volume dos pigmentos, VP, e o volume da resina acrílica absorvida, VVA, conforme especí ca a Equação 2:

$$CPVC = \frac{VP}{VP + VVA} \cdot 100 \quad (Eq2)$$

Onde: VP = Volume dos pigmentos e cargas que compõe as tintas VVA = Volume de veículo (resina) absorvido.

Λ é a relação entre o PVC e o CPVC é de nido como Λ (Λ= PVC/CPVC). Esse parâmetro é importante para de nir o tipo de acabamento desejado na tinta, serve para indicar o quanto está próximo o PVC do CPVC. A importância de se conhecer o Lambda, Λ,

é essencial, juntamente com os demais indicadores, para se ter conhecimento do produto que está sendo formulado (PILZ, 2004).

A junção desses indicadores dá ao Formulador a certeza das qualidades e defeitos do produto formulado e mesmo antes de execução da formula já se tem uma visão razoavelmente clara de alguns aspectos do produto tais como: classificação, Película, se é Fosca; Acetinada; Semibrilho ou Brilhante. Dessa forma, a Equação 3 define a obtenção do Λ .

$$\Lambda = \frac{\text{PVC}}{\text{CPVC}} \quad (\text{Eq 3})$$

Assim, a referida fórmula deve ser aplicada em todos os tipos de formulações como por exemplo Tinta decorativa; Primer de manutenção; Fundo anticorrosivo; etc.

3 | NÃO VOLÁTEIS POR PESO E NÃO VOLÁTEIS POR VOLUME

O NVP (não volátil por peso) é a parte não volátil de uma tinta em relação a sua massa total. A grosso modo a tinta é constituída de materiais voláteis e não voláteis. Como materiais voláteis tem-se os solventes, e grande proporção dos aditivos. Os não voláteis são as resinas, os pigmentos e pequena parte dos aditivos. Enquanto a tinta está na embalagem, com a tampa bem fechada, os compostos voláteis cam impedidos de evaporarem. Depois de aberta a embalagem e principalmente depois de aplicada a tinta, os compostos voláteis evaporam e o que resta na superfície pintada são os sólidos, ou seja, o material não volátil, ou também chamado de material xo. O teor de sólidos pode ser encarado por dois pontos de vista: a quantidade de sólidos que resta na superfície pintada em massa, e em volume.

O NVV (não volátil por volume) é a parte não volátil de uma tinta em relação a seu volume total. De forma análoga ao NVP o NVV trata do volume restante após a evaporação dos solventes e a parte volátil dos aditivos. O NVV é um dos dados principais para a determinação da espessura da película seca em um substrato.

Nesse sentido, a Figura 2 representa o NVV:

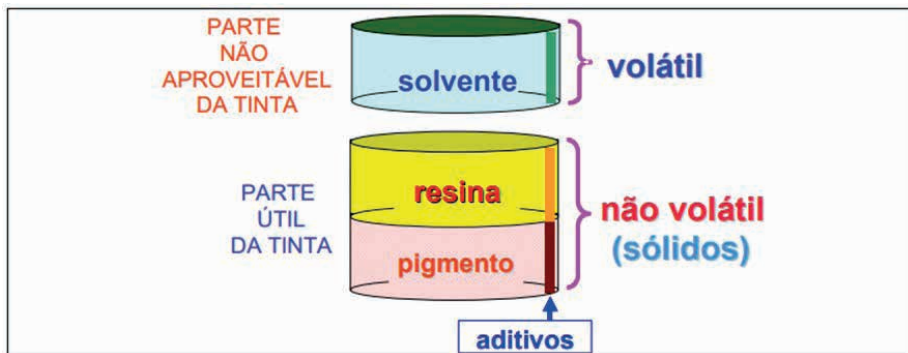


Figura 2 – NVV

Fonte: GNECCO, 2021.

Na Figura acima pode-se observar o desenho esquemático da composição de uma tinta, onde avalia-se o que ca como parte útil da tinta e o que é parte volátil da tinta.

De acordo com Fazenda (2005), os pigmentos são materiais sólidos namente divididos, insolúvel no meio. São utilizados para conferir cor, opacidade, certas características de resistência e outros efeitos. São divididos em pigmentos coloridos (conferem cor), não coloridos, ou seja, branco e anticorrosivos (conferem proteção aos metais).

Como principal pigmento para a produção de tintas é possível citar o dióxido de titânio (TiO_2), devido grande estabilidade química, alta disponibilidade, e também é um importante agente que confere à tinta brilho, cobertura, brancura, durabilidade e opacidade. Geralmente emprega-se de 5 a 20% do TiO_2 nas tintas, conferindo diferentes características e qualidades (DRESSLER et al., 2016).

As cargas minerais, conhecidas como extensores de pigmentos principalmente do dióxido de titânio o TiO_2 , são minerais brancos inorgânicos, obtidos aparte de moagem de roxas como também por precipitação química que em seguida após o processamento são re nadas e separadas através de sua granulometria. São usadas para controlar brilho, textura, cobertura, viscosidade entre outros aspectos (PAULO RICARDO, 2006).

Existe diversos tipos de cargas minerais e a maioria podem ser usadas com nalidade distintas. Os formatos das partículas, grandes partes delas são esféricas, aciculares, laminares ou cubicas onde isso in uência no

empacotamento do pigmento, exibibilidade do lme, resticulação do lme entre outras propriedades. Já o tamanho das partículas, assim como sua distribuição granulométrica in uenciam diretamente nas características das tintas como poder de cobertura, porosidade do lme, demanda de resina e surfactante e brilho. Para o presente trabalho trataremos apenas das seguintes cargas minerais Caulim, Carbonato de cálcio, Agalmatolito, Carbonato de cálcio precipitado onde para cada um deles existe o seu devido VAO (PAULO RICARDO, 2006). Dessa forma, a Tabela 1 apresenta valores respectivos ao mínimo e máximo de

pigmentos e cargas, aspectos, peso e valor de absorção de óleo em tintas.

Pigmento/Carga	Aspecto	Peso Específico	VAO – Valor de Absorção de Óleo
Dióxido de Titânio Rutilo	Pó branco	3,940 – 4,260	16 – 35
Carbonato de Cálcio ppt	Pó branco	2,690 – 2,710	45 – 106
Caulim # 325/400	Pó branco/amarelado	2,620 – 2,680	30 – 60
Dolomita # 550/800	Pó branco	2,690 – 2,710	20 – 26
Dolomita # 275/350	Pó branco	2,690 – 2,710	16 – 22

Tabela 1 – Valores Específicos às Tintas

Fonte: O Autor, 2023.

Os dados mencionados acima foram retirados de boletins técnicos, presentes na vida profissional e diária do autor.

4 | A INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DAS CARGAS MINERAIS NO VAO

A granulometria é determinada para obtenção do mineral adequando, pois, a mesma influência nas seguintes características de uma tinta: opacidade, brilho, reologia (viscosidade), aparência e uniformidade do filme, tempo de dispersão, lavabilidade e cobertura (SEERIG, 2013).

O tamanho das partículas de pigmentos e cargas minerais pode influenciar no valor de absorção de óleo. Em geral, as menores minúsculas tendem a ter uma área superficial maior em relação ao volume, o que pode aumentar o valor de absorção de óleo. Por outro lado, partículas maiores podem ter uma área superficial menor em relação ao volume, o que pode reduzir o valor de absorção de óleo. Além disso, outros fatores, como a forma das partículas, a sua porosidade, a sua composição química e a presença de tratamentos de superfície, também podem afetar o valor de absorção de óleo dos pigmentos e cargas minerais. Por isso, é importante considerar todos esses aspectos ao selecionar os pigmentos e cargas minerais para a formulação de tintas e outros revestimentos (ZHANG et al. 2018).

5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo a norma ASTM284-95, cada pigmento possui uma geometria, densidade e área superficial diferente, a fim de ocorrer a ação da variável absorção de óleo, que influencia diretamente na qualidade da tinta. Portanto tintas com o mesmo teor de sólidos, porém com composições de pigmentos distintas com variação na absorção de óleo, possuirão valores de CPVC muito variados (CASTRO, 2009)

Na categoria de tintas econômicas, as tintas são formuladas com valores de PVC

muito acima do CPVC, e seu lme de tintas seco é muito frágil e poroso. O cálculo de PVC depende do volume ocupado por esses pigmentos, e quanto maior o seu volume e menor a sua densidade, maior será a o seu VAO, ou seja, a quantidade de resina que deverá ser utilizada é maior onde passa a afetar diretamente no custo da formulação, visto que esse VAO é diretamente proporcional à quantidade de resina que deve ser utilizada na formulação (FILHO, 2022).

As cargas minerais mais utilizadas nas tintas produzidas pelos pequenos fabricantes no estado de Pernambuco, devido à baixa oferta regional e o custo elevado com transportes de outros tipos de cargas minerais são; Carbonato de Cálcio Dolomítico (Dolomita), o Silicato de Alumínio (caulim), o Carbonato de Cálcio precipitado (PPT) e como pigmento verdadeiro principalmente para as tintas de cor branca o próprio titânio.

É um fato comum na rotina dos formuladores a exigência por redução de custo nas formulações, principalmente nas indústrias de pequeno porte, onde alguns se deixam levar pelo empirismo e acabam produzindo produtos que fogem dos padrões estabelecido pelas normas técnicas. Uma vez que se tenta formular uma tinta em especial de categoria econômica tem-se que previamente ser calculado o PCV, pois é através desses cálculos que se obtém os conhecimentos fundamentais da tinta a ser formulada, para isso e se faz necessário saber o teor de sólidos da resina utilizada, e as características específicas dos pigmentos escolhidos, que devem ser levadas em conta como a densidade, área superficial e absorção de óleo. Assim, a proporção de polímero x pigmentos no lme seco, deve ser equilibrada, para que a tinta se enquadre no tipo desejado, como também possui baixo custo de produção (WICKS JÚNIOR et al., 2007).

O CPVC é um parâmetro indicativo do mínimo de polímero a ser adicionado para determinada composição de pigmentos, de forma que todas as partículas ali presentes estejam minimamente cobertas pelo polímero. Quando PVC é um valor muito acima do CPVC, tem-se uma quantidade de pigmentos muito maior que a quantidade de aglutinante que irá uni-los, no caso, o polímero. Isso acarreta em uma tinta de baixa resistência à abrasão, que será facilmente lixiviada pela chuva ou até mesmo pelo trânsito de pessoas no local (MÜLLER; POTH, 2011). A Figura 3 mostra a correlação entre pigmentos X resina.

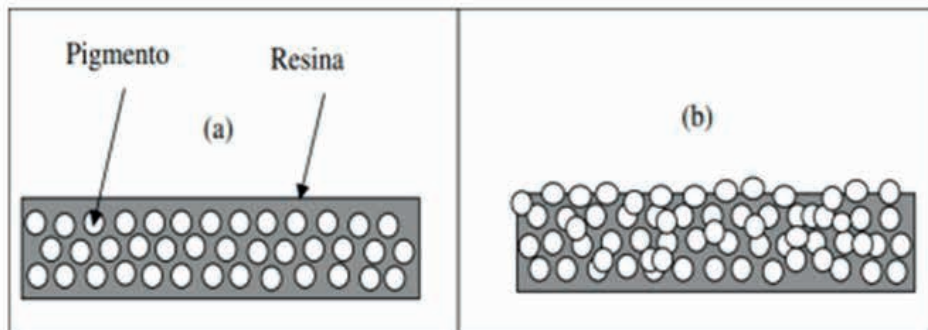


Figura 3- Película seca (a) com boa proporção entre pigmento e ligantes (b) com uma má proporção

Fonte: FILHO, 2022

A Figura acima ilustra o comportamento de um lme de tinta seco entre pigmentos e resina. Onde, isso é chamado PVC, que é a razão entre o volume de pigmentos e/ou carga mineral pela soma do volume de pigmentos e polímeros (MULLER; POTH, 2017).

Grande parte das tintas comercializadas nas categorias standart e econômicas, e de acabamento fosco independentemente do nível do fabricante, possui o valor de PVC superior ao CPVC, desde então quando o PVC ultrapassa o CPVC a formulação começa a sair fora dos parâmetros de adequação daí, passa a se exigir uma certa habilidade do formulador.

Esse aumento do PVC se dá pela tentativa de reduzir o custo do produto, onde se tenta substituir o dióxido de titânio por cargas minerais que são drasticamente muito mais baratas comparadas com o titânio, que um pigmento verdadeiro. Essas cargas minerais que também são chamadas de extensores de titânio, consequentemente devido seu baixo poder de cobertura exigem que sejam adicionadas na formulação em grande quantidade, e boa parte delas em muitos casos só dão algum resultado de cobertura devido ao preenchimento que a mesma causa no lme seco (MÜLLER; POTH, 2011).

Dentre as cargas minerais citadas neste trabalho se encontra o carbonato de cálcio precipitado (PPT), onde quando se tratar de alvura e de poder de cobertura o (PPT) é considerado o melhor em relação as outras cargas citadas, porem quando é adicionado em grande quantidade na formulação, devido ou seu alto valor de absorção de óleo eleva consideravelmente a distância entre PVC e o CPVC, onde passa a exigir uma demanda maior por aglutinante. Dessa forma e necessário adequar criteriosamente o balanceamento entre as cargas pois do contrário a formulação apresentará alguns defeitos (CIULLO, 1996).

A quantidade de aglutinante deve ser o suficiente para agregar as partículas de pigmento e cargas entre si pois pelo contrário o lme seco, cará com pigmentos aglomerados e expostos, devido à alta porosidade que esse lme apresentará, proporcionando inltração de água e oxigênio, possível formação de mofo e oxidação acelerada do polímero e demais

problemas já citados, sendo essa formulação, mais adequada para tintas internas, que não sofrem tanta ação de intemperismos (MULLER, POTH, 2011; FAZENDA, 2009; CIULLO, 1996). Nesse sentido, observa-se a Tabela 2:

A	B	C	D	E	F	G
produto	% MASSA	DENCIDADE	VOLUME	VAO (%)	% RESINA Á ABSORVER	VOLUME RESINA Á ABSORVER
água	49,15					
Bactericida	0,2					
antiespumante	0,25					
espessante acrílico	1,1					
alcalinizante	0,25					
umectante	0,3					
dispersante	0,3					
êmução de parafina	0,4					
águarraz	0,85					
dióxido de titânio	5	4,1	1,219	25,5	1,275	1,109
caulim # 325	5,8	2,65	2,189	45	2,610	2,270
carbonato de cálcio precipitado # 325	6	2,7	2,222	75,5	4,530	3,940
carbonato de cálcio (dolomítico) # 325	18,2	2,7	6,740	19	3,458	3,007
coalescente	0,5					
rezina acríl. 50% sólidos	6,5 2	1,15	2,826 VVS			
fungicida	0,2					
total →	38,25		12,370 VP		11,873	10,326 VVA

Tabela 2 – Formula de tinta acrílica de classi cação econômica com o VAO razoavelmente aceitável para categoria.

Fonte: O Autor, 2023.

Na Tabela acima foi levado em consideração para os cálculos, apenas a resina os pigmentos e as cargas minerais, tendo em vista que o teor de sólidos dos solventes e aditivos somam menos de 2%. Assim, serão expostos a seguir alguns conceitos básicos para formulação de tintas, como o fato de haver o cálculo do CPVC ou PVC, onde deve-se usar o somatório total de pigmentos das cargas minerais para se ter o volume. Esse volume é obtido por meio da Equação 4 a seguir:

$$V = \frac{m}{d} \quad \text{(Eq 4)}$$

Onde: m = massa do pigmento d = densidade do pigmento Dessa forma os dados da coluna D foram obtidos atreves da divisão da coluna B pela coluna C, como evidência os cálculos seguintes, a partir da Equação 5:

$$\text{PVC} = \frac{\text{VP}}{\text{VP} + \text{VVS}} \cdot 100 \quad (\text{Eq 5})$$

$$\text{PVC} = \frac{12,370}{12,370 + 2,862} \cdot 100 = 81,210$$

$$\text{CPVC} = \frac{\text{VP}}{\text{VP} + \text{VVA}} \cdot 100 \quad (\text{Eq 6})$$

$$\text{CPVC} = \frac{12,370}{12,370 + 10,326} \cdot 100 = 54,503$$

$$\Lambda = \frac{\text{PVC}}{\text{CPVC}} \quad (\text{Eq 7})$$

$$\Lambda = \frac{81,210}{54,503} = 1,490$$

Os dados acima citados são referentes à Tabela 2, onde se demonstra uma formulação típica de categoria econômica, percebe-se nos cálculos acima, que o valor do PVC está bem acima do CPVC, e como já foi mencionado antes quando o PVC ultrapassa o CPVC a tinta passa a demonstrar alguns problemas, porém como se trata de uma formulação adequada para áreas internas, torna-se razoavelmente aceitável.

Diante dos dados mencionados acima, foi construída, a Tabela 3, que evidencia em seu conteúdo uma fórmula com o mesmo somatório de pigmentos e cargas, onde serão alteradas as porcentagens entre si e a granulometria das cargas.

A	B	C	D	E	F	G
PRODUTO	% MASSA	DENCIDADE	VOLUME	VAO (%)	% RESINA Á ABSORVER	<u>VOLUME RESINA Á ABSORVER</u>
ÁGUA	49,15					
BACTERICIDA	0,2					
ANTIESCUMANTE	0,25					
ESPESSANTE ACRILICO	1,1					
ALCALINIZANTE	0,25					
UMECTANTE	0,3					
DISPESSANTE	0,3					
ENUÇÃO DE PARAFINA	0,4					
ÁGUARRAZ	0,85					
DIOXIDO DE TITÂNIO	2,1	4,1	0,512	25,5	0,535	0,465
CAULIN # 400	10,9	2,65	4,113	45	4,905	4,265
CARBUNATO DE CAUCIO PRECIPITADO # 325	13,8	2,7	5,111	75,5	10,419	9,060
CARBONADT DE CAUCIO (DOLOMITICO) # 800	8,2	2,7	3,037	23	1,886	1,640
COALECENTE	0,5					
REZINA ACRI 50% SOLIDOS	6,5 2	1,15	2,826 VVS			
FUNGISIDA	0,2					
TOTAL →	38,25 SOLIDOS TOTAIS		12,773 VP		16,925	15,430 VVA

Tabela 3 – Formula de uma tinta acrílica de categoria econômica com o VAO razoavelmente alto.

Fonte: O Autor, 2023

Os cálculos abaixo referem-se às informações da mencionada Tabela 3, seguindo da Equação 8 e seguintes.

$$PVC = \frac{VP}{VP + VVS} \cdot 100 \quad (\text{Eq 8})$$

$$PVC = \frac{12.773}{12.773 + 2,862} \cdot 100 = 81,895$$

$$CPVC = \frac{VP}{VP + VVA} \cdot 100 \quad (\text{Eq 9})$$

$$CPVC = \frac{12.773}{12.773 + 15,430} \cdot 100 = 45,289$$

$$\Lambda = \frac{PVC}{CPVC} \quad (\text{Eq 10})$$

$$\Lambda = \frac{81,895}{45,289} = 1,808$$

Os dados acima citados se referem a Tabela 3, onde evidencia a diferença nos valores de PVC, CPVC e Λ comparados com os resultados da tabela 2, onde foi mantido o mesmo valor do somatório das cargas e pigmentos, e mesma quantidade de resina, e substituído parte das cargas e pigmentos de valores de absorção de óleo (VAO) mais baixo pelas cargas de valores de absorção de óleo (VAO) mais alto, e como consequência se elevou ainda mais o valor do PVC com relação ao CPVC.

Como já mencionado nesse trabalho quando o valor do PVC ultrapassa o CPVC a formulação tende cada vez mais para uma tinta de baixa qualidade, é quando passa a exigir do formulador conhecimento técnico e compromisso profissional com os consumidores.

Diante do que foi exposto, a Tabela 4 apresenta a relação entre Λ e os tipos de acabamentos conhecidos neste trabalho:

Λ	TIPOS DE ACABAMENTO
< 0,50	Acabamentos brilhantes
0,50 a 0,80	Acabamentos acetinados
>0,80	Acabamento fosco
0,80 a 1,00	Primers
>1,00	Massas
> 1,00	Tintas econômicas

Tabela 4 – Relação entre Λ e tipo de acabamento

Fonte: FAZENDA, 2009.

Revestimento	PVC (%)	Valores de Δ	Aspecto (película)
Industriais/Imobiliários	< 20	0,20 a 0,30	Brilhante
Imobiliários	30 a 35	0,35 a 0,55	Semibrilho
	35 a 45	0,65 a 0,90	Acetinado
	45 a 80	1,00 a 1,40	Fosco
Acabamentos Estruturais	38 a 42	0,60 a 0,85	Resistência ao empolamento atrito e risco
Prime de Manutenção	40 a 50	0,75 a 0,95	Resistência a corrosão e ao empolamento
Prime Surface	45 a 55	1,05 a 1,10	Boa ancoragem
Madeira	35 a 42	0,60 a 0,70	Boa penetração no substrato

Tabela 5 – Valores Especí cos de PVC (%) e de Δ em formulações distintas

Fonte: O Autor, 2023.

Os dados mencionados acima foram retirados de formulações e de análises técnicos presentes na vida pro ssional e diária do autor.

Por m, a Figura 4 refere-se a relação do PVC com CPVC, além de destacar a mudança das características visuais como brilho e o surgimento de bolhas:

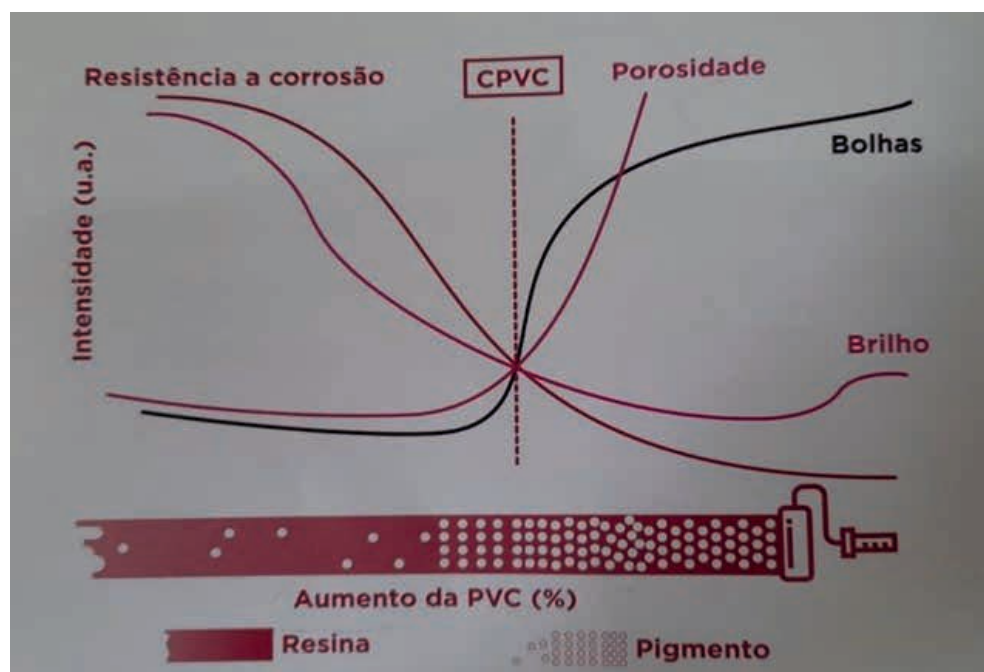


Figura 4 – Relação do PVC com CPVC e mudança de características

Fonte: PAROLIN et al., 2017

Ao avaliar a Figura acima pode-se identi car teoricamente o que acontece quando

o CPVC ou PVC crítico está com o valor elevado. Quanto mais o PVC se afasta pela direita do eixo é possível encontrar as formulações das tintas econômicas. Logo, concluiu-se que as tintas, ditas, econômicas, têm suas melhores performance, quando aplicadas em áreas internas, assim como foram propostas. Como já foi citado anteriormente o PVC crítico ou CPVC é a concentração máximo-crítica em volume de pigmento e/ou cargas minerais que a resina pode agregar, preenchendo todos os interstícios, ou seja, sem haver a descontinuidade do lme. Com os valores elevados o revestimento desenvolve poros e a resina apenas assegura a ligação entre alguns pigmentos e cargas.

É notório que muitas propriedades variam drasticamente quando o CPVC é excedido; no gráfico ilustra o aumento da porosidade do lme, onde o lme tornase mais quebradiço e consideravelmente aumenta o gizamento outro fator é o surgimento de bolhas, onde se dá na redução na quantidade de ligante que está entrelaçando as partículas de pigmento e cargas; No caso de tintas formuladas abaixo do CPVC, verifica-se o surgimento de brilho, onde consequentemente a resistência à água é incomparável com uma fórmula de alto CPVC, onde também há resistência e estabilidade aos agentes de degradação climáticos e na dureza e exibibilidade. Quanto a resistência à corrosão se dá no ponto onde o volume de ligante é suficientemente maior que o volume de pigmento e/ou cargas minerais.

6 | METODOLOGIA

Este é um estudo de caso, o qual foi utilizado o método empírico em relação à absorção de óleo dos pigmentos e das cargas minerais usadas na fabricação de tintas arquitetônicas, experimento em que teve como fundamento bibliográfico as bases de dados indexadas: Scielo e Google acadêmico. Também foram utilizados alguns dados coletados durante um longo período de tempo, ao se avaliar os respectivos VAOs, ao receber os carregamentos de pigmento e das cargas minerais e comparados com seus boletins técnicos, emitidos pelos fornecedores de tais produtos, como também dados coletados em laboratório durante acompanhamentos e elaboração de fórmulas de diversos tipos de tintas a base de água em uma indústria de tintas localizada no interior de Pernambuco onde o autor deste trabalho atua no setor.

7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho abordou-se a importância do conhecimento de algumas características de cada tipo de pigmento e carga mineral usado nas formulações de tintas, principalmente o conhecimento sobre o seu valor de absorção de óleo (VAO) e as vantagens e consequências que essa característica pode trazer as formulações de tintas arquitetônicas principalmente na categoria econômica.

Diante disso pode-se perceber que pigmentos e cargas minerais com valores

de absorção de óleo (VAO) consideravelmente altos, exigem uma maior quantidade de aglutinante para o seu perfeito ancoramento na superfície e de suas partículas entre si, também pode-se perceber que o conhecimento técnico do químico formulador é de fundamental importância na indústria de tintas arquitetônicas seja ela de pequeno, médio ou grande porte; ainda percebeu-se que formulações com as mesmas quantidades de cargas e pigmentos porém com proporções distintas trazem resultados diferentes.

O pequeno estudo de caso deu-se a importância de se conhecer as variáveis:

PVC, CPVC e Λ onde são variáveis dependentes do valor de absorção de óleo (VAO), bem como também a importância do NVP e NVV, a granulometria das partículas dos pigmentos e cargas minerais e as classificações e acabamentos das tintas através dos valores de Λ .

A influência do valor de absorção de óleo (VAO) por parte dos pigmentos e das cargas minerais usadas nas formulações de tintas arquitetônicas, é algo que deve ser observado cuidadosamente, pois é uma grandeza que de ne muitas características nas das formulações de tintas de forma especial na categoria econômica.

REFERÊNCIAS

SEERIG, Rafael. Estudo da influência de cargas minerais utilizadas em tintas imobiliárias. 2013. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

CASTRO, Carmen Dias. Estudo da influência das propriedades de diferentes cargas minerais no poder de cobertura de um filme de tinta. 2009. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

BRITO, B. M. A. et al. (2016). Avaliação de argilas bentoníticas policatiónicas do estado da Paraíba com aditivos para aplicação em perfuração de poços de petróleo e tintas à base de água. *Cerâmica*, 62(361), 45-54. Recuperado em 02 de abril de 2023, de <https://doi.org/10.1590/0366-69132016623611978>.

MAZZO FILHO, Elizeu Alves. Análise de variáveis a fim de otimizar a formulação de tintas imobiliárias econômicas em termos de resistência à abrasão e cobertura. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

CONCEIÇÃO, Paulo Ricardo Nunes da. Utilização de análise multivariada de dados na otimização de misturas de minerais industriais para a formulação de tintas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

DASSOLER, Daniel et al. Avaliação de cargas minerais para utilização como extensores de dióxido de titânio em tintas epóxi. *Revista Vincci-Periódico Científico do UniSATC*, v. 4, n. 1, p. 185-211, 2019.

Manual Descomplicado de Tecnologia de Tintas: Um Guia Rápido e Prático para Formulação de Tintas e Emulsões. Editora Blucher, 2017.

Normas de Sólidos por Volume: ABNT NBR 8621, ABNT NBR 11617, ISO 3233-1 e ASTM D 2697 e ASTM D 3272.

PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MATERIAL CIMENTANTE OBTIDO A PARTIR DE EGAF, GESSO FGD E CINZA DE CALDEIRA DE BIOMASSA

Data de submissão: 06/10/2023

Data de aceite: 01/12/2023

Alessandra Savazzini dos Reis

Ifes, Coordenadoria do Curso técnico em Edificações
Vitória-ES
<http://lattes.cnpq.br/4640894239319046>

Desilvia Machado Louzada

Ifes, Coordenadoria do Curso técnico em Edificações Vitória-ES
<http://lattes.cnpq.br/2486049677883325>

Kathleen Rodrigues Braz

Ifes, Coordenadoria do Curso técnico em Edificações Vitória-ES
<http://lattes.cnpq.br/4133792291628562>

Aline Ferreira Araújo Boone

Ifes, Coordenadoria do Curso técnico em Edificações Vitória-ES
<http://lattes.cnpq.br/0130395229419406>

RESUMO: O cimento Portland (CP) está presente em praticamente todas as etapas das obras de construção civil, desde a infraestrutura até a fase de acabamentos. Em 2022, a produção de cimento Portland no Brasil foi de 63,5 milhões de toneladas (SNIC, 2023). Considerando a alta demanda por materiais cimentantes, pesquisas vêm sendo realizadas em busca

do aproveitamento de resíduos como matéria-prima alternativa. Com o objetivo de introduzir os resíduos industriais gerados no Estado do Espírito Santo na produção de materiais cimentantes, a presente pesquisa propôs avaliar a possibilidade de produção de argamassa com escória granulada de alto forno (EGAF), cinza da caldeira de biomassa (CCB) e gesso FGD (Flue Gas Desulfurization), simultaneamente. Para isso foi avaliada a propriedade mecânica de corpos de prova prismáticos de 40mm x 40mm x 160mm contendo argamassa com diferentes teores dos três resíduos denominadas F1, F2 e F5, além de argamassa com 100% de EGAF. Os resultados mostraram que a formulação F5, contendo 5% de CCB, 85% de EGAF, 5% de gesso FGD alcançou os maiores valores de resistência mecânica, apresentando um valor médio de resistência à compressão de 18,5 MPa, que equivale a 74% da resistência do cimento Portland de classe 25 MPa especificada na norma NBR16697/2018.

PALAVRAS-CHAVE: Escória granulada de alto forno, gesso FGD, cinza de caldeira de biomassa, material cimentante, cimento ecológico.

MECHANICAL PROPERTIES OF CEMENTING MATERIAL OBTAINED FROM GBFS, FGD GYPSUM AND BIOMASS BOILER ASH

ABSTRACT: Portland cement (CP) is present in practically all stages of civil construction work, from infrastructure to the finishing phase. In 2022, Portland cement production in Brazil was 63.5 million tons (SNIC, 2023). Considering the high demand for cementing materials, research has been carried out in search of the use of waste as an alternative raw material. With the aim of introducing industrial waste generated in the State of Espírito Santo into the production of cementing materials, this research proposed to evaluate the possibility of producing mortar with granulated blast furnace slag (GBFS), biomass boiler ash (BBA) and FGD gypsum (Flue Gas Desulfurization), simultaneously. For this purpose, the mechanical properties of prismatic specimens measuring 40mm x 40mm x 160mm were evaluated containing mortar with different contents of the three residues called F1, F2 and F5, in addition to mortar with 100% GBFS. The results showed that formulation F5, containing 5% BBA, 85% GBFS, 5% FGD gypsum achieved the highest mechanical strength values, presenting an average compressive strength value of 18.5 MPa, which is equivalent to 74 % of the strength of Portland cement class 25 MPa specified in standard NBR16697/2018.

KEYWORDS: granulated blast furnace slag, FGD gypsum, biomass boiler ash, cementing material, ecological cement.

1 | INTRODUÇÃO

Na busca pela sustentabilidade nos setores industriais e redução da exploração de recursos naturais, uma alternativa promissora é a produção de novos materiais que aproveitem os resíduos gerados pelas indústrias. No contexto dos materiais cimentantes utilizados na construção civil estão sendo realizadas pesquisas que comprovam a viabilidade técnica de produzi-los a partir de resíduos (TEOREANU et al., 2005; RAUUP-PEREIRA, 2008; BURUBERRI, SEABRA e LABRINCHA, 2015).

Sabe-se que o cimento Portland (CP) está presente em várias etapas da construção, sendo utilizado desde a infraestrutura e supraestrutura até nos sistemas de vedação e de revestimentos. Foi estimado um consumo de cimento Portland no Brasil em 63,5 milhões de toneladas em 2022 (SNIC, 2023), o que enfatiza a necessidade de buscar materiais alternativos cimentantes a partir de resíduos ou que demandem menor energia de produção.

Por outro lado, no Estado do Espírito Santo são gerados resíduos industriais com potencial para utilização na composição de parte da matéria-prima natural do cimento Portland (CP), tais como, resíduos de celulose, resíduo da lapidação de vidro, resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais e resíduos da siderurgia, entre outros (CALDAS, 2016; GRILLO, 2019; TEIXEIRA et al., 2020).

Considerando as possibilidades de utilização dos resíduos industriais, o objetivo da pesquisa é verificar o potencial de utilização simultânea de três resíduos gerados no estado do Espírito Santo, sendo eles a escória granulada de alto forno (EGAF), a cinza de caldeira de biomassa (CCB) e o gesso FGD (Full Gas Desulfurization) para que possa ser aplicado

como material cimentante na produção de argamassa.

A EGAF é um subproduto da indústria siderúrgica na produção do gerro gusa, que se forma pela fusão das impurezas do minério de ferro, das cinzas do coque e da cal utilizada, adquirindo caráter cimentante, e que na presença de substâncias alcalinas forma um composto com elevadas resistências, e maior durabilidade em relação ao cimento Portland (RAJESH, 2013; QURESHI, 2014; TORRES-CARRASCO, 2015). No Brasil, a NBR 16697/2018 possibilita a produção do cimento CP III com até 75% de EGAF. Estima-se que sejam gerados cerca de 1800 mil toneladas de EGAF por ano em 3 alto-fornos da siderúrgica Arcelor Mittal-ES localizada no estado do Espírito Santo (ARCELOR MITTAL, 2019) correspondente a cerca de 200 a 300kg/t de ferro gusa produzido.

Já, o gesso FGD é formado a partir da reação química entre o dióxido de enxofre presente nos gases de combustão e o calcário utilizado no processo de dessulfuração de gases (MOHAUPT, 2019) que ocorre nas siderúrgicas. De acordo com IEMA (2015), é um dos principais resíduos da indústria, alcançando uma geração de 25.000 t/ano. WU et al. (2009) ao investigarem o potencial de aplicação do gesso FGD, observaram que a adição de gesso ao cimento supersulfatado contribuiu para o aumento de sua resistência. Liu et al. (2016) estudaram a substituição do gesso natural por vários tipos de gesso e constataram que a resistência à compressão em idades mais avançadas, do cimento belítico com gesso FGD é superior ao cimento com gesso natural.

Caillahua e Moura (2014) afirmaram que o gesso FGD é um excelente aditivo retardador dos tempos de pega podendo substituir o gesso natural para a fabricação do cimento Portland. Em um CP II E-32 com gesso FGD houve um retardo de cerca de uma hora no tempo de pega em comparação ao gesso natural. No que se refere o seu impacto ambiental, de acordo com a norma da ABNT NBR 10004:2004, constataram que o resíduo é: não perigoso e não inerte.

Em Teixeira (2019) o gesso FGD foi utilizado como adição ao concreto, a análise de difração de raios-X demonstrou que o resíduo possui um alto potencial como adição mineral do tipo filler. O preenchimento dos poros da pasta cimentícia com partículas de gesso FGD, que são conhecidas por sua alta finura, foi um dos fatores responsáveis pelo aumento da resistência à compressão nos concretos testados, resultando em uma matriz cimentícia mais densa.

Pang, Sun e Huang (2020) analisaram argamassas que continham gesso FGD, percebendo que a resistência a compressão e a flexão da argamassa contendo 20% do gesso FGD, teve seu ápice de 4,3 MPa aos 28 dias.

Já, a cinza de caldeira de biomassa pode ser gerada a partir da queima das cascas de madeira da indústria de celulose, que é a estudada nesta pesquisa. As cinzas de biomassa apresentam grande potencial pozolânico e alcalino, o que as torna ainda mais valiosas para diversas aplicações. Assis (2022) estudou vários tipos de cinzas, gerados da agroindústria (palha de milho, casca de soja, casca de café, casca de laranja, casca de banana, folha

de bananeira e folha de bambu) e seus potenciais pozolânicos e alcalinos. Os resultados comprovaram que possuem potencial pozolânico e alcalino, sendo possível a utilização na produção de material cimentante. Tosti et al. (2019) pesquisaram a aplicabilidade da cinza de biomassa em argamassas, os resultados mostraram que a cinza pode ser utilizada em argamassas mesmo considerando uma composição variada apresentada pelas cinzas.

Louzada, Sagrillo e Campi (2018) estudaram como material cimentante, pastas compostas de CCB e EGAF, e obtiveram resultados favoráveis em “pasta” composta por 90% de EGAF e 10% de CCB, resultando na capacidade de alcançar uma resistência mecânica de 64% do cimento Portland CP III-25. A combinação de EGAF com a cinza de biomassa rica em cálcio pode produzir um tipo de material cimentante, pois pode alterar a resistência à água de produtos à base de resíduos de gesso (ZHAO et al., 2007). Em busca de um terceiro resíduo a ser adicionado à mistura de EGAF e CCB, Magesk e Sagrillo (2019) estudaram a possibilidade de produzir uma “pasta” a partir da mistura de resíduos CCB e EGAF com o gesso FGD e, observaram que as formulações apresentadas obtidas a partir desse mix apresentaram resultados de resistência à compressão superior as “pastas” feitas com 100% EGAF. A partir disso, foi proposta a pesquisa do material cimentante formado por CCB, EGAF e gesso FGD em argamassas.

2 | MATERIAIS

Para a produção do material cimentante proposto foram utilizados simultaneamente os três resíduos industriais: escória granulada de alto forno (EGAF), cinza de caldeira de biomassa (CCB) e gesso FGD (Full Gas Desulfurization).

A EGAF foi fornecida por uma empresa cimenteira do ES e apresenta granulometria com 0,05% de material retido na peneira ABNT nº 200 (abertura de malha 0,075 mm). O gesso FGD foi cedido por uma siderúrgica e possui tamanho de partículas com 100% delas menores que 0,056 mm (MOHAUPT, 2019). E a CCB foi doada por empresa beneficiadora de celulose e apresenta uma finura de 12,1% de material retido na peneira ABNT nº 200 (abertura de malha 0,075 mm) e pH de 11,4 (MAGESK e SAGRILLO, 2019).

A areia usada foi a “areia normal brasileira” nas frações: grossa (#16), média grossa (#30), média fina (#50) e fina (#100) que é fornecida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT-SP.

A Tabela 1, apresenta os resultados da análise química dos três resíduos feita por Fluorescência de Raios-X (FRX), sendo que a CCB apresenta perda ao fogo de 18,43% e o FGD de 6,07%.

Óxidos	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
EGAF	40,13	34,91	11,29	0,33	7,37	0,34	2,28	0,14	2,21
CCB	23,97	38,21	7,17	2,55	3,60	1,8	0,97	1,21	1,17
FGD	39,48	0,23	0,07	0,10	0,3	0,06	-	0,12	45,4

Tabela 1 - FRX dos resíduos (% em massa)

Fonte: Adaptado de Magesk e Sagrillo (2019).

A análise química revela que EGAF e CCB têm como principais componentes o óxido de cálcio (CaO) e a sílica (SiO₂); e o gesso FGD possui principalmente óxido de cálcio e anidrido sulfúrico (SO₃). O CaO é oriundo da lama de cal e o SO₃ é retirado dos gases de combustão no processo de dessulfuração na siderúrgica (MOHAUPT, 2019). O óxido de cálcio e a sílica são encontrados na composição do cimento Portland e estão presentes nos resíduos. Esse fato sugere um potencial de mistura para a produção de um material cimentício.

3 | METODOLOGIA

Para avaliar a resistência à compressão foram produzidas argamassas de referência com 100% de EGAF e três diferentes formulações com os 3 resíduos em teores de CCB variando entre 5% e 15%, EGAF entre 80 a 100% e o gesso FGD de 5% a 10% se baseando nos estudos de Magesk e Sagrillo (2019). A Tabela 2 apresenta as formulações F1, F2, F5 e 100%EGAF com os teores estipulados para cada um dos resíduos, onde os 3 resíduos representam o “material cimentante” da argamassa, que foi acrescida de areia normalizada IPT nas quatro frações no traço 1:3 (massa) com relação água/cimento de 0,50.

Resíduos (%)	F1	F2	F5	EGAF
CCB	15	10	5	0
EGAF	80	80	85	100
Gesso FGD	5	10	10	0

Tabela 2 - Dosagens das misturas (% em massa)

Fonte: Adaptado de Magesk e Sagrillo (2019).

Para garantir a homogeneidade da mistura dos três resíduos, estes foram previamente misturados com auxílio de um fouet. A partir daí, dosagem, mistura e moldagem seguiram as recomendações da NBR 16738/2019. Foram moldados, para cada traço, 3 corpos de prova prismáticos de seção transversal 40mm x 40mm e 160mm.

Foi considerada massa seca total de resíduos de 450 g (contendo os resíduos nos teores constantes na Tabela 2), 1350 g de areia e 225 g de água. Foram moldados os corpos de prova, desformados em 24h, e depois disso, foram imersos em água para a cura.

Aos 28 dias foi determinada a resistência à tração na flexão dos corpos de prova prismáticos (Figura 3a). O ensaio foi realizado em máquina universal EMIC DL10000, a uma velocidade constante (50±10) N/s de carregamento com distância entre apoios de 100 ± 0,5 mm.

A resistência à tração na flexão ($f_{t,f}$) foi calculada por meio da Equação 1.

$$f_{t,f} = \frac{1,5 \times F \times a}{b^3} \text{ (MPa)} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: F=força (N); a=distância entre apoios (mm); b=lado da seção transversal do prisma (mm)

Ao fim do ensaio, os corpos de prova foram divididos ao meio no rompimento (Figura 3b), e com as metades foi determinada a resistência à compressão (Figura 3c). O ensaio foi realizado na EMIC DL10000 com auxílio de duas placas metálicas de 40 mm x 40 mm em contato com as superfícies superior e inferior dos corpos de prova. As forças aplicadas nos corpos de prova foram aumentadas de forma uniforme a uma velocidade de 2400 ± 200 N/s.

A resistência à compressão (f_c) foi calculada por meio da Equação 2.

$$f_c = \frac{F_c}{1600} \text{ (MPa)} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: Fc=força (N); 1600=área das placas auxiliares (mm²)

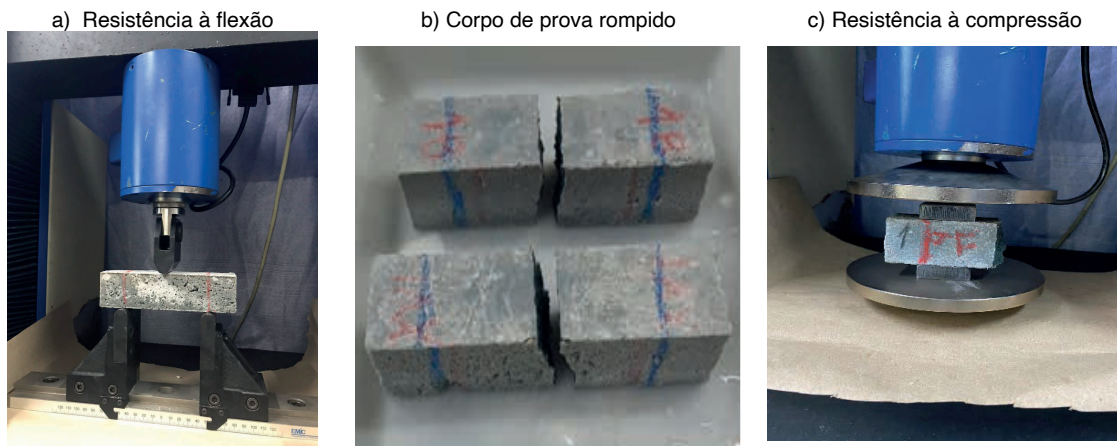


Figura 3 – Detalhes do teste de resistência mecânica

Fonte: Autores (2023).

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta os resultados de resistência à tração na flexão dos corpos de prova das formulações F1, F2, F5 e 100%EGAF. O maior valor encontrado de resistência à tração na flexão foi obtido por F5.

	F1	F2	F5	100% EGAF
Resistência à Tração na Flexão (MPa)	3,5	3,1	4,1	0,1
Desvio padrão (MPa)	0,5	0,8	0,7	0,1

Tabela 3 - Resistência à tração na flexão

Fonte: Autores (2023).

A Tabela 4 apresenta os resultados individuais obtidos a partir do ensaio de resistência a compressão aos 28 dias de F1, F2 e F5. Os corpos de prova da EGAF se desfizeram no teste de flexão não sendo possível medir a resistência à compressão.

	cp 1	cp 2	cp 3	cp 4	cp 5	cp 6	Fck Médio(MPa)	SD (MPa)
F1	13,4	11,2	12,4	10,0	12,3	11,5	12,2	0,8
F2	14,6	14,6	15,1	13,8	14,4	14,1	14,4	0,5
F5	19,5	19,9	18,8	18,1	16,9	18	18,5	1,0

Nota: Fck=resistência à compressão; F1, F2, F5= misturas dos resíduos; cp=corpos de prova; SD=desvio padrão

Tabela 4 -Resistência à compressão

Fonte: Autores (2023).

A Figura 4 apresenta os valores médios da resistência à compressão obtidas das misturas tendo como referência o valor normalizado do cimento CP III-25 (NBR 16697/2018). Observa-se que F5 representa 74% do valor da resistência especificada em norma para cimentos de 25 MPa. Observa-se uma melhoria na resistência se comparada aos valores encontrados por Campi e Sagrillo (2018) que alcançaram uma resistência mecânica em pasta contendo CCB e EGAF de 64% da resistência do CP III-25, ou seja, com a adição do FGD aos dois resíduos, a resistência teve um aumento de 10% comparado a pasta de CCB e EGAF. Esse incremento para 74% da resistência do CP III-25 ocorreu, provavelmente, pela adição do gesso FGD que agiu como filler, tornando a argamassa mais densa e por isso com maior resistência mecânica conforme estudado por Teixeira (2019), onde a ação filler do FGD contribuiu para a melhoria da resistência à compressão.

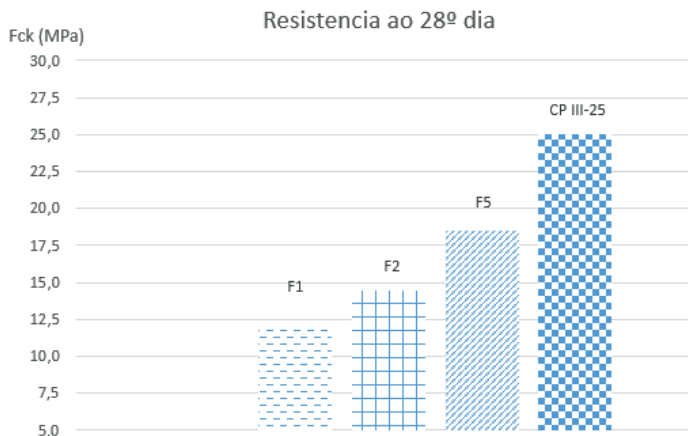


Figura 4 – Resultados médios de resistência à compressão

Fonte: Autores (2023).

5 | CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, a formulação F5 demonstrou o melhor desempenho, alcançando 74% da resistência à compressão do cimento CP III-25. Esta evolução se deve, provavelmente, a ação *filler* do FGD que deve ter aumentado a compacidade da argamassa se refletindo em aumento da resistência mecânica. É possível concluir que os três resíduos testados simultaneamente como material cimentante obtido sem queima em argamassa tem propriedades cimentantes.

REFERÊNCIAS

ARCELOR MITTAL. **Escória de alto forno**. Disponível em <https://brasil.arcelormittal.com/produtos-solucoes/coprodutos/coprodutos/escoria-alto-forno>. 2019. Acesso em 27/09/23

ASSIS, L.F. **Caracterização de cinzas de biomassa e potencial de aplicação como material pozolânico ou ativador alcalino**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Ilha solteira, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16738: Determinação da resistência à compressão de corpos de prova prismáticos**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004: Resíduos sólidos - classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

BURUBERRI, L. H.; SEABRA, M. P.; LABRINCHA, J. A. Preparation of clinker from paper pulp industry wastes. **Journal of Hazardous Materials**, n. 286, p. 252-260, 2015.

CAMPI, H.M.; SAGRILLO, V.P.D. Relatório IC PJ 4434 - PT Nº 5710. **Material Cimentante com Resíduos Kraft e Escória de Alto Forno.** (2017-2018) Ifes-Campus Vitória. Orientadora: Viviana Possamai Della Sagrillo. Edital 2017.

HEMA. **Inventário de Resíduos SOL Coqueria Tubarão S/A.** Cond. Nº. 09, LO nº 276/2013. Biênio 2014/2015. Instituto Estadual de Meio Ambiente do Estado do Espírito Santo. 2015.

LIU, B.; WANG, S.; CHEN, Y.; GONG, C.; LU, L. Effect of waste gypsum on the setting and early mechanical properties of belite-C2.75B1.25A3S cement. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Hungary, mar, 2016.

MAGESK, E. P.; SAGRILLO, V.P.D. Relatório ICPJ 4434 - PT nº 8019. **Desenvolvimento de Materiais Cimentantes sem Clínquer** (2018-2019) Ifes-Campus Vitória. Orientadora: Viviana Possamai Della Sagrillo. Edital 2018.

MOHAUPT, A. F. **Influência do resíduo da dessulfuração de gases da coqueria em tijolos de solo-cimento utilizados na construção civil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais). PROPEMM. Ifes. 2019.

PANG, M.; SUN, Z.; HUANG, H. Compressive Strength and Durability of FGD Gypsum-Based Mortars Blended with Ground Granulated Blast Furnace Slag.-**Materials**. 13 (15), 3383, 13p, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13153383>

QURESHI M.D., GHOSH S. Alkali-Activated Blast furnace Slag as a Green Construction Material. **IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering**. (2014) 24-28.

RAUPP-PEREIRA, F. et al. New waste based clinkers: Belite and lime formulations. **cement and concret research**, v. 38, p. 511-521, 2008.

RAJESH, D.V.S.P. et al. Performance of alkali activated slag with various alkali activators. **International Journal of Innovative Research in Science. Engineering and Technology**, v. 2, p. 378-386, 2013.

SNIC Sindicato Nacional da Indústria de Cimento. **Dados do setor.** Disponível no site <http://snic.org.br/numeros-do-setor.php>. Acesso em 27/09/23.

TEOREANU, I.; VOLCEANOV, A.; STOLERIU, S. Non Portland cements and derived materials. **Cement and Concrete Composites**. 2005, v.27, p.650-660.

TOSTI, L.; VAN ZOMEREN, A.; PELS, J. R.; DIJKSTRA, J.J.; COMANS, R. Chemosphere. 2019 May;223:425-437. DOI: 10.1016/j. **Chemosphere**. 2019.02.045. Epub 2019 Feb 11, 2019. PMID: 30784749.

TORRES-CARRASCO, M. et al. Durability of Alkali-Activated Slag Concretes Prepared Using Waste Glass as Alternative Activator. **ACI Materials Journal**, v.112, p. 791-800, nov. 2015.

WU, H.; LU, L.; CHEN, C.; LIU, S.; WANG, H.; CHENG, X. Influence of gypsum on composition and performance of hardened paste of belite-barium. **Advances in Cement Research**, 2009, 21, No. 4, October, 169–174. China.

SUICIDE PREDICTION IN WORKERS USING NAIVE BAYES

Data de aceite: 01/12/2023

Daniel Alejandro Barajas Aranda

Universidad Autónoma de Aguascalientes,
Aguascalientes, México
[0000-0002-8220-3877]

María Dolores Torres Soto

Universidad Autónoma de Aguascalientes,
Aguascalientes, México
[0000-0002-7245-1076]

Aurora Torres Soto

Universidad Autónoma de Aguascalientes,
Aguascalientes, México
[0000-0002-2930-824X]

ABSTRACT. The suicidal tendency is a noticeably big problem in Aguascalientes, Mexico, especially in the young and working population, which constitutes more than 50% of completed suicides. This brings with it a great affectation to the economy of the state, not only when the workers manage to commit suicide, but also when it is only attempted, since their work responsibilities are stopped. In this study, a database compiled by the psychology department of the Autonomous University of Aguascalientes with factors associated with mood is analyzed, in which we can find features associated with sleep disturbance, self-esteem problems,

and even affectations in the weight. This database contains information on people with suicidal tendencies, and a control group. To identify the key features that suicidal people present, the total set of typical testors was obtained and the informational weight of each feature was obtained. In the same way, a predictor was made using a classifier based on the naive bayes theory, analyzing its effectiveness with the total set of features, and using only the best features, with an informational weight greater than 40%.

KEYWORDS: Suicide, Typical testors, Prediction.

1 | INTRODUCTION

In Aguascalientes the suicide rate is very high. Since 2012 there were more than 100 suicides per year, and this situation is increasing as years go by [1]. In 2020, a historical value of 184 suicides was obtained. On the other hand, for every completed suicide there are at least 10 suicide attempts [2].

Among the most serious consequences is the social impact,

especially related to the economy, since a large number of suicides are performing some work activity, and are at a highly productive age [1].

As can be seen in figure 1, the ages of suicides are especially concentrated in the range of 20 and 24 years, with a decrease in cases as age increases.

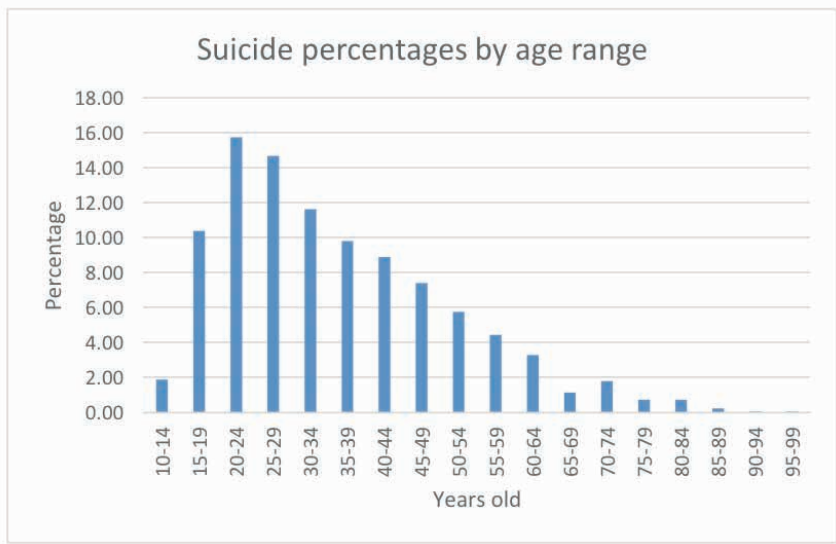


Fig. 1 Suicide percentages by age range [1].

On the other hand, as can be seen in figure 2 only 29.31% of the people who commit suicide are not working, thus causing a great problem by destabilizing the economy of the state, and the health of the companies since 70.69 % of suicidal are engaged in some economic activity

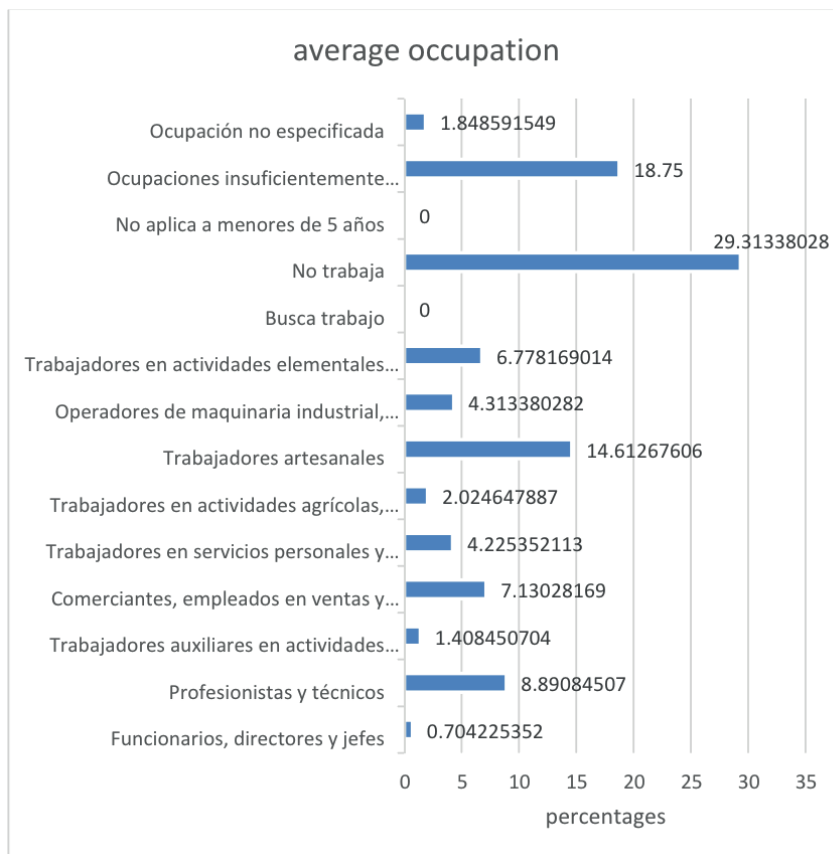


Fig. 2. Percentages in activities of suicidal people [1].

Using a computational tool based on CUDA [3], the set of all typical testors associated with a database with information on suicidal people and a control group have been identified. This database was compiled by the psychology department of the Autonomous University of Aguascalientes and contains information about mood and stress level.

1.1 Suicide

Suicide, as its definition indicates, is the act by which a person voluntarily ends his own existence [4]. In other words, this person presents the loss of neuroencephalic or cardiorespiratory constants in a definitive and irreversible way [2].

In this study, the features associated with the state of mind and the sociocultural environment experienced by the people surveyed are grouped together, features that according to Barajas [5] fit within the factors by which people commit suicide.

1.2 Combinatorial logic approach

Testor theory was formulated in the mid-1950s in the former Soviet Union of Socialist Republics (USSR) as one of the independent scientific directions of mathematical cybernetics [6]. Testors were first used to find faults in electrical circuits.

A testor is a set of features capable of distinguishing among classes, because no object of a certain class can be confused with one of another class [7]. And a typical testor is one that contains the minimum number of features, so losing one of them, implies that this group stops being a testor.

The informational weight tells us the number of times a feature appears in the total set of typical testors. So, this percentage gives us the level of importance of each feature.

1.3 Naive Bayes

Bayes' theorem expresses the conditional probability of a random event A given B in terms of the conditional probability distribution of event B given A and the marginal probability distribution of just A .
$$A\}$$

Where $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ is a set of mutually exclusive and exhaustive events, such that the probability of each of them is different from zero. Let B be any event for which the conditional probabilities $P(B|A_i)$ are known. Then the probability of $P(A_i|B)$ is given by the expression 1 [8]:

$$P(A_i|B) = \frac{P(B|A_i)P(A_i)}{P(B)} \quad (1)$$

Where:

$P(A_i)$ are the prior probabilities

$P(B|A_i)$ is the probability of B in hypothesis A

$P(A_i|B)$ are the posterior probabilities

2 | METHODOLOGY

To conduct this article, a methodology that combines obtaining typical testors and a Bayesian classifier was followed. This methodology is shown in Figure 3 and described below.

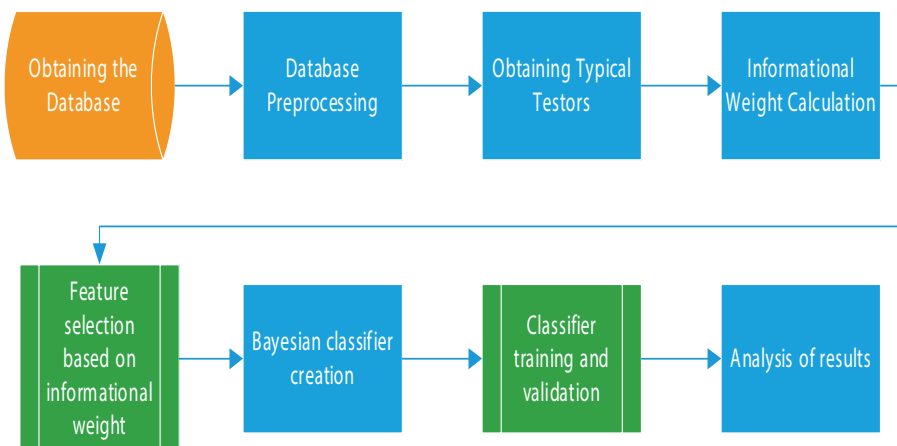


Fig. 3. Methodology

As a first step, a database was obtained, this consists of forty-one features that show the state of mind of a person, as well as their overcrowding, age, and occupation.

After this, the database was cleaned, eliminating incomplete and/or duplicate records, leaving a total of seventy suicidal people and 252 belonging to the control group.

Using a tool based on CUDA [3], the total set of typical testors associated with the database were obtained, and after this the variables whose informational weight exceeded 40% were selected.

A Bayesian classifier was created using the full set of features, training 80% of the data, and then evaluating it with the remaining 20%. This same step was conducted using only the features with an informational weight greater than 40%.

3 | RESULTS

As a result of the typical testors calculation, a total of 33,125 testors were obtained. Then the informational weight was obtained, resulting in nine features with an informational weight greater than 40%, which can be seen in Table 1.

Feature		Informational weight
CD5	slept without rest	47.443
CD7	could not move on	41.221
CD8	nothing made me happy	41.387
CD9	felt that I was a bad person	73.966
CD11	slept more than usual	44.587
CD14	felt like I was dead	44.738
CD15	wanted to hurt myself	40.702
CD17	was disgusted with myself	42.942
CD18	lost weight without trying	40.744

Table 1. Informational weight

A Bayesian classifier was created and feed with the set of all the features and another using only the features with an informational weight greater than 40%.

For the first case with all the features of the matrix, an effectiveness of 0.71 was obtained. The confusion matrix obtained is shown in table 2.

confusion matrix			
predicted class	0	27	29
	1	22	99
		0	1
true class			

Table 2. Confusion matrix all features

The second experiment was conducted using only the features with informational weight greater than 40%. This times an effectiveness of 0.76 was reached. Results are shown in the confusion matrix in Table 3.

confusion matrix			
predicted class	0	25	19
	1	24	109
		0	1
true class			

Table 3. Confusion matrix features with 40% informational weight

4 | CONCLUSION

In the work it is possible to appreciate that the main features that influence the decision to commit suicide are those related to the sleep cycle (sleeping more than usual,

and sleeping without resting) and weight loss without trying, aspects that are closely related to suicidal thoughts

The features of being a bad person has an extremely high informational weight. Which indicates that people with suicidal tendencies experience problems in self-assessment

Similarly, the use of typical testors as a mechanism for reducing features is particularly useful, especially when creating classifiers. In terms of effectiveness, it can be seen that with only a part of the features, the same or even better results are obtained, so it is possible to eliminate redundant features and only keep those with a high informational weight.

As future work, a greater number of samples will be collected, in order to train the classifier more exhaustively, and the creation of a multilayer neural network will be chosen to improve precision.

REFERENCES

- [1] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, “Estadísticas Vitales Defunciones generales,” 2022.
- [2] N. Campos, “Diplomado en el Protocolo de Actuación (PROL-SMDIFAGS-SUIC/2016).” 2016.
- [3] D. A. Barajas Aranda, A. Torres Soto, and M. D. Torres Soto, “DBT an Algorithm Based on CUDA for Reducing the Time to Obtain Typical Testors,” *Res. Comput. Sci.*, vol. 150 (9), 2021.
- [4] “Definición de suicidio - Diccionario del español jurídico - RAE.” [Online]. Available: <https://dej.rae.es/lema/suicidio>. [Accessed: 26-Nov-2019].
- [5] D. Barajas, “Identificación de Factores de Riesgo determinantes en el suicidio en Aguascalientes mediante la técnica de Testores Típicos,” Universidad Autonoma de Aguascalites, Aguascalientes Mexico, 2017.
- [6] A. N. Dmitriev, Y. I. Zhuravlev, and F. P. Kredeleiev, “On mathematical principles of object and phenomena classification, Discrete Analysis,” pp. 3–15, 1966.
- [7] J. R. Shulcloper, A. Guzmán, and J. F. Martínez, *Enfoque Lógico Combinatorio al Reconocimiento de Patrones*. Mexico: Instituto Politécnico Nacional, 1999.
- [8] C. M. Bishop, *Neural Networks for Pattern Recognition*. Clarendon Press, 1995.

PAINEL MONOLÍTICO EM EPS: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Data de aceite: 01/12/2023

Wanderson de Andrade Simplício

Nathaly Sarasty Narváez

RESUMO: O Painei Monolítico em EPS representa uma abordagem inovadora para otimizar os processos na construção civil, proporcionando alternativas construtivas e soluções que promovem eficiência na indústria da construção. Nesse contexto, a análise bibliométrica desempenha um papel crucial na construção de uma base sólida de conhecimento científico, permitindo que os pesquisadores avaliem a importância acadêmica dos trabalhos existentes. Este estudo tem como objetivo identificar as características mais proeminentes dos artigos mais influentes relacionados ao Painei Monolítico em EPS, como seus principais autores, países de origem e áreas de estudo mais relevantes dentro desse campo. Para isto, utilizou-se a metodologia do *Methodi Ordinatio*, uma abordagem amplamente reconhecida que oferece uma estrutura confiável para a revisão bibliométrica, aumentando a precisão na seleção de trabalhos relevantes. A análise revelou um total de 35 artigos de alta

relevância, que foram avaliados com critérios como o ano de publicação, o número de citações e o fator de impacto. Os resultados da pesquisa indicam um interesse limitado ao longo do tempo no sistema construtivo em Painei Monolítico em EPS, visto que a maioria das produções acadêmicas está relacionada ao estudo do material por meio de ensaios em laboratórios. Autores de diversas regiões do mundo contribuíram para o diálogo, trazendo perspectivas diversas e enriquecedoras para o campo. Essa análise bibliométrica oferece uma visão completa do estado atual da pesquisa relacionada ao Painei Monolítico em EPS, destacando a importância contínua de explorar e aprofundar esse campo.

PALAVRAS-CHAVE: Tecnologia, Painei Molonítico em EPS, Revisão bibliométrica, Methodi Ordinatio, Web of Science.

EXPANDED POLYSTYRENE (EPS) SANDWICHED CONCRETE PANELS: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS

ABSTRACT: The EPS Monolithic Panel represents an innovative approach to optimizing construction processes, providing construction alternatives and solutions that promote efficiency in the construction

industry. In this context, bibliometric analysis plays a crucial role in building a solid base of scientific knowledge, allowing researchers to assess the academic importance of existing work. This study aims to identify the most prominent characteristics of the most influential articles related to the EPS Monolithic Panel, such as their main authors, countries of origin and most relevant areas of study within this field. To do this, the *Methodi Ordinatio* methodology was used, a widely recognized approach that offers a reliable framework for bibliometric review and increases precision in the selection of relevant works. The analysis revealed a total of 35 highly relevant articles, which were evaluated using strict criteria, including the year of publication, the number of citations and the impact factor. The results of the research indicate a limited interest over time in the EPS Monolithic Panel construction system, since most of the academic productions are related to the study of the material through laboratory tests. Authors from different regions of the world contributed to the dialog, bringing diverse and enriching perspectives to the field. This bibliometric analysis provides a complete overview of the current state of research related to the EPS Monolithic Panel, highlighting the continued importance of exploring and deepening this field.

KEYWORDS: Technology, Expanded Polystyrene (EPS) Sandwiched, Bibliometric Analysis, *Methodi Ordinatio*, Web of Science.

1 | INTRODUÇÃO

Os painéis monolíticos fabricados com poliestireno expandido (EPS) têm ganhado popularidade na construção devido à sua versatilidade, custo reduzido e velocidade de execução, sendo que a compreensão da metodologia empregada nos estudos existentes sobre esses painéis é fundamental para identificar tendências e lacunas na pesquisa. Segundo Souza (2019), a origem dos painéis com poliestireno expandido (EPS) remonta a um projeto italiano desenvolvido em uma região sujeita a terremotos, com o intuito de criar uma estrutura monolítica que não desmoronasse e incorporasse elementos de isolamento térmico.

Segundo Moura e Santos (2019) o painel monolítico surgiu na Itália por volta de 1980 com o principal objetivo de atender às situações climáticas da região, para fornecer um melhor conforto e chegou no Brasil no final do século XX. Esse método envolve a integração do EPS com malhas de aço, revestimento de argamassa reforçada que resulta em um sistema um terço mais leve que o bloco cerâmico e três vezes mais resistente (ARAÚJO et al., 2022, p. 2). No Brasil, conforme indicado por Paula e Teixeira (2019) em seus estudos, a adoção desse método tornou-se mais comum na década de 1990, mas ainda não é amplamente empregado na construção.

Segundo Alves (2015) o sistema construtivo monolite é um sistema que permite a construção de casas e edifícios dos mais simples aos mais complexos de até quatro andares sem necessidade de pilares ou vigas, pois, o próprio método construtivo sustenta a edificação, transmitindo uniformemente as cargas para as fundações.

Neste estudo, foi empregada a metodologia *Methodi Ordinatio* para conduzir uma

análise sistemática da literatura relacionada a painéis monolíticos em EPS. Essa abordagem segue uma perspectiva realista-normativa, na qual as decisões são delegadas a um modelo universal que avalia a relevância dos artigos. A metodologia proporciona uma estratégia de busca e coleta de trabalhos relacionados a um tema específico, descartando aqueles que não atendem aos critérios de relevância. A avaliação sistemática da relevância científica é conduzida por meio da aplicação da equação InOrdinatio, que considera três fatores essenciais: o número de citações, o ano de publicação e o fator de impacto (PAGANI et al., 2015).

O cenário em questão abrange tanto a necessidade de divulgar novas descobertas quanto a busca por informações atualizadas na área de estudo. Este artigo tem como objetivo realizar uma revisão bibliométrica utilizando a plataforma *Web of Science* e a abordagem *Methodi Ordinatio*, com o intuito de identificar os artigos mais relevantes relacionados ao uso do Painel Monolítico em EPS. O documento é estruturado em quatro capítulos. O primeiro é a Introdução, o segundo apresenta a Metodologia e a aplicação do *Methodi Ordinatio*, o terceiro expõe os resultados alcançados, enquanto as conclusões são apresentadas no último capítulo.

2 | METODOLOGIA

Com artigos coletados na base de dados *Web of Science (WoS)* o estudo empregou o método de revisão de literatura conhecido como *Methodi Ordinatio*, que foi concebido para realizar revisões da literatura científica utilizando o método de análise bibliométrica. Segundo CHAPULAS (1988) a bibliometria é uma disciplina que se concentra na análise quantitativa dos processos relacionados à produção, disseminação e utilização de informações registradas e emprega modelos matemáticos e padrões para mensurar esses processos e, posteriormente, utiliza essas medições para realizar previsões e fornecer suporte à tomada de decisões.

Este método utiliza a equação InOrdinatio, que inclui três critérios de análise para avaliar e quantificar a produção científica: o número de citações, o fator de impacto e o ano de publicação. Isso possibilita a classificação dos artigos científicos de acordo com sua relevância. A metodologia em questão é composta por um total de nove etapas, que serão descritas detalhadamente mais adiante. Como resultado, uma tabela foi construída, contendo 35 artigos mais relevantes encontrados na busca.

2.1 WEB OF SCIENCE

Web of Science (WoS) é uma plataforma online amplamente reconhecida na comunidade acadêmica por disponibilizar informações bibliográficas abrangentes, incluindo contagem de citações, origem geográfica, afiliações institucionais, tendências de pesquisa ao longo dos anos e identificação de autores, entre outros dados. Um vasto

número de instituições acadêmicas, corporativas e governamentais, juntamente com uma ampla comunidade de pesquisadores, deposita sua confiança na Web of Science para gerar pesquisas de elevada qualidade, adquirir perspicácia intelectual e tomar decisões que influenciam o curso futuro de suas instituições e suas estratégias de investigação (CLARIVATE, 2021).

Como consequência, observa-se um acréscimo na produção da literatura científica global em várias bases de dados bibliográficas acessíveis (BHUPATIRAJU et al., 2012). A preocupação em estabelecer um processo que identifique a relevância dos trabalhos é bastante mencionada na literatura (ARAÚJO, 2006). A determinação da importância científica de um artigo é realizada por meio de uma análise sistemática, onde se consideram especialmente os artigos cujos autores possuem um maior número de citações como os mais significativos na área de estudo (LACERDA et al., 2015, p. 65-66, 75). Todos os estudos publicados em revistas ou trabalhos apresentados em eventos devem ser abordados e sistematicamente lidos e analisados (NIGHTINGALE, 2009).

De acordo com as normas da ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS para artigos acadêmicos, a referência deve seguir o padrão estabelecido pela ABNT NBR 6023, com as informações completas da fonte, incluindo autor, título, ano, entre outros. Como não há informações suficientes para construir uma referência completa, o exemplo acima apenas inclui a informação da fonte original. Certifique-se de consultar a norma ABNT NBR 6023 para formatar a referência completa de acordo com o contexto de sua pesquisa. A pesquisa por artigos na base de dados da WoS, acessada por meio do portal da CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, aproveitou a riqueza de informações disponíveis nesta plataforma bibliográfica. A WoS é renomada por seu histórico de registro de citações que remonta a 1900 e é considerada um padrão de qualidade no registro de revistas acadêmicas (SILVA; GRÁCIO, 2017).

2.2 METHODI ORDINATIO

Methodi Ordinatio é uma metodologia utilizada para realizar revisões sistemáticas de literatura, construir portfólios bibliográficos e mapear o estado da arte de um tema de pesquisa. Esse método oferece uma solução para auxiliar na tomada de decisão na escolha de artigos relevantes ao tema a ser estudado, e sua principal vantagem é definir a relevância científica de cada artigo a partir de três critérios (fator de impacto, ano de publicação e número de citações pelo processo proposto). Essa metodologia seleciona e estabelece um ranking dos artigos antes de realizar a leitura sistemática. Isso permite aos pesquisadores economizar tempo no processo de leitura, considerando que a tarefa mais demorada na seleção de um portfólio é esta atividade (Pagani et al. 2015, 2018)

O *Methodi Ordinatio* é composto por nove fases distintas, cada uma desempenhando um papel fundamental na condução de uma investigação rigorosa e na obtenção de

resultados confiáveis e são divididas conforme a Figura 1.

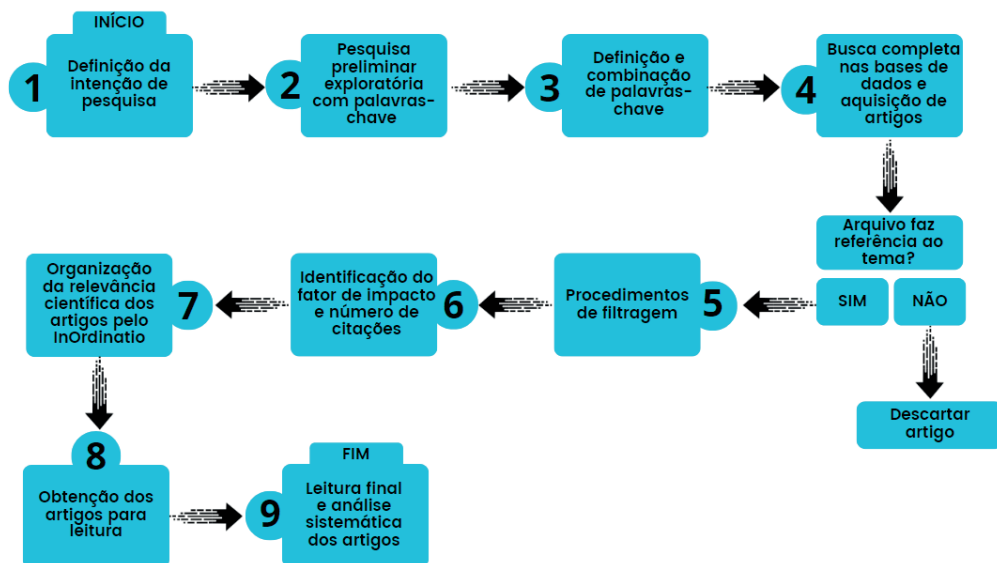


Figura 1: Passo a passo *Methodi Ordinatío*

Fonte: adaptado de Pagani et al. (2015).

2.3 APLICAÇÃO DO METHODI ORDINATIO PARA O TEMA PROPOSTO

Os 9 passos do *Methodi Ordinatío* fornecem uma estrutura sólida e orientação precisa para pesquisadores e acadêmicos. Iniciando com a identificação clara do problema de pesquisa e a formulação de uma hipótese sólida, o método guia o autor na revisão apropriada da literatura, assegurando a incorporação de pesquisas anteriores relevantes. A seguir, serão detalhados os nove passos.

Passo 1 - Definição da intenção de pesquisa.

No contexto deste estudo, o objetivo foi conduzir uma revisão abrangente da literatura existente sobre o tema “Painel Monolítico em EPS”. Inicialmente, pode haver uma vasta quantidade de informações disponíveis sobre o assunto, uma vez que há inúmeros documentos abordando o tópico em questão. Nesse sentido, a análise bibliométrica da literatura existente auxilia na seleção de artigos e textos de relevância.

Passo 2 - Pesquisa preliminar exploratória com palavras-chave em bases de dados.

É realizada uma pesquisa inicial exploratória utilizando palavras-chave nas bases de dados bibliográficos para descobrir, conhecer, comparar e refinar a intenção de pesquisa. Nessa etapa, são avaliadas diferentes combinações de palavras-chave, bases de dados

e limitações temporais. Foi conduzida uma pesquisa avançada na plataforma Web of Science, utilizando palavras-chave pertinentes, como “EPS”, “*expanded*”, “*polystyrene*”, “*sandwiched*”, “*concrete*” e “*panels*”.

Passo 3 - Definição e combinação de palavras-chave e bases de dados.

Pesquisadores definem e limitam as palavras-chave e combinações relevantes, bem como as bases de dados mais significativas a serem utilizadas na busca sistemática. Para serem consideradas significativas as bases de dados devem apresentar grande número de trabalhos sobre o tema e disponibilidade de acesso ao material publicado.

A conclusão a que se chegou foi que a expressão “*expanded polystyrene sandwiched concrete panels*” era a mais apropriada para a busca de artigos relacionados ao tema da pesquisa em questão.

Passo 4 – Busca e aquisição de artigos na base de dados da WoS.

Realização de uma busca completa nas bases de dados e aquisição de artigos relevantes. Para abranger uma variedade maior de periódicos relacionados ao assunto, a busca por artigos foi realizada com todos os filtros disponíveis ativos, dada a escassa disponibilidade de artigos que abordam o tema de interesse. Assim, identificou-se 59 artigos de periódicos para análise.

Passo 5 - Procedimentos de filtragem

Nessa etapa, são removidos os artigos duplicados, assim como trabalhos apresentados em conferências, livros, capítulos de livros e artigos cujo título, palavras-chave ou resumo não guardem relação com o assunto central da pesquisa.

Na pesquisa realizada no *WoS*, existem filtros que podem ser aplicados para refinar a pesquisa, incluindo o ano de publicação, tipos de documentos, autores, categorias da *Web of Science*, índice *Web of Science*, afiliações, afiliações com departamentos, títulos de publicação, idiomas, países e regiões, editoras, áreas de pesquisa, acesso aberto, agências financiadoras, títulos de conferência, autores em grupo, títulos de séries de livros, editores, entre outros.

Neste estudo foram utilizadas todas as categorias, sem filtro, sendo localizados 59 artigos. Em seguida, foi realizada uma leitura dos títulos e resumos desses artigos, descartando aqueles que não se enquadravam na abordagem desejada pelo pesquisador. Após esse processo de seleção, foram identificados 35 artigos que atendiam aos critérios estabelecidos para a pesquisa.

Passo 6 - Identificação do fator de impacto e número de citações.

Fator de Impacto (IF) é uma métrica que corresponde ao valor do *Journal Citation Indicator* (JCI) retirado dos dados da base de dados WoS para revistas acadêmicas. Para normalizar essa métrica em relação a outros critérios, o valor do IF é dividido por 1000. O *Journal Citation Indicator* (JCI) é um indicador bibliométrico recente utilizado para avaliar a importância de periódicos em diversas áreas e categorias do conhecimento. Ele se baseia principalmente em três parâmetros para o cálculo: I) citações médias esperadas na categoria; II) a média do Impacto de Citação Normalizado por Categoria (CNCI) de artigos e resenhas do periódico nos três anos anteriores; e III) impactos médios normalizados. O que diferencia o JCI de outros indicadores bibliométricos, como o *Journal Citation Reports* (JCR) e o *Journal Impact Factor* (JIF), é que ele calcula a métrica para o impacto médio de citações com base nos três anos anteriores (TORRES-SALINAS; VALDERRAMA-BACA; ARROYOMACHADO, 2022).

Ci representa o número total de vezes que o artigo foi citado, e essa informação é equivalente ao valor TC obtido ao exportar os dados da base de dados WoS para os artigos.

O fator de ponderação (α) é uma medida que varia de 1 a 10 e é selecionada pelo pesquisador. Neste estudo, optou-se pelo valor máximo de 10. A importância atribuída ao critério “ano” é diretamente relacionada ao valor escolhido para α . Se o valor for menor, o ano terá uma influência menor; no entanto, se α estiver próximo de 10, a atualidade torna-se um critério de grande relevância. Portanto, artigos publicados recentemente receberiam um fator de ponderação mais próximo de 10, enquanto os mais antigos teriam um valor mais próximo de 1. Isso significa que a escolha de α afeta diretamente a consideração do tempo como um critério no processo de avaliação.

Passo 7 - Organização da relevância científica dos artigos pelo *InOrdinatio*

Esta etapa tem como objetivo aferir a relevância dos artigos por meio do cálculo de um índice de ordenação. Neste estágio do processo, os valores de *Inordinatio* foram determinados por meio do cálculo com base na equação descrita no *Methodi Ordinatio* (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015) O índice se calcula segundo a Equação 1

$$InOrdinatio := \left(\frac{IF}{1000} \right) + \alpha \cdot (10 - (ResearchYear \cdot PublishYear)) + Ci \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

IF é o fator de impacto

α é um fator de ponderação que varia de 1 a 10 a ser atribuído pelo pesquisador;

Research Year é o ano em que a pesquisa está sendo desenvolvida;

Publish Year é o ano em que o artigo foi publicado; e

Ci é o número de vezes que o artigo foi citado no Google Scholar (PAGANI et al.,

2015).

Após calcular o *InOrdinatio*, é necessário reestruturar a planilha para tornar os resultados mais compreensíveis. Ao ordenar os valores do *Inordinatio* em ordem decrescente, destacamos os mais significativos na posição superior. Dessa maneira, as etapas para a seleção e classificação dos 59 artigos recuperados na *Web of Science* foram conduzidas de acordo com as seguintes etapas:

- Etapa 1 - Importação de Dados: Os dados relativos aos 59 artigos foram importados para uma planilha do Microsoft Excel a partir da tabela gerada na plataforma *Web of Science*.
- Etapa 2 - Atribuição de Identificadores: Foi procedida a atribuição de códigos identificadores, numerados de 1 a 59, a cada um dos artigos capturados. Tal numeração seguiu a ordem ascendente das linhas na planilha correspondente.
- Etapa 3 - Identificação de Títulos Pertinentes: A identificação dos títulos que estavam alinhados com o escopo da pesquisa ocorreu mediante análise do resumo de cada documento. Os títulos que se mostraram compatíveis com a temática da pesquisa receberam o valor 1, enquanto aqueles que não se alinhavam com o escopo foram atribuídos com o valor 0.
- Etapa 4 - Exclusão de Títulos Não Alinhados: Foram excluídos 24 títulos que não se adequaram ao tema da pesquisa, resultando em um total de 35 artigos mantidos para prosseguimento da análise.
- Etapa 5 - Identificação do Fator de Impacto: O fator de impacto de cada documento foi identificado a partir do JCI, sigla para *Journal Citation Indicator*, uma métrica de medição de impacto disponível na *Web of Science*. O fator de impacto indica a relevância do periódico no qual o artigo foi publicado, sendo que valores mais elevados indicam uma maior relevância do documento, conforme descrito por Donato e Donato (2019) e Pagani, Kovaleski e Resende (2015).
- Etapa 6 - Classificação dos Artigos com o *InOrdinatio*: A classificação dos artigos foi realizada utilizando a ferramenta *InOrdinatio* e os resultados dessa classificação estão apresentados no Anexo 1 em ordem decrescente de pontuação mais relevantes ao tema “*expanded polystyrene sandwiched concrete panels*”.

Passo 8 - Obtenção dos artigos para leitura.

A partir desse estágio, torna-se crucial que o pesquisador adote uma prática regular de leitura para compreender os artigos escolhidos. É fundamental começar essa leitura pelos artigos mais importantes, ou seja, aqueles que ocupam as posições mais altas no ranking geral. Isso se deve ao fato de que a leitura cuidadosa dos artigos científicos desempenha um papel fundamental na pesquisa acadêmica, pois oferece uma base sólida de conhecimento que podem enriquecer e embasar os trabalhos acadêmicos. Portanto, a priorização dos artigos mais relevantes é uma estratégia importante para garantir que o

tempo de leitura seja bem aproveitado e que os trabalhos acadêmicos sejam fundamentados em informações de alta qualidade.

Passo 9 - Leitura final e análise sistemática dos artigos.

A leitura de artigos científicos permite acompanhar os últimos desenvolvimentos em campos específicos, promovendo a compreensão aprofundada de conceitos e teorias, bem como estimulando o pensamento crítico e a capacidade analítica.

3 | ANÁLISE DE RESULTADOS

Foram identificados 59 resultados no banco de dados da WoS, e esses resultados abrangem o período de 1991 a 2023. A pesquisa não delimitou uma faixa de anos específica para a busca dos artigos devido à carência de publicações relacionadas ao tema em questão. Portanto, a pesquisa incluiu todos os artigos disponíveis, independentemente do ano de publicação, com o objetivo de abranger o maior conjunto de informações possível. Durante a análise dos dados realizada na própria plataforma de pesquisa, observou-se que o tópico “*expanded polystyrene sandwiched concrete panels*” é abordado em um número limitado de estudos científicos. Os resultados apontaram para um crescimento constante até o ano de 2021, seguido de uma redução em 2022. Até o mês de setembro de 2023, não foram encontradas novas publicações relacionadas a esse tema. Essa análise sugere que “*expanded polystyrene sandwiched concrete panels*” pode se consolidar como uma área de interesse crescente na literatura científica, conforme evidenciado na Tabela 1.

ANO DE PUBLICAÇÃO		
Ano da publicação	Contagem do registro	%
2023	3	5.09
2022	11	18.64
2021	16	27.12
2020	4	6.78
2019	6	10.17
2018	6	10.17
2017	5	8.48
2016	1	1.70
2015	2	3.39
2014	2	3.39
2009	1	1.70
2007	1	1.70

1991	1	1.70
Total	59	

Tabela 1: Número de citações e publicações ao longo dos anos.

Fonte: Web Of Science

No contexto dos autores, merece destaque um conjunto específico de autores apresentado no Gráfico 1, entre todos os artigos identificados. Esse *ranking* foi construído considerando o número agregado de citações que os artigos produzidos por esses autores receberam. Notavelmente, os autores que obtiveram o maior número de citações incluem Colombo IG, Colombo M e Diprisco M.

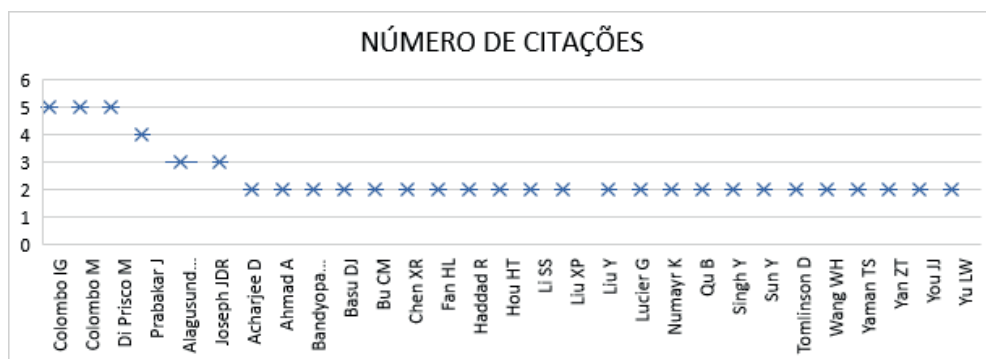


Gráfico 1 – Quantidade de citações por autor

Fonte: Web Of Science

Em relação à origem dos artigos, constatou-se que vinte e quatro países e regiões contribuíram com publicações sobre o tema em questão. Os quatro países mais notáveis incluem a Índia, China, Estados Unidos e Itália. Uma análise por tabela revela que, dos 59 artigos identificados, apenas um deles é proveniente do Brasil, posicionando o país em décimo lugar no ranking das nações e regiões de destaque para o tema conforme Tabela 2.

Ranking	Países/Regiões	Contagem do registro	%
1°	INDIA	15	25.424
2°	PEOPLES R CHINA	13	22.034
3°	USA	8	13.559
4°	ITALY	7	11.864
5°	AUSTRALIA	3	5.085
5°	PAKISTAN	3	5.085
5°	SOUTH KOREA	3	5.085
6°	CANADA	2	3.39
6°	JORDAN	2	3.39
7°	BRAZIL	1	1.695
7°	EGYPT	1	1.695
7°	GERMANY	1	1.695
7°	INDONESIA	1	1.695
7°	LEBANON	1	1.695
7°	NETHERLANDS	1	1.695
7°	NEW ZEALAND	1	1.695
7°	POLAND	1	1.695
7°	PORTUGAL	1	1.695
7°	SINGAPORE	1	1.695
7°	SOUTH AFRICA	1	1.695
7°	SRI LANKA	1	1.695
7°	TURKEY	1	1.695
7°	TURKIYE	1	1.695
7°	U ARAB EMIRATES	1	1.695

Tabela 2: Número de citações e publicações ao longo dos anos.

Fonte: Web Of Science

O *ranking* das universidades que se destacam na pesquisa sobre “*expanded polystyrene sandwiched concrete panels*” reflete a nacionalidade dos artigos produzidos. O Indian Institute of Technology System na Índia e a Polytechnic University of Milan em Milão lideram o ranking em termos do número de artigos publicados sobre o assunto. Em segundo lugar, estão o Council of Scientific and Industrial Research e o CSIR Structural Engineering Research Center, ambos da Índia. As instituições de ensino brasileiras não têm se destacado com publicações significativas sobre o tema, como evidenciado na Tabela 3.

Posição	Nome da instituição	Nº de artigos
1º	INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY SYSTEM IIT SYSTEM	6
1º	POLYTECHNIC UNIVERSITY OF MILAN	6
2º	COUNCIL OF SCIENTIFIC INDUSTRIAL RESEARCH CSIR INDIA	5
2º	CSIR STRUCTURAL ENGINEERING RESEARCH CENTER SERC	5
3º	ANNA UNIVERSITY	3
3º	ANNA UNIVERSITY CHENNAI	3
3º	INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY IIT MADRAS	3
4º	ARMY ENGINEERING UNIVERSITY OF PLA	2
4º	CALIFORNIA POLYTECHNIC STATE UNIVERSITY SAN LUIS OBISPO	2
4º	CALIFORNIA STATE UNIVERSITY SYSTEM	2
4º	CHONGQING KEY LAB ENERGY ENGN MECH DISASTER PRE	2
4º	CHONGQING TIDY GREEN NEW MAT CO LTD	2
4º	CHONGQING UNIVERSITY	2
4º	CHONGQING UNIVERSITY OF SCIENCE TECHNOLOGY	2
4º	CSIR CENTRAL ELECTROCHEMICAL RESEARCH INSTITUTE CECRI	2
4º	INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY IIT ROORKEE	2
4º	JADAVPUR UNIVERSITY	2
4º	JORDAN UNIVERSITY OF SCIENCE TECHNOLOGY	2
4º	KARUNYA INSTITUTE OF TECHNOLOGY SCIENCES	2
4º	MERSIN UNIVERSITY	2
4º	NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS ASTRONAUTICS	2
4º	NANYANG INSTITUTE OF TECHNOLOGY	2
4º	NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY	2
4º	ROYAL MELBOURNE INSTITUTE OF TECHNOLOGY RMIT	2
4º	SHANDONG UNIVERSITY	2
4º	SHANDONG UNIVERSITY SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING	2

Tabela 3: Ranking das 10 instituições de ensino com maior número de artigos no tema “*expanded polystyrene sandwiched concrete panels*”

Fonte: Web Of Science

O WoS disponibiliza categorias que correspondem às áreas de estudos, sendo ‘*Engineering Civil*’, ‘*Construction Building Technology*’ e ‘*Materials Science Multidisciplinary*’ as mais relevantes para o tema escolhido, conforme apresentado na Tabela 4. É evidente que o tema ‘*expanded polystyrene sandwiched concrete panels*’ se enquadra predominantemente nas áreas de engenharia civil, tecnologia de construção civil e ciências dos materiais. Neste estudo, será dada ênfase a essas três categorias, pois melhor definem e abrangem o escopo do tema em questão. Além disso, essas categorias estão intrinsecamente ligadas ao desenvolvimento e avanço das pesquisas relacionadas aos

'expanded polystyrene sandwiched concrete panels'.

Quantidade	Categorias da Web of Science	Nº de registros
1	Engineering Civil	36
2	Construction Building Technology	26
3	Materials Science Multidisciplinary	20
4	Chemistry Physical	4
5	Metallurgy Metallurgical Engineering	4
6	Physics Applied	4
7	Physics Condensed Matter	4
8	Engineering Multidisciplinary	3
9	Engineering Industrial	2
10	Engineering Mechanical	2
11	Polymer Science	2
12	Energy Fuels	1
13	Engineering Environmental	1
14	Engineering Geological	1
15	Environmental Sciences	1
16	Environmental Studies	1
17	Green Sustainable Science Technology	1
18	Materials Science Characterization Testing	1
19	Materials Science Composites	1
20	Mechanics	1
21	Multidisciplinary Sciences	1

Tabela 4: Categorias do WoS

Fonte: Web Of Science

Todas as 59 publicações encontradas na *Web of Science* relacionadas ao tema “*expanded polystyrene sandwiched concrete panels*” foram publicadas exclusivamente em língua inglesa. Isso ressalta a predominância do inglês como a linguagem internacional de comunicação científica e demonstra a importância da fluência nesse idioma para acesso e contribuição eficaz ao corpo de conhecimento global em diversas áreas de pesquisa.

As categorias de publicação na *Web of Science* desempenham um papel fundamental na organização e identificação precisa de artigos acadêmicos e científicos. Cada categoria representa uma revista, conferência, livro ou outro meio de comunicação científica, sendo uma referência essencial para pesquisadores em todo o mundo. Essas categorias abrangem uma ampla gama de disciplinas e campos de estudo, permitindo que os usuários naveguem e pesquisem em uma vasta coleção de literatura acadêmica de alta qualidade. Conforme demonstrado na Figura 5, a Categoria “Engineering Structures”

teve o maior número de publicações, seguido por “Construction and Building Materials”, “Journal of Building Engineering”, “Materials”, “Structures” e “Materials Today Proceedings”, respectivamente.



Figura 5 – Categorias da publicação

Fonte: Web Of Science

4 | CONCLUSÕES

Com base na análise dos resultados, este estudo revela que o tema “*expanded polystyrene sandwiched concrete panels*” representa uma área de pesquisa em franca expansão, embora ainda com um número restrito de estudos científicos até o presente momento. A tendência de crescimento observada até 2021 sugere um aumento considerável no interesse por essa temática na literatura científica. Contudo, a diminuição no número de publicações em 2022 e a ausência de novas contribuições até setembro de 2023 indicam a necessidade premente de mais pesquisas e investigações nessa área para sua consolidação.

Ao analisar os autores mais citados, destacam-se figuras notáveis como Colombo IG, Colombo M e Diprisco M, cujos trabalhos têm tido um impacto significativo na literatura acadêmica relacionada a esse tema. Quanto à origem das publicações, países como Índia, China, Estados Unidos e Itália emergem como os principais contribuintes para a pesquisa sobre “*expanded polystyrene sandwiched concrete panels*”.

Embora o Brasil esteja presente, sua participação não se destaca no cenário global, indicando oportunidades de desenvolvimento da pesquisa nacional nessa área. As categorias do WoS mais relevantes para esse tema são ‘*Engineering Civil*’, ‘*Construction Building Technology*’ e ‘*Materials Science Multidisciplinary*’, refletindo a natureza interdisciplinar e

tecnológica do estudo sobre “*expanded polystyrene sandwiched concrete panels*”. Essas categorias abrangem de forma abrangente o escopo do tema, realçando a importância de uma abordagem multidisciplinar para avançar na pesquisa.

No contexto das publicações, os títulos desempenham um papel crucial na identificação e organização de artigos acadêmicos e científicos, fornecendo referências essenciais para pesquisadores em todo o mundo. A análise dos títulos na *Web of Science* demonstra que “*Engineering Structures*” lidera em número de publicações, seguido por outros títulos igualmente relevantes. Isso realça a importância dessas revistas como veículos fundamentais para a disseminação de pesquisas relacionadas a “*expanded polystyrene sandwiched concrete panels*”.

Em suma, esta análise bibliométrica proporciona percepções valiosas sobre o estado atual da pesquisa sobre “*expanded polystyrene sandwiched concrete panels*” e destaca áreas de enfoque, autores influentes e a relevância das categorias do *WoS*. Além disso, enfatiza a necessidade de expandir e consolidar o corpo de conhecimento nessa área, proporcionando diretrizes para pesquisadores e acadêmicos interessados em contribuir para esse campo em constante evolução.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. P. O. SISTEMA CONSTRUTIVO EM PAINÉIS DE EPS. Universidade Católica de Brasília, Brasília, p. 1-73, 1 jun. 2015.

ARAÚJO, C. A. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. Em *Questão*, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 11–32, 2006. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/EmQuestao/article/view/16>. Acesso em: 28 set. 2023.

ARAÚJO, I. C.; PEREIRA, I. N. A.; PINHEIRO, É. C. N. M. Estudo do processo construtivo de um protótipo que servirá como base para uma residência unifamiliar utilizando painel monolítico em Manaus/Amazonas. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, p. 1-20, 17 nov. 2022.

BHUPATIRAJU, S. et al. Knowledge flows: analyzing the core literature of innovation, entrepreneurship and science and technology studies. *Research Policy*, 41, 1205-1218, 2012. DOI: 10.1016/j.respol.2012.03.011

CHAPULA, C. A. M. O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional. *Ciência da Informação*, 27(2), 134-140, 1998. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ci/a/rz3RTKWZpCxVB865BQRvtmh/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: Outubro/2016.

CLARIVATE (2021). Introducing the Journal Citation Indicator. A new approach to measure the citation impact of journals in the Web of Science Core Collection. White Paper.

LARCERDA, R. T. O., ENSSLIN, L., e ENSSLIN, S. R. Research methods and success meaning in project management. In: *Designs, Methods and Practices for Research of Project Management*. Pasian, B. Gower Publishing Ltd., England, 2015

NIGHTINGALE, A. A guide to systematic literature reviews. *Surgery* (Oxford), 27(9), 381-384, 2009.

PAGANI, RN, Kovalesski, JL e Resende, LM (2015). Methodi Ordinatio: metodologia proposta para selecionar e classificar artigos científicos relevantes abrangendo fator de impacto, número de citações e ano de publicação. Cientometria. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1744-x>.

PAGANI, RN, Kovalesski, JL e Resende, LM (2018). TICs na composição da Methodi Ordinatio: construção de portfólio bibliográfico sobre Modelos de Transferência de Tecnologia. Ciência da Informação, [SI], 47(1), maio (no prelo).

PAULA, Geovani A. Assis de; TEIXEIRA, Rafael de Souza. Análise de execução de estrutura de EPS em residência unifamiliar em Jaraguá-GO. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade Evangélica de Jaraguá, 2019.

PEREIRA, B. S.; MENDES, J. M. Comparativo de custo e produtividade dos métodos construtivos em EPS e concreto armado. **Pontifícia Universidade Católica de Goiás**, Goiás, p. 1-11, 14 jun. 2021.

SILVA, D. D.; GRÁCIO, M. C. C. Índice h de Hirsch: análise comparativa entre as bases de dados Scopus, Web of Science e Google Acadêmico. Em questão, v. 23, n. 5, p. 196– 212, 2017.

SOUZA. A.C.A.G. Análise comparativa de custos de alternativas tecnológicas para construção de habitações populares. Monografia, Recife. 2009

TORRES-SALINAS, D.; VALDERRAMA-BACA, P.; ARROYO-MACHADO, W. Is there a need for a new journal metric? Correlations between JCR Impact Factor metrics and the Journal Citation Indicator— JCI. Journal of Informetrics, v. 16, n. 3, p. 101315, 2022.

ANEXOS

A. LISTA DE RESULTADOS METHODO INORDINATIO

CLASSIFICAÇÃO DO ARTIGO	AUTOR, ANO, TÍTULO	CITAÇÕES	FATOR DE IMPACTO	INORDINATIO
1	Colombo, IG; Colombo, M; di Prisco, M; Galzerano, B; Verdolotti, L, 2022, An Investigation of the Properties of Expanded Polystyrene Concrete with Fibers Based on an Orthogonal Experimental Design	7	0	97
2	Mahdi, S; Ali, MSM; Sheikh, AH; Elchalakani, M; Xie, T, 2020, Characteristics of expanded polystyrene (EPS) and its impact on mechanical and thermal performance of insulated concrete form (ICF) system	26	1.22	96
3	Tushar, Q; Zhang, GM; Bhuiyan, MA; Navaratnam, S; Giustozzi, F; Hou, L, 2015, Bending behaviour of Textile Reinforced Concrete sandwich beams	75	1.22	95
4	Numayr, K; Haddad, R, 2022, Retrofit of Building Facade Using Precast Sandwich Panel: An Integrated Thermal and Environmental Assessment on BIM-Based LCA	2	1.43	92

5	Garhwal, A; Sharma, S; Roy, ABD, 2022, Performance of Expanded Polystyrene (EPS) sandwiched concrete panels subjected to accelerated corrosion	2	0	92
6	Thangarasu, A; Henderson, JH, 2022, Thermal and Structural Behaviour of Sandwiched Reinforced Cement Concrete Wall Panels	1	0	91
7	Oliveira, TF; de Carvalho, JMF; Mendes, JC; Souza, GZ; Carvalho, VR; Peixoto, RAF, 2022, Precast concrete sandwich panels (PCSP): An analytical review and evaluation of CO2 equivalent	0	1.22	90
8	Du, Q; Jin, LW; Lv, J; Cai, CL; Zhang, RN, 2022, Numerical study on fire resistance behavior of EPS sandwich panels	0	1.22	90
9	Awan, AB; Shaikh, FUA, 2022, Compressive behavior of precast concrete sandwich panels containing recycled tyre crumb rubber core	0	0	90
10	Uddin, N; Du, WF, 2022, A numerical study on the through thickness shear behavior of EPS sandwich panels	0	0	90
11	de Sousa, C; Barros, JAO; Correia, JR; Valente, TDS, 2021, Development of sandwich panels for multi-functional strengthening of RC buildings: Characterization of constituent materials and shear interaction of panel assemblies	7	0.65	87
12	Ahmad, A; Singh, Y, 2021, Flexural behavior of Expanded Polystyrene core Reinforced Concrete Sandwich Panels with different construction methods and end conditions	5	1.43	85
13	Abbas, A; Adil, M; Ahmad, N; Ahmad, I, 2019, Behavior of reinforced concrete sandwiched panels (RCSPs) under blast load	23	0.92	83
14	Ahmad, A; Singh, Y, 2021, In-plane behaviour of expanded polystyrene core reinforced concrete sandwich panels	3	0.61	83
15	Acharjee, D; Basu, DJ; Bandyopadhyay, D, 2021, Experimental investigation of longitudinal shear transfer in insulated concrete wall panels with notched insulation	3	0	83
16	Chakraborty, S; Reddy, S; Subramaniam, KVL, 2021, Experimental evaluation and analysis of flexural response of sandwich beam panels with an expanded polystyrene core	2	0.57	82
17	Christadoss, A; Pazhani, KC; Sivasankar, S; Hareesh, CM, 2019, Flexural behavior of precast insulated sandwich wall panels: Full-scale tests and design implications	21	0.73	81
18	Nafadi, MK; Lucier, G; Yaman, TS; Gleich, H; Rizkalla, S, 2021, Long-term behavior of precast, prestressed concrete sandwich panels reinforced with carbon-fiber-reinforced polymer shear grid	1	0	81
19	Moutassem, F; Al Amara, K, 2021, Design and production of sustainable lightweight concrete precast sandwich panels for non-load bearing partition walls	0	1.22	80

20	Basu, DJ; Acharjee, D; Bandyopadhyay, D, 2021, Numerical Evaluation of Structural Concrete Insulated Panels for Thermal Energy Efficient Buildings	0	0.92	80
21	Colombo, IG; Colombo, M; di Prisco, M, 2020, Testing of insulated sandwich panels with GFRP shear connectors	10	0	80
22	Colombo, IG; Colombo, M; di Prisco, M; Pouyaei, F, 2015, Composite Behavior of a Novel Insulated Concrete Sandwich Wall Panel Reinforced with GFRP Shear Grids: Effects of Insulation Types	53	1.22	73
23	Joseph, JDR; Prabakar, J; Alagusundaramoorthy, P, 2017, Precast concrete sandwich one-way slabs under flexural loading	32	0.92	72
24	Hou, HT; Wang, WH; Qu, B; Dai, CX, 2020, Numerical study on through thickness shear capacity of insulated sandwich panels	1	1.43	71
25	Egbon, B; Tomlinson, D, 2016, Analytical approach to flexural response of partially composite insulated concrete sandwich walls used for cladding	38	0	68
26	Wentao Qiao, Xiaoxiang Yin, Shengying Zhao, Dong Wang, 2019, Cyclic loading test study on a new cast-in-situ insulated sandwich concrete wall	6	0	66
27	Joseph, JDR; Prabakar, J; Alagusundaramoorthy, P, 2019, Insulated precast concrete sandwich panels under punching and bending	4	1.43	64
28	Schmitt, A; Carvelli, V; Haffke, MM; Pahn, M, 2018, Thermo-mechanical response of concrete sandwich panels reinforced with glass fiber reinforced polymer bars	14	0	64
29	Wibowo, A; Wijatmiko, I; Nainggolan, CR, 2018, Cyclic Behaviour of Expanded Polystyrene (EPS) Sandwich Reinforced Concrete Walls	3	0.65	53
30	Colombo, IG; Colombo, M; di Prisco, M, 2018, Numerical modelling of textile reinforced concrete sandwich panels	0	1.43	50
31	Makweche, D; Dundu, M, 2017, Mass loss and flammability of insulation materials used in sandwich panels during the pre-flashover phase of fire	7	1.34	47
32	Lakshmikandhan, KN; Harshavardhan, BS; Prabakar, J; Saibabu, S, 2017, Investigation on Wall Panel Sandwiched With Lightweight Concrete	3	0.92	43
33	Nasim Uddin, Wenfeng Du, 2014, New thin shells made of composite structural insulated panels	6	1.43	16
34	d'Albani, AWG; de Kluiver, LL; de Korte, ACJ; van Herpen, RAP; Weewer, R; Brouwers, HJH, 2009, Static and dynamic analytical and experimental analysis of 3D reinforced concrete panels	1	0	-39
35	Robert Nicholls, Fellow, 1991, SANDWICH-BARREL SHELL CONSTRUCTION BY INFLATION	0	0.74	-220

ALGORITMOS BIOINSPIRADOS OTIMIZAM CONTROLADOR COM MAPEAMENTO COGNITIVO FUZZY DE MIXER INDUSTRIAL

Data de aceite: 01/12/2023

Márcio Mendonça

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
PPGEM-CP - Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica PP/
CP
Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

Fabio Rodrigo Milanez

Faculdade da Industria Senai
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica-
Londrina -PR
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

Michelle Eliza Casagrande Rocha

Engenheira Telecomunicações -
Universidade Norte do Paraná – Unopar
– Kroton –
Londrina-PR
<http://lattes.cnpq.br/4411484670091641>

Marcio Jacometti

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Departamento acadêmico das ciências
humanas e sociais aplicadas (DACHS)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/8509336134084374>

Vicente de Lime Gongora

Faculdade da Indústria SENAI Londrina
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica-
Londrina -PR
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

Marcos Antônio de Matos Laia

Departamento De Ciência Da Computação
– UFSJ
Minas Gerais - MG
<http://lattes.cnpq.br/7114274011978868>

Emerson Ravazzi Pires da Silva

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/3845751794448092>

Kazuyochi Ota Junior

Mestre - PPGEM-CP - Programa de Pós-
Graduação Multicampi em Engenharia
Mecânica
Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/3845751794448092>

Augusto Alberto Foggiao

Departamento de Odontologia – UENP
Jacarezinho - PR
<http://lattes.cnpq.br/0580089660443472>

Fabio Nogueira de Queiroz

Centro Paula Souza
Departamento Computação-FATEC Ourinhos
Ourinhos – SP
<http://lattes.cnpq.br/4466493001956276>

Luiz Francisco Sanches Buzachero

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento de Engenharia Elétrica – Daele
Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/1747856636744006>

Andre Luis Shiguemoto

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento de Engenharia Elétrica – Daele
Cornélio Procópio - Pr
<http://lattes.cnpq.br/9243656534211182>

Guilherme Cyrino Geromel

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP
Piracicaba-SP
<http://lattes.cnpq.br/7535398878830738>

Bruno Oliveira Rosa

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Acadêmico - Departamento de Engenharia Elétrica – Daele
Cornélio Procópio - Pr
<http://lattes.cnpq.br/5010826876808074>

João Roberto Sartori Moreno

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica PP/CP
Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/2121271692037520>

Gustavo Henrique Bazan

Instituto Federal do Paraná
Campus Jacarezinho
Jacarezinho - PR
<http://lattes.cnpq.br/7076940949764767>

Luiz Antonio Costa

Uninter
Acadêmico – Engenharia Produção
Ourinhos-SP
<https://lattes.cnpq.br/1864248410546085>

Henrique Cavalieri Agonilha

Universidade Filadélfia (Unifil)

Londrina - PR

<http://lattes.cnpq.br/9845468923141329>

Carlos Alberto Paschoalino

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Departamento de Engenharia Elétrica – Daele

Cornélio Procópio - PR

<http://lattes.cnpq.br/0419549172660666>

RESUMO: Em instalações industriais, é comum a existência de processos multivariáveis com fortes interações entre suas variáveis. Além disso, existem não linearidades e, em alguns casos, com objetivos de controle conflitantes. Neste contexto, este trabalho foca-se na aplicação de algoritmos bioinspirados para a otimização off-line de um mapa cognitivo fuzzy dinâmico (DFCM) no controle inteligente de um misturador industrial. O controlador DFCM é baseado no aprendizado de Hebb. Algoritmos bioinspirados são inspirados em processos biológicos ou naturais. Eles são frequentemente usados em problemas de otimização, pois são capazes de encontrar soluções de alta qualidade em problemas complexos. Alguns exemplos de algoritmos bioinspirados incluem algoritmos genéticos, algoritmos de colônia de formigas e algoritmos de enxame de abelhas. Mapas cognitivos fuzzy são modelos de aprendizado automático que podem ser usados para representar o conhecimento de um sistema. Eles são compostos por um conjunto de nós que representam variáveis do sistema e um conjunto de conexões que representam as relações entre essas variáveis. Os pesos das conexões são usados para representar a força das relações. Controle inteligente é um campo da engenharia que se concentra no uso de métodos inteligentes para controlar sistemas. Ele pode ser usado para melhorar o desempenho, a confiabilidade e a eficiência dos sistemas. O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de algoritmos bioinspirados para a otimização off-line de um mapa cognitivo fuzzy dinâmico (DFCM) no controle inteligente de um misturador industrial. O DFCM foi treinado usando um conjunto de dados de simulação de um misturador industrial. O conjunto de dados incluiu informações sobre as entradas e saídas do misturador. Os algoritmos bioinspirados foram usados para otimizar os pesos do DFCM. Os resultados mostraram que os algoritmos bioinspirados foram capazes de melhorar o desempenho do DFCM. O DFCM otimizado foi capaz de alcançar uma mistura mais uniforme do que o DFCM não otimizado. Este trabalho mostrou que os algoritmos bioinspirados podem ser usados para melhorar o desempenho de mapas cognitivos fuzzy dinâmicos (DFCM) no controle inteligente de misturadores industriais. Este trabalho se encerra com uma conclusão e endereça futuros trabalhos.

PALAVRAS-CHAVE: Mapas Cognitivos Fuzzy Dinâmicos; Misturador Industrial; Algoritmos Bioinspirados; Controle Inteligente.

BIO-INSPIRED EVOLUTIONARY ALGORITHMS APPLIED TO OFF-LINE OPTIMIZATION OF A FUZZY COGNITIVE MAP OF AN INDUSTRIAL MIXER

ABSTRACT: In industrial facilities, it is common to find multivariable processes with strong interactions between their variables. Additionally, there are nonlinearities and, in some cases, conflicting control objectives. In this context, this work focuses on the application of bio-inspired algorithms for the off-line optimization of a dynamic fuzzy cognitive map (DFCM) in the intelligent control of an industrial mixer. The DFCM controller is based on Hebbian learning. Bio-inspired algorithms are inspired by biological or natural processes. They are often used in optimization problems, as they can find high-quality solutions to complex problems. Some examples of bio-inspired algorithms include genetic algorithms, ant colony algorithms, and bee swarm algorithms. Fuzzy cognitive maps are machine learning models that can be used to represent the knowledge of a system. They are composed of a set of nodes that represent system variables and a set of connections that represent the relationships between those variables. The weights of the connections are used to represent the strength of the relationships. Intelligent control is a field of engineering that focuses on the use of intelligent methods to control systems. It can be used to improve the performance, reliability, and efficiency of systems. The objective of this work is to evaluate the performance of bio-inspired algorithms for the off-line optimization of a dynamic fuzzy cognitive map (DFCM) in the intelligent control of an industrial mixer. The DFCM was trained using a simulation dataset of an industrial mixer. The dataset included information about the inputs and outputs of the mixer. Bio-inspired algorithms were used to optimize the weights of the DFCM. The results showed that bio-inspired algorithms were able to improve the performance of the DFCM. The optimized DFCM was able to achieve a more uniform mixture than the non-optimized DFCM. This work showed that bio-inspired algorithms can be used to improve the performance of dynamic fuzzy cognitive maps (DFCMs) in the intelligent control of industrial mixers. This paper ends with a conclusion and addresses future work.

KEYWORDS: Dynamic Fuzzy Cognitive Maps; Industrial Mixer; bio-inspired evolutionary algorithms. Intelligent Control.

1 | INTRODUÇÃO

Na natureza, a sobrevivência de indivíduos está fortemente relacionada com a adaptabilidade dos seres à competição por recursos. Em outras palavras, os indivíduos mais bem adaptados à competição por recursos, sobrevivem. Deste modo, adaptar-se às variações do ambiente é imprescindível para garantir a sobrevivência dos indivíduos.

A natureza é uma fonte rica de inspiração para a engenharia e a ciência. Sistemas naturais como a evolução, o crescimento de plantas e a locomoção de animais foram estudados e replicados em sistemas artificiais. Esses sistemas bioninspirados têm o potencial de resolver problemas de maneiras inovadoras e eficientes.

Com base na evolução biológica, John Holland publicou o livro «*Adaptation in Natural, and Artificial Systems*» (HOLLAND, 1992), considerado atualmente a referência básica sobre Algoritmos Genéticos (AGs).

Os AGs são inspirados no processo evolutivo natural, no qual as mutações e a

seleção natural atuam sobre os indivíduos de uma população para gerar indivíduos mais adaptados ao ambiente. Os AGs simulam esse processo em um computador, utilizando uma população de soluções candidatas a um problema.

Desde então, esses algoritmos vêm sendo aplicados com sucesso em problemas do mundo real relacionados a busca e otimização (STACH *et al.*, 2005).

De um modo geral, AGs são um tipo de sistema bionspirado que é inspirado na evolução natural. Na evolução natural, os organismos passam por um processo de seleção natural, onde os organismos melhor adaptados ao seu ambiente têm mais chances de sobreviver e se reproduzir. Os AGs simulam esse processo usando uma população de indivíduos, cada um dos quais representa uma possível solução para um problema.

A cada geração, os indivíduos da população são avaliados de acordo com sua qualidade. Os indivíduos mais bem avaliados são selecionados para se reproduzir, e seus genes são combinados para criar uma geração de indivíduos. Uma pequena quantidade de mutação também é introduzida na população para garantir que a diversidade seja mantida.

Os AGs trabalham com uma busca estocástica, onde o espaço de busca é percorrido baseando-se em transições probabilísticas (GOLDBERG, 1989).

De modo geral, os AGs possuem quatro características que diferem seu método de busca e otimização dos métodos tradicionais, sendo elas (GOLDBERG, 1989):

- Fazem uso de uma codificação do conjunto de parâmetro e não os próprios parâmetros;
- Operam em uma população e não em um único ponto;
- Usam informações do valor da função custo e não informações sobre derivadas da função de otimização;
- Utilizam regras de transição probabilísticas ao invés de determinísticas.

Os AGs são formados por uma população de indivíduos e um conjunto de operadores sobre a população. Segundo as teorias evolucionárias, as quais foram base para o desenvolvimento dos AGs, os elementos mais bem adaptados ao seu meio têm maior probabilidade de sobreviver e de se reproduzir, transmitindo seu material genético para as próximas gerações. Um AG é composto basicamente por quatro etapas:

1. Geração da população inicial;
2. Avaliação de cada elemento da população;
3. Seleção dos melhores elementos da população;
4. Manipulação genética, através dos operadores de cruzamento e mutação, de forma a criar uma nova população.

Após a realização de todas as etapas citadas, um laço retorna ao passo 2 enquanto um determinado critério de parada não for atingido. Destaca-se que a aplicação de AGs requer conhecimento prévio do problema abordado (STACH *et al.*, 2005) simple,

and powerful tool for simulation and analysis of dynamic systems. They were originally developed in 1980 by Kosko, and since then successfully applied to numerous domains, such as engineering, medicine, control, and political affairs. Their popularity stems from simplicity and transparency of the underlying model. At the same time FCMs are hindered by necessity of involving domain experts to develop the model. Since human experts are subjective and can handle only relatively simple networks (maps, e, que, determine os parâmetros iniciais como função de avaliação, número de indivíduos na população inicial, porcentagens de operadores, nem sempre é trivial.

Desta forma, ajustes empíricos, técnicas de refinamento, experiência no uso da ferramenta, agregados ao conhecimento do problema conduzem a resultados satisfatórios. Outro fator relevante está na criação de diferentes tipos de indivíduos, e na utilização de operadores que garantam que as sucessivas gerações sempre contenham soluções factíveis dentro do espaço de busca do problema (COPPIN, 2004).

AGs são frequentemente usados para resolver problemas de otimização. Em um problema de otimização, o objetivo é encontrar a solução que melhor atende a um determinado conjunto de critérios. Os AGs são capazes de resolver problemas de otimização que são difíceis ou impossíveis de resolver usando métodos tradicionais.

Algumas aplicações de AGs incluem:

- Otimização de processos industriais
- Planejamento de recursos
- Alocação de ativos
- Design de produtos
- Detecção de anomalias

Exemplos de aplicações de AGs

- Otimização de processos industriais: Os AGs podem ser usados para otimizar processos industriais, como a produção de bens e serviços. Por exemplo, os AGs podem ser usados para encontrar a configuração ideal de uma máquina ou para otimizar o fluxo de materiais em uma fábrica Bäck, T., Fogel, D. B., & Michalewicz, Z. (1997), como é empregado nesse trabalho otimizando um controlador D-FCM.

Entretanto, o maior problema do uso de métodos que empregam heurísticas de busca, como é o caso dos AGs e da *Particle Swarm Optimization* (PSO) é que não existe nenhuma garantia da obtenção de um ponto de mínimo (ou máximo) global (KENNEDY; EBERHART, 1995). Dessa forma, um algoritmo busca, seja ele um AG ou outra metaheurística, pode convergir para um ponto de ótimo local da função de avaliação, que não necessariamente corresponde à solução ótima do problema.

No desenvolvimento do trabalho será apresentado o uso de AGs para ajustar as

relações causais de um controlador por meio de uma proposta de evolução do Mapas Cognitivos *Fuzzy* (FCM) clássico, denominado Mapas Cognitivos *Fuzzy* Dinâmicos (DFCM), para o controle de um tanque misturador industrial).

2 | FUZZY COGNITIVE MAPS

Os mapas cognitivos difusos (FCMs) são uma ferramenta de modelagem baseada em conhecimento que pode ser usada para representar e analisar sistemas complexos. FCMs são compostos de um conjunto de conceitos, que representam variáveis ou entidades no sistema, e um conjunto de relações, que representam as interações entre os conceitos (ZHOU, X., LIU, B. 2011).

A origem dos FCM é apresentada por Kosko (1986) como uma base de conhecimentos metodológicas para modelagem e simulação de sistemas dinâmicos. Eles surgiram a partir de mapas cognitivos que foram inicialmente propostos por Axelrod (1976) para representar palavras, ideias, tarefas ou outros itens ligados a um conceito central e dispostos radialmente em volta deste conceito.

Aplicações

Os FCMs possuem aplicações em diferentes áreas de conhecimento, como:

- Engenharia: controle de processos, planejamento de produção, design de produtos e serviços
- Medicina: diagnóstico, prognóstico, tratamento
- Ciências sociais: economia, política, psicologia
- Ciências naturais: meteorologia, oceanografia, climatologia

Estruturalmente, um FCM pode ser representado por dígrafos diretos Fuzzy com realimentação, vistos como uma coleção de unidades processadoras neurais e relacionadas por pesos. Desse modo, um sistema pode ser modelado convenientemente em termos de conceitos e as relações de casualidade entre eles (SMITH, MENCZER, 2007).

como por exemplo, médica, controle de processos em engenharia, entre outras.

Estruturalmente, um FCM pode ser representado por dígrafos diretos Fuzzy com realimentação, vistos como uma coleção de unidades processadoras neurais e relacionadas por pesos. Desse modo, um sistema pode ser modelado convenientemente em termos de conceitos e as relações de casualidade entre eles (NAPOLES *et al.*, 2017).

Para o trabalho abordado neste capítulo, duas populações (soluções) iniciais para o AG foram comparadas, de acordo a faixa de valores aceita para as relações causais do DFCM e outra baseando-se no conhecimento parcial da solução desejada.

O objetivo principal do trabalho é verificar que o conhecimento prévio da faixa de valores das relações causais ocasiona em convergência mais rápida para os AGs em comparação com uma população inicial totalmente aleatória.

Para o AG, o critério de parada desejado para a evolução de uma nova população é definido pela adequabilidade da solução de acordo com uma função definida pelo operador, chamada fitness (GOLDBERG, 1989). Neste trabalho, a função fitness é dada pelo erro quadrático da abertura desejada para as duas válvulas controladas, sabendo-se que os valores ideais são 44% para V1 e 42% pra V2.

Um conhecimento prévio do problema pode ser necessário para a utilização de AGs (STACH *et al.*, 2005) simple, and powerful tool for simulation and analysis of dynamic systems. They were originally developed in 1980 by Kosko, and since then successfully applied to numerous domains, such as engineering, medicine, control, and political affairs. Their popularity stems from simplicity and transparency of the underlying model. At the same time FCMs are hindered by necessity of involving domain experts to develop the model. Since human experts are subjective and can handle only relatively simple networks (maps, demonstrado nesse caso para a escolha da população (solução) inicial do problema em estudo.

A população inicial pode ser definida de duas maneiras diferentes, comparadas nesse trabalho: na primeira, a população inicial é gerada aleatoriamente. A outra forma utiliza métodos heurísticos relacionados a características específicas do problema (STACH *et al.*, 2005) simple, and powerful tool for simulation and analysis of dynamic systems. They were originally developed in 1980 by Kosko, and since then successfully applied to numerous domains, such as engineering, medicine, control, and political affairs. Their popularity stems from simplicity and transparency of the underlying model. At the same time FCMs are hindered by necessity of involving domain experts to develop the model. Since human experts are subjective and can handle only relatively simple networks (maps. As vantagens da segunda opção são a melhora da resposta e vantagens da segunda opção são melhora da resposta e do tempo para alcançá-la. Entretanto, nesse método há probabilidade de retenção da solução em um máximo ou mínimo local, prejudicando a qualidade da solução (REEVES; ROWE, 2002).

3 | METODOLOGIA

Para demonstrar a evolução de um DFCM por meio de AGs, pode ser exemplificado em o estudo [6] para testar nível de controladores. Este caso foi selecionado para ilustrar a necessidade de refinamento de um modelo baseado em FCM construído exclusivamente com o conhecimento. O sistema a ser controlado consiste em um misturador industrial (SOUZA *et al.*, 2017) com duas válvulas de entrada (V1 e V2) de ar para diferentes líquidos, uma válvula de saída (V3) para a remoção de líquido produzido por mistura e medidor de densidade, que mede a qualidade do líquido produzido. O processo apresenta um controle de faixa para o volume e o peso do líquido e um seguidor de *setpoint* para V3.

As válvulas (V1) e (V2) inserem dois líquidos diferentes no tanque. Durante a reação

dos dois líquidos, um novo líquido é caracterizado pelo seu valor de densidade que é produzido. Neste instante a válvula (V3) esvazia o reservatório de acordo com um fluxo de saída de campanha, mas a mistura líquida deve estar nos níveis especificados.

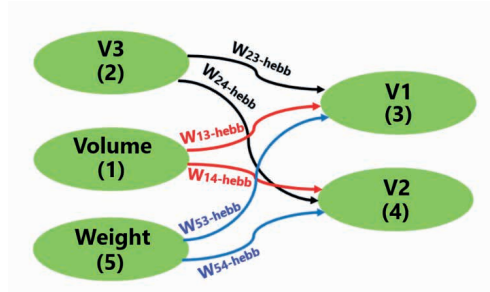


Figura 1 – Controlador DFCM

Para sua modelagem, utilizou-se uma população de 30 indivíduos, com cruzamento simples (torneio) e 1% de mutação. Nesse trabalho serão comparados dois casos, um que utiliza os valores encontrados no trabalho (SOUZA *et al.*, 2017) (abordagem 1) e outro que utiliza metade desses valores, considerando o conhecimento prévio dos autores sobre o processo em análise (abordagem 2).

Para cada uma das abordagens foram realizadas 100 simulações. Isso devido ao fato de que o AG é uma técnica probabilística de otimização, ou seja, não há garantia de solução ótima. Nesse sentido, a comparação entre as abordagens é definida por meio do menor erro relativo ao decorrer de todas as simulações. A Figura 1 apresenta o controlador DFCM modelado para o sistema estudado. Na qual, W são os valores para as relações causais entre os conceitos, evoluídas de forma *off-line* com o AG e *on-line* por meio do algoritmo de Hebb (SOUZA *et al.*, 2017).

4 | RESULTADOS

As melhores soluções encontradas para as duas abordagens utilizadas, relativas as 100 simulações, são apresentadas nas Figuras 2 e 3.

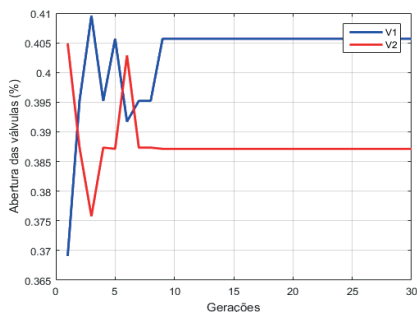
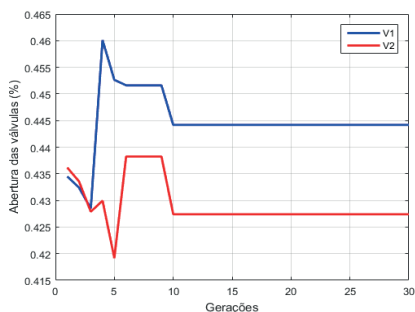
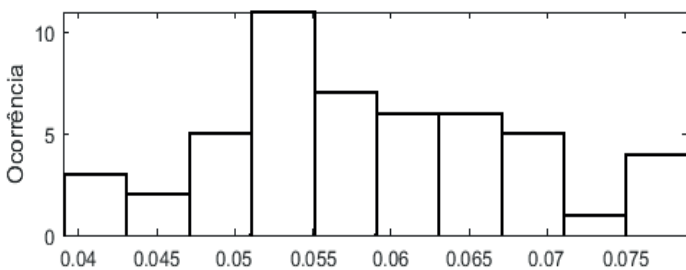


Figura 2a. Evolução do AG, V1 e V2 – Figura 2b. Evolução do AG, V1 e V2

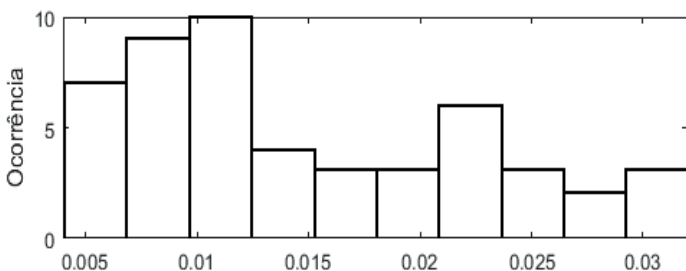
As Figuras 2a e 2b— são respectivamente abordagem 1 e 2. Ressalta-se que a solução na abordagem 2 foi mais rápida, usou menos gerações, em outras palavras. Entretanto, os resultados da abordagem 2 foram mais promissores.

Pode-se observar que, além da evolução mais rápida da abordagem 2, o conhecimento prévio da faixa de valores, em que se encontra a solução, resultou também em melhores resultados.

Na Figura 3, é apresentado o histograma com os erros obtidos para as duas abordagens, comprovando os melhores resultados para a abordagem 2. É possível notar que as ocorrências dos erros para a abordagem 2 estão relativamente mais próximas a zero, com valor máximo na ordem de 0,03.



(a) Erro - abordagem 1



(b) Erro - abordagem 2

Figura 3 - Histograma para abordagens 1 e 2

5 | CONCLUSÕES

Os resultados das simulações foram promissores, e demonstram que o conhecimento prévio da faixa de valores das relações causais (abordagem 2), na abordagem 2, os pesos das relações causais foram inicializados dentro de uma faixa de valores, baseada em conhecimento prévio do sistema. O que ocasiona em uma convergência mais rápida para o AG em comparação com uma população inicial totalmente aleatória (abordagem 1). É possível observar também que a abordagem 2 obteve a melhor distribuição de erros, como mostrado na Figura 3.

Como futuros trabalhos, sugere-se investigar a combinação de diferentes configurações do AG, como outros tipos de cruzamento e maior número de indivíduos, com outros métodos de otimização, como por exemplo, *simulated annealing*.

REFERÊNCIAS

AXELROD, R. **Structure of decisions: the cognitive maps of political elites**. 1. ed. Princeton, NJ, USA: Princeton University Press, 1976.

BÄCK, T., FOGEL, D. B., & MICHALEWICZ, Z. **Handbook of evolutionary computation**. Springer, 1997.

COPPIN, B. **Artificial Intelligence Illuminated**. 2. ed. Burlington, MA, USA: Jones & Bartlett Learning, 2004.

GOLDBERG, D. E. **Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning**. 1. ed. Boston, MA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1989.

HOLLAND, J. H. **Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control and Artificial Intelligence**. 1. ed. Cambridge, USA: MIT Press, 1992.

KENNEDY, J.; EBERHART, R. **Particle swarm optimization**. Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks. Perth, WA, Australia, Australia: IEEE, 1995

KOSKO, B. **Fuzzy cognitive maps**. International Journal of Man-Machine Studies, v. 24, n. 1, p. 65–75, 1986.

NAPOLES, G. *et al.* **Fuzzy Cognitive Maps Tool for Scenario Analysis and Pattern Classification**. 2017 IEEE 29th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI). Boston, MA, USA: IEEE, 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8372006/>>

REEVES, C. R.; ROWE, J. E. **Genetic Algorithms: Principles and Perspectives - A Guide to GA Theory**. 1. ed. New York, USA: Springer US, 2002.

SOUZA, L. B. DE *et al.* **Dynamic Fuzzy Cognitive Maps Embedded and Classical Fuzzy Controllers Applied in Industrial Process**. ICAS 2017 : The Thirteenth International Conference on Autonomic and Autonomous Systems. Barcelona, Spain: IARIA, 2017

- SMITH, J. Q., & MENCZER, F. (2007). Fuzzy cognitive maps: **A survey**. In **Proceedings of the 2007 ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining** (pp. 1197-1206). ACM.
- STACH, W. *et al.* **Genetic learning of fuzzy cognitive maps**. Fuzzy Sets and Systems, v. 153, n. 3, p. 371–401, 1 ago. 2005.
- ZHOU, X., & LIU, B. (2011). Fuzzy cognitive maps: **A survey of applications**. International Journal of Intelligent Systems, 26(10), 1076-1106.

GEOTECHNICAL MAPPING PROPOSAL FOR FEDERAL HIGHWAY - BR 319

Data de submissão: 08/11/2023

Data de aceite: 01/12/2023

Vinicius Gabriel Martins Passos

Department of Infrastructure (DAINFRA)
- Civil Engineering Course - Federal
Institute of Education, Science and
Technology of Amazonas - IFAM
Manaus/Amazonas
<http://lattes.cnpq.br/2714788689860282>

Fabio Martins da Silva

Department of Infrastructure (DAINFRA)
- Civil Engineering Course - Federal
Institute of Education, Science and
Technology of Amazonas - IFAM
Manaus/Amazonas
<http://lattes.cnpq.br/2120414962271168>

ABSTRACT: The construction of the federal highway BR 319, has been in its construction phase since 2021, and the body responsible for the construction (National Department of Transport Infrastructure - DNIT) presented results of traditional technological characterization of soils that were removed from the piles along a stretch of BR 319, due to this fact, the present research proposes a geotechnical mapping study to present these values in image form.

KEYWORDS: Paving : Asphalt : Brazil : DNIT

INTRODUCTION

The construction of highways is essential for urban development with immeasurable benefits and whose construction techniques are specific and standardized nationally or/and internationally.

The sectoral policy of the Ministry of Transport for the performance of the National Department of Transport Infrastructure - DNIT aims, among its basic guidelines for the road sector: the implementation of new highways, paving of existing sections and the expansion of the capacity of various segments of the road network federal (DNIT, 2010).

In this context, it should be noted that BR 319 is the only federal highway that connects the capital of the State of Amazonas to other regions of Brazil. In a brief history, according to Fearnside *et al.*, such highway began its construction with 680 kilometers in mid-1972, and the 197 kilometers in 1973 that completed the popularly known Transamazônica highway.

It divided the Amazon region from east to west in half and currently has an extension of 885 km from north to south from Manaus to Porto Velho.

According to the general assessment of the conditions of federal highways, prepared by the CNT in 2021, Amazonas has 95.1% of the road network evaluated with some type of problem, being considered regular, bad to very bad, and only 4.9% estimated as excellent or good. This road, for most of its length, does not have a coating layer, and consequently, the stretches that do not have a surface layer coated with some type of asphalt mixture, may indicate a poor condition for vehicle traffic in the lane . scrolling, mainly during periods of high rainfall in the state.

In 2020, the preparation of studies, creation of a basic project and engineering executives of the BR-319 began, specifically along the kilometer 198.20 to 218.20. Such activities include the collection of soil samples *in loco* and the performance of tests, based on the guidelines established by government agencies and private entities in Brazil and abroad, for the purpose of building highways.

In another aspect, geotechnical mapping is a method to cartographically present geotechnical information for purposes of planning and use of the territory, as well as for the purposes of design, construction and maintenance of engineering works. Information on the characteristics and properties of the layers forming the subsoil profile of a given location may also be part of it, with a view to evaluating behavior and the probable geological-geotechnical problems resulting from its use in engineering projects (Vallejo et al, 2002) .

A GIS is defined as a manual or computational set of procedures used to store and manipulate georeferenced data, making it possible to obtain spatial information (Carr, 2003). It can also be understood as a technological information system similar to many others, however, it presents its database as a differential (Nuhcan Akçit , 2014) and therefore all stored knowledge which, on the other hand, must be linked to a geographical position, latitude and longitude (Lobo et al, 2015). It should be noted that the association of GIS with fuzzy logic has greatly increased its ability to operationalize information (Petry et al, 2003).

According to Fernandes (2009), geographic information systems allow storing not only vector or raster information , but also the alphanumeric attributes related to them in a georeferenced way. That is, the data alluding to a record that are linked to one or more points on the Earth's surface, thus allowing a more realistic analysis of the use of space.

The number of GIS software available on the market is very wide and the choice is very particular. Among these, there is the computational program developed by the North American company ESRIS, ArcGis , which shows the capacity to be a georeferenced database and, based on this storage, allows the creation of features objectifying the exposure of relevant data in image formats . Thus, for its implementation, the domain program (Arcgis 10.8 PRO) is necessary to create the maps and the auxiliary programs (Google Earth PRO, Autocad and Excell) to support the manufacture of the final products.

In this way, the creation of a geotechnical mapping with information on the

characteristics and behavior of the soil raises the development of research with these aspects, aiming at the use of this material in the construction of roads and highways through a geographic information system tool.

METHODOLOGY

In this chapter, the methodology used in the investigation in question is presented, as shown objectively in Figure 1. The predominant approach consisted of treating the data collected in the field, referring to a certain stretch of the federal highway BR 319, and showing them in form of geotechnical maps.

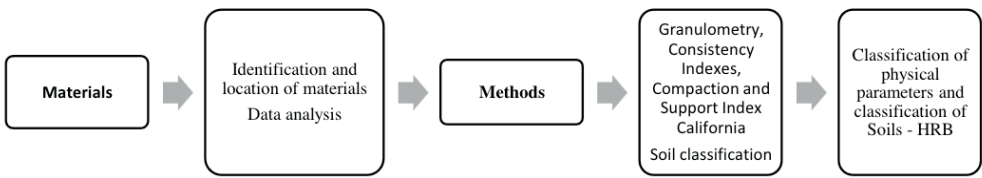


Figure 1 - Study methodology flowchart.

Materials

Regarding material data, DNIT makes available on its official federal government website all information regarding the characterization of materials.

The place where the soil samples were taken came from the subgrade, deposits and loan boxes. They were located in the stretch from kilometer 198.20 to 250.00 of the federal highway BR 319, in particular in the geographic coordinate system shown in Table 01.

excerpt	Latitude	Longitude
Kilometer 198.20 (Initial Station)	4°20'3.19"S	60°54'30.38"O
Kilometer 218.20 (Final Stakes)	4°27'28.71"S	61° 3'13.96"W

Table 01 – Coordinates of the sampled points. Source: Google Earth Pro

Data from samples extracted and analyzed in the laboratory were provided by the DNIT agency. in total 103 samples were collected, placed in plastic bags and identified by the numbering of the stakes from 00 to 1005, located every 0.02 km from one stake to the other, along the 20.00 km of the analyzed section of the BR 319 highway. The information was tabulated according to the following content: The) stake kilometer location; B) stake numbering; w) depth of sampling; c) granulometry; d) physical indices (liquidity limit, plasticity limit, plasticity index, group index); e) HRB classification; f) optimum humidity (w_{ot} %); h) California Support Index; i) expansion.

The texture and color of the materials were determined by percussion sounding,

whose execution procedure was carried out in accordance with the Brazilian Standard NBR 6484. In the case of the study of deposits, for use in the sub-base layer, it was obtained a purge volume of 1284.30 m³, usable volume of 38,529 m³ and incidence area of 12,843.00 m². Depending on the loan boxes, which are used to replace the soil layer for use in the body of the pavement, a total number of 07 (seven) were recorded, located in different locations along the stretch, and it is possible to identify relevant information in the Table 02.

loan box identification	incidence area	usable volume	purge volume	Local
Loan box 01	15,980.00 m ²	31,960.00 m ³	1,598.00 m ³	186.50 km
Loan box 02	33,136.00 m ²	66,272.00 m ³	3,313.60 m ³	186.50 km
Loan box 03	33,136.00 m ²	66,272.00 m ³	3,313.60 m ³	192.50 km
Loan Box 04	30,262.00 m ²	60,524.00 m ³	3,026.20 m ³	193.50 km
Loan box 05	62,024.00 m ²	189,072.00 m ³	6,202.40 m ³	194.50 km
Loan box 06	34,412.00 m ²	68,824.00 m ³	3,441.20 m ³	195.20 km
Loan box 07	4,872.00 m ²	9,744.00 m ³	487.20 m ³	EST. 654

Table 02 – Loan boxes, modified. Source: DNIT.

Methods

Analysis of geotechnical data

The data based on the geotechnical characterization, from laboratory tests, were granted to the work by the company Ardo Construtora e Pavimentação Ltda.

Texture and consistency tests followed the following procedures, respectively: DNIT ME 080/94 standard – Grain size analysis by sieving, Liquidity Limit, specified by DNIT ME 122/94 standard, and Plasticity Limit, according to DNIT ME 082 standard /94.

Following the guideline of the NBR 7182 standard, the compaction test was carried out at normal Proctor energy, determining the parameters optimal humidity and maximum dry apparent specific weight. The determination of the California Support Index, CBR, followed the NBR 9895 and DNIT 172/2016 - ME standards, and the soil expansion was also obtained.

Based on the results of granulometry and consistency tests, it was possible to typify the soils in accordance with the Jenkins classifications (Table 03) and the AASHTO recommendations. This methodology, according to DAS (2019), was developed in 1929. After several revisions, its current version is the result of a proposal by the Highway Research Board, following the guidelines of ASTM standard D-329-82 and AASHTO method M145 (Figure 03). It is noteworthy that, based on this classification, it is possible to evaluate the subgrade, for the purpose of building pavements.

Plasticity Index, IP	Description
$1 < IP < 7$	weakly plastic
$7 < IP < 15$	moderately plastic
$IP > 15$	highly plastic

Table 03 – Jenkins classification. Source: Caputo, 1987.

Classificação geral	Materiais granulares (35% ou menos da amostra total passante pela peneira nº 200)						
Classificação de grupo	A-1			A-2			
	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Ensaio de peneiramento (porcentagem passante)							
nº 10	50 no máximo						
nº 40	30 no máximo	50 no máximo	51 no mínimo				
nº 200	15 no máximo	25 no máximo	10 no máximo	35 no máximo	35 no máximo	35 no máximo	35 no máximo
Características da fração passante nº 40							
Limite de liquidez				40 no máximo	41 no mínimo	40 no máximo	41 no mínimo
Índice de plasticidade	6 no máximo		NP	10 no máximo	10 no máximo	11 no mínimo	11 no mínimo
Tipos comuns de materiais constituintes significantes	Fragmentos de pedra, pedregulho e areia		Areia fina	Silte ou pedregulho argiloso e areia			
Avaliação geral como subleito	De excelente a bom						

Classificação geral	Materiais de silte-argila (mais de 35% da amostra total passante pela nº 200)			
Classificação de grupo	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 ^a A-7-6 ^a
Ensaio de peneiramento (porcentagem passante)				
nº 10				
nº 40				
nº 200	36 no mínimo	36 no mínimo	36 no mínimo	36 no mínimo
Características da fração passante nº 40				
Limite de liquidez	40 no máximo	41 no mínimo	40 no máximo	41 no mínimo
Índice de plasticidade	10 no máximo	10 no máximo	11 no mínimo	11 no mínimo
Tipos comuns de materiais constituintes significantes	Solos com silte		Solos argilosos	
Avaliação geral como subleito	De fraco a ruim			

^aPara A-7-5, $IP \leq LL - 30$
^aPara A-7-6, $IP > LL - 30$

Figure 3 – HRB classification. Source: Caputo.

Arcgis Pro 10.8 Software

The program developed by the North American company ESRI, is conceptualized as a tool of the Geographic Information System. It is based on commands for data manipulation and its main feature is the creation of features to expose relevant data characteristic of a specific area, section or road. In compliance with the manufacturer (ESRI), this computational program has the capacity to store (Geodatabase), classify (Features) and cross data of different orders and magnitudes (Interpolation).

To create features in the computational program Arcgis PRO 10.8, it is fundamental that the connection between the geographic data (spatial) and the tabulated data (field) have a unique storage and identification relationship. For a better understanding of the program's functionality, the software has a wide range of functions, among which we explain below.

Shapefile , Attribute and Feature Set, and Arctoolbox

Shapefile is a command line software, with the function of storing vector data. With this domain of the program, it is possible to create a set of attributes and features.

The aforementioned set of georeferenced attributes can be inserted into the program by exporting tables, provided that the items under analysis are organized and described with the type of coordinate. To the set of non-georeferenced attributes, it is possible to import into the program with the help of Google Earth Pro tool or/and Autocad , being necessary to synchronize the measurement information with each item of the attribute and having a georeferenced starting point, it is possible to start from that point, if not, it is possible through empirical analysis by increasing the scale on the map, reconciling a location reference of the information obtained in the field with the image on the program screen.

Specific to the set of features, which constitute a grouping of a certain section, such as an area, land or a road, result in a layer, and in turn, is conceived through the representation of points, lines and polygons .

Arctoolbox consists of a set of geoprocessing tools, through which it is possible to: select a data and analysis conversion resource, import existing data into a geodatabase , permanently change the map, insert coordinate system parameters for a dataset, feature modification, interpolation of multivalued values and attributes for feature creation.

Google earth software for autocad and microsoft software excell

The process to georeference data that are not informed in the field analyzes is aided, as a rule, by the computer program Google Earth Pro. A tool that assists in exporting georeferenced items, via satellite image, to the ArcGis Pro 10.8 software format , thus contributing to better geographic accuracy in the design of features.

For assistance and support to the computational program sArcGis Pro 10.8, Autocad is also used . Program created and developed by the company Autodesk, whose function is to help export files to ArcGis Pro 10.8.

And finally, the last tool that collaborates with Arcgis PRO 10.8 is the Excel program, belonging to the Microsoft office package. It is used to organize and identify geographic coordinates. Another advantage is that it allows changing coordinate systems, such as, for example, transforming coordinates based on degrees, minutes and seconds (geographical coordinates) to coordinates based on meters (UTM coordinates).

The use of a Geographic Information System facilitates the manipulation and integration of georeferenced geotechnical data, in addition to providing the generation of thematic maps, a GIS tool, in addition to providing the opportunity for the associated database to be consulted, allowing its evaluation in a relation direct with location and spatial correlation with other data (Miranda, 2008).

ROSVELT *et al* (2022) mentions that a geotechnical map can be produced by crossing a series of information on morphology, geology, spatial distribution of soil types, mechanical properties and electrical properties of the soil.

It is emphasized that geotechnical mapping aimed at exposing data representative of the Brazilian context is not so contemporary. It is mentioned, for example, Valente (1999), who elaborated a geotechnical database inserted in the GIS tool for the city of Porto Alegre, in the State of Rio Grande do Sul.

Other authors investigated the use of geotechnics for road construction purposes and created a database through mapping. Higashi *et al* (2001) presented an analysis of the subsoil of the State of Santa Catarina with a view to the implementation of highways and, through the GIS environment, analyzed the geotechnical units with a view to the suitability of the soils for paving. Augusto *et al* (2002) discussed the advantages of using a GIS in the management of environmental liabilities, in the road network over the responsibility of the concessionaire responsible for the roads in the west of São Paulo. Using specific actions within a GIS, they created, through the programming language, an interface for easy access to geotechnical, road, and geological data, among others, and the interface obtained enabled public access to the data.

The result of making geotechnical maps, according to Davison Dias (1995), brings the advantage of a great reduction in the work of identifying and delimiting the area of the different types of soils present in a region.

Depending on the results obtained by geotechnical mapping techniques, Labib *et al* (2013), according to a customized GIS system methodology, obtained the provision of recovery processes, visualization and updating of large amounts of information associated with each soil sample and the combinations with its spatial location in a clear and organized way, being thus, it can be executed efficiently and with saving time.

rosvelt *et al* (2022), provide relevant information for assessing the stability of soils in an urban area, through the generation of laboratory data and, with such data, enabled the outlining of maps of soil units occurring in the researched region, resulting in exposure of the five types of soil found in each locality.

And in another investigation, EL MAY *et al* (2010) demonstrated the technical capacity of a GIS tool for the preparation of geotechnical zoning maps, regarding the suitability of a safe construction. They mention the potential of this resource portrayed by the ease,

handling, rapid analysis, treatment efficacy, and data updating.

RESULT

After cross-referencing the geotechnical data and preparing the maps, figures 4, figure 5, figure 6 and figure 7 were obtained.



Figure 4 – Location of the stretch along BR 319. Source: Own

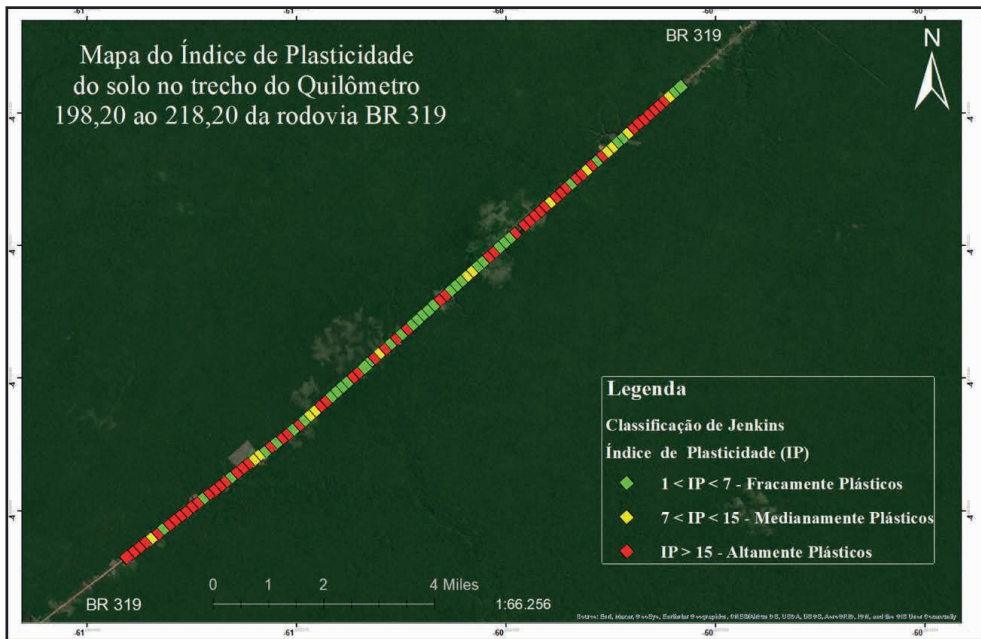


Figure 5 – Plasticity Indexes. Source: Own

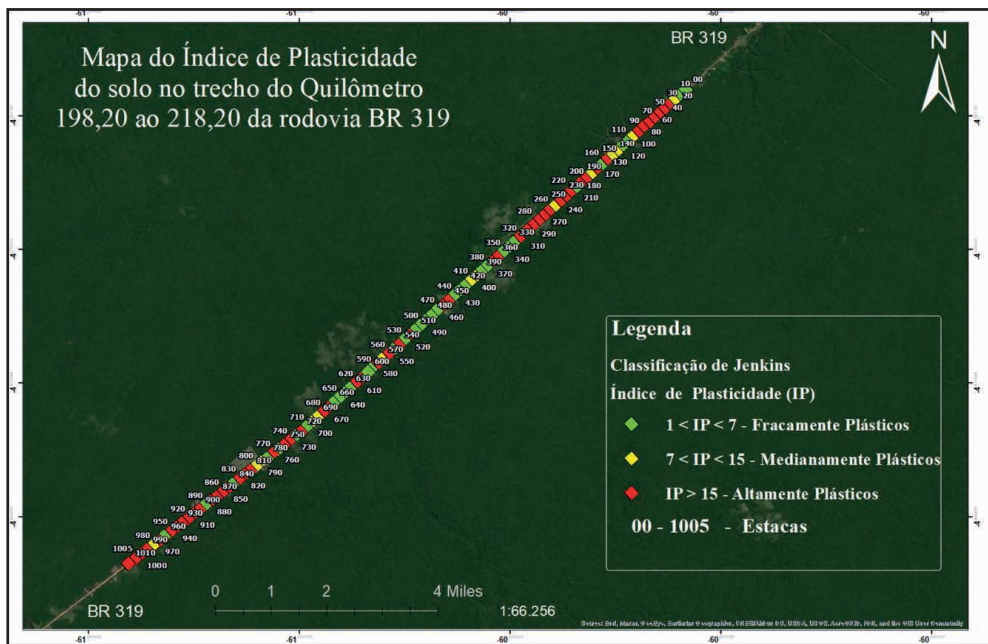


Figure 6 – Plasticity Indexes according to the location of the piles Source: Own

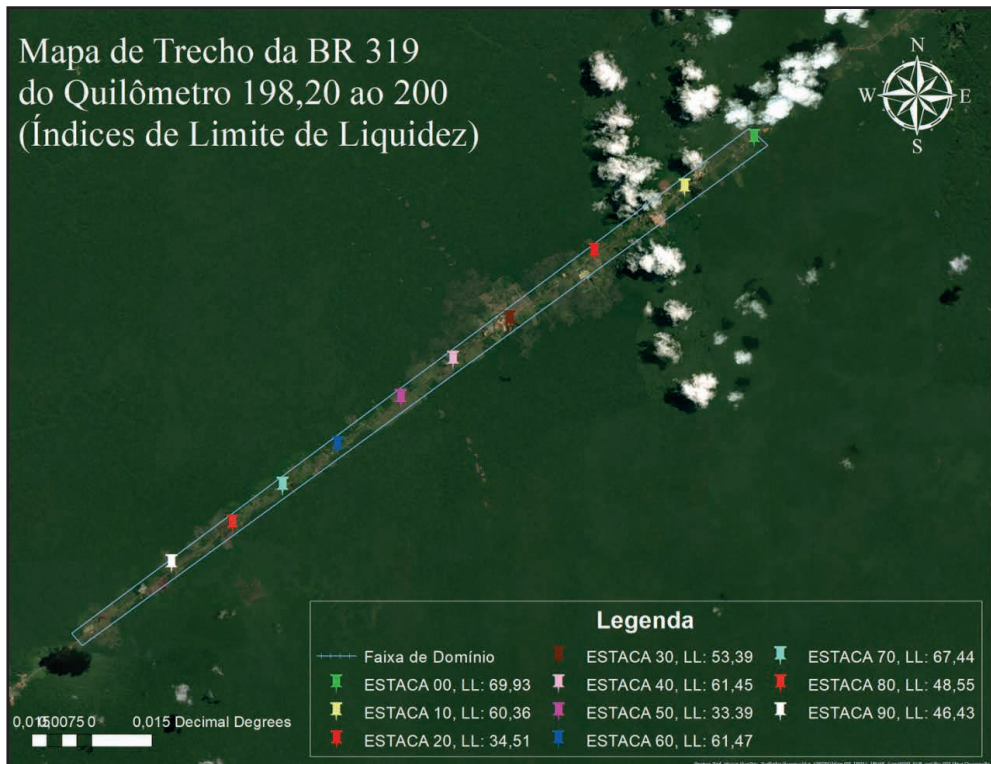


Figure 7 – Position of stakes. Source: Own

CONCLUSION

With the results presented in the figures, and due to the fact that the city of Manaus and the sites around the capital of Amazonas are located in a sedimentary basin, the type of soil that contemplates the road is a highly clayey soil, and this results in a type of natural material not very satisfactory for road and pavement construction, therefore, with the present maps indicating the plasticity indexes and liquidity limit, they will be able to collaborate with a future study to indicate possible points that present a fast and physical wear of the future pavements. As the classification of the indices are based on each stake, the collaboration will georeference with the future researcher to identify the type of problem based on the map.

REFERENCES

Al- Heety , Ahmed JR, Application of MASW and ERT methods for geotechnical site characterization : A case study for roads construction and infrastructure assessment in Abu Dhabi, UAE. Journal of Applied Geophysics . USA. Volume 193. October, 2021.

AUGUSTO FILHO, O; AKIOSSI, A.; KERTZMAN, F. GIS Management of Environmental Liabilities: an example for a road project. 10th Brazilian Congress of Engineering and Environmental Geology. Congress proceedings. Black Gold – MG. August 2002.

Braja M. Das, Khaled Sobhan. Fundamentals Of Geotechnical Engineering. 9th edition. USA, Cengage Learning Publisher, 2019.

BRAZILIAN ASSOCIATION OF TECHNICAL STANDARDS. NBR 6459: Soil: determination of the liquidity limit. Rio de Janeiro, 1984d. 6 p.m.

BRAZILIAN ASSOCIATION OF TECHNICAL STANDARDS. NBR 6457: Soil samples: preparation for characterization and compaction tests. Rio de Janeiro, 1984a. 9 p.m.

BRAZILIAN ASSOCIATION OF TECHNICAL STANDARDS. NBR 7181: Soil: granulometric analysis. Rio de Janeiro, 1984c. 13 p.

BRAZILIAN ASSOCIATION OF TECHNICAL STANDARDS. NBR 7182: Soil: compaction test. Rio de Janeiro, 1986. 10 p.

BUENO, BS; VILAR, OM Mechanics of soils. Viçosa: University of Viçosa, 1980. 131p

CAPUTO, HP Soil mechanics and its applications. 6.ed. Rio de Janeiro, Technical and Scientific Books, 1987 . 219p.

CASAGRANDE, A. Research on the Atterberg limits of soils . Public Roads , v. 13, no. 8, p. 121-136, 1932.

Carr, TR (2003). Public information technology . Chapter geographic Information Systems in the Public Sector, pages 251-270. IGI Global, Hershey, PA. USA.

DAVISON DIAS, R. Proposal for a Methodology for Defining a Basic Geotechnical Map in Tropical and Subtropical Regions. Magazine of the Geological Institute, São Paulo. Specific See, Pages 51-55, 1995.

EL MAY, Moufida .; DLALA, Mahmoud.; CHENINI, Ismail. Urban geological mapping: Geotechnical data analysis for rational development planning . Engineering Geology . Tunisia. Vol 116, Page. 129–138, August 13, 2010. Available at: doi:10.1016/j.enggeo.2010.08.002.

FEARNSIDE, PHILIP M. The Manaus-Porto Velho highway and the potential impact of connecting the arc of deforestation to central Amazonia. In: Fearnside, PM (Org.). Destruction and Conservation of the Amazon Forest, Vol. 1. 1st. Manaus: Editora do INPA, 2021, v. 1, p. 273-294.

FERNANDES, EDGAR. Method for Creating an Interactive Map Suggesting the Use of Space with the Support of Fuzzy Logic. 2009, Doctoral Thesis in Engineering. Federal University of Santa Catarina, Graduate Program in Civil Engineering. Santa Catarina Brazil. 2009

HIGASHI, RR Use of a GIS in the Development of a Geotechnical Database of the North of the State of Rio Grande do Sul. Masters dissertation. Graduate Program in Civil Engineering, Road Infrastructure. 198p, 2002.

KINNISON, CS A study of the Atterberg Plasticity Limits. Technologic Papers of Bureau Standards, Washington, no. 46, p. 3-18, 1915.

LABIB, Mary; NASHED, Armani. GIS and geotechnical mapping of expansive soil in Toshka region. still shams engineering Journal . Al Qalyubia , Egypt. Vol 4, Issue 3, September 2013, Pages 423-433. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2012.11.005>.

Lobo, MJ., Pietriga , E., and Appert , C. (2015). An evaluation of interactive map comparison techniques . Pages 3573-3582

MACHADO, CC; MALINOVSKI, JR Forest road network. Curitiba: UFPR – Forest Research Foundation of Paraná. 1986. 157 p.

MIRANDA, Talita Caroline, et al. Geotechnical Mapping and Generation of a Database for the Area Covered by the BR101/RS Duplication Work. In: XIV Brazilian Congress of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering COBRAMSEG, 2008, Búzios. XIV Brazilian Congress of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering COBRAMSEG, 2008.

NATIONAL DEPARTMENT OF INFRASTRUCTURE AND TRANSPORT. DNIT 022: Flexible pavements - Asphalt concrete - Service specification. Rio de Janeiro: DNER, 1971.

NATIONAL DEPARTMENT OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE, DNIT. Basic Highway Implementation Manual. Brazil, 3rd Edition. 2010. Page 40.

NATIONAL DEPARTMENT OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE. DNIT. Paving Manual. 3rd ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. 274 p.

NATIONAL TRANSPORT CONFEDERATION. Data Synthesis: Brazil, Regions and UFs . Summary of the results of the 2021 CNT survey of highways in Amazonas. 2021, Page 05.

Nuhcan Akçit , Emrah Tomur, MOK (2014). geographical information systems participating into the pervasive computing. In GEOprocessing 2014. The Sixth international Conference on Advanced geographic Information Systems, Applications , and Services, pages 129-137. ThinkMind.

PETRY, FE et al. Design of system for managing fuzzy relationships for integration of spatial data in querying . Fuzzy Sets and Systems, Elsevier, v. 140, p. 51-73, 2003.

ROSVELT MALICK, Messe Domanou ; KENFACK JEAN, Victor; BOMENI ISAAC, Yannick; NGAPGUE, François; WOUATONG ARMAND, Sylvain Ludovic. Geotechnical soil mapping from electrical and mechanical properties : case study of the Bafoussam urban area , west Cameroon . Applied Computing and Geosciences . United Kingdom, Volume 13, March 2022, 100078. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.acags.2021.100078>

Vallejo, LIG; Ferrer, M; Ortuño , L. Oteo , C. Ingeniería geológica. Madrid: Pearson Education , 2002.

VALENTE, A, L S. Database using Geoprocessing for the preparation of Geotechnical Maps , Analysis of the physical environment and its interactions with the Urban Area of Porto Alegre. 199. Thesis (Doctorate in Engineering) – School of Engineering, Graduate Program in Mining, Metallurgy and Materials Engineering, University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

EFEITOS NA MICROESTRUTURA E DUREZA DE AÇO DE MÉDIO TEOR DE CARBONO SUBMETIDOS A DIFERENTES TRATAMENTOS TÉRMICOS

Data de aceite: 01/12/2023

Lucas Henrique Soares Quirino

Instituto Federal do Paraná

Murillo Garcia Gentil

Instituto Federal do Paraná

Ricardo Breganon

Instituto Federal do Paraná

Rogério Breganon

Instituto Federal do Paraná

Carla Kozuki

Instituto Federal do Paraná

Gustavo Henrique Bazan

Instituto Federal do Paraná

Gustavo Vendrame Barbara

Instituto Federal do Paraná

Felipe Augusto de Aguiar Possoli

Instituto Federal do Paraná

Uiliam Nelson Lendzion Tomaz Alvez

Instituto Federal do Paraná

André Luiz Salvat Moscato

Instituto Federal do Paraná

Luis Fabiano Barone Martins

Instituto Federal do Paraná

Fernando Sabino Fonteque Ribeiro

Instituto Federal do Paraná

RESUMO: Os aços desempenham um papel fundamental na sociedade devido às diversas aplicações que possuem. Em certas circunstâncias, é essencial empregar métodos de tratamento térmico para aprimorar as características mecânicas dos aços, tendo em vista que os diferentes percentuais de carbono podem permitir o aumento ou diminuição da resistência mecânica e da dureza, quando necessário. Isto posto, o presente artigo tem como objetivo avaliar a dureza e a as diferentes microestruturas do material, após os tratamentos térmicos de têmpera, revenimento e recozimento. Como resultado, foram obtidas variações na microestrutura condizentes com a bibliografia, sendo corroborado pelos valores de dureza encontrados.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento térmico. Aço SAE 1045. Microestrutura. Dureza.

MICROSTRUCTURE AND HARDNESS EFFECTS ON MEDIUM-CARBON STEEL SUBJECTED TO DIFFERENT HEAT TREATMENTS

ABSTRACT: Steels play a fundamental role in society due to the diverse applications they have. In certain circumstances, it is essential to employ heat treatment methods to improve the mechanical characteristics of steels, considering that different percentages of carbon can allow the increase or decrease in mechanical resistance and hardness, when necessary. That said, this article aims to evaluate the hardness and different microstructures of the material, after heat treatments of quenching, tempering and annealing. As a result, variations in the microstructure were obtained, consistent with the literature, corroborated by the hardness values found.

KEYWORDS: Heat Treatment. SAE 1045 steel. Microstructure. Hardness.

INTRODUÇÃO

À medida que se observaram avanços nas diferentes aplicações dos aços, constatou-se que esses materiais exibiam propriedades mecânicas particulares. No entanto, ao serem submetidos a procedimentos de tratamento térmico, consistindo em aquecimento e resfriamento controlados, essas propriedades sofriam modificações significativas e repercutiam no uso final do material (Vale, 2011). Dentre as classes dos aços, o aço SAE 1045 é tipicamente categorizado como um aço com teor de carbono intermediário (Tabela 1) com elevada aplicação industrial, devido sua notável resistência mecânica (Chiaverini, 1986), conforme Tabela 2.

Elemento	C	Mn	S	P	Fe
SAE 1045	0,420-0,50	0,60-0,90	0,050	0,040	98,51-98,98

Tabela 1: Composição química do aço SAE 1045 (Ibrahim *et al*, 2015).

Condição	Resistência a tração (MPa)	Energia de impacto Charpy (J) entalhe V.
Não tratada	742	150
Recozida	650	140
Temperada	725	144

Tabela 2: Propriedades mecânicas do aço SAE 1045 (Singh *et al*, 2021).

Os materiais são constituídos por estruturas que consistem em arranjos atômicos que resultam em configurações estruturais conhecidas como células unitárias, frequentemente assumindo a forma cúbica, hexagonal, ortorrômbica e tetragonal. Quanto a estruturação cúbica, é comum as formas identificadas como cúbica de corpo centrado ou cúbica de face centrada (Callister, 2002). Os aços são compostos por ligas de ferro e carbono (Fe-

C), e a estrutura cúbica desses materiais sofre transformações devido às mudanças na organização dos átomos que ocorrem durante os processos de aquecimento e resfriamento (Vlack, 2000).

O tratamento térmico oferece a capacidade de alterar as propriedades mecânicas dos aços de acordo com as exigências específicas de cada aplicação, sendo comum o aumento da dureza, aprimoramento da ductilidade e outras melhorias (Chiaverini, 2008). Essa modificação nas propriedades mecânicas é sensível ao tipo de processo utilizado, bem como à temperatura de aquecimento, taxa de resfriamento, tempo de exposição ao calor e às condições estruturais do aço (Chiaverini, 2005).

As alterações nas propriedades mecânicas dos aços podem ser avaliadas por meio de ensaios específicos, como o ensaio de dureza. No entanto, também é fundamental considerar a observação por meio do processo de metalografia, que possibilita a análise da microestrutura, permitindo não apenas a avaliação do comportamento esperado do material, mas também a investigação da sua organização estrutural (Colpaert, 2008).

Isto posto, o presente estudo tem como objetivo verificar como as microestruturas do aço SAE 1045 são modificadas em processos de tratamento térmico de têmpera, revenimento e recozimento, frente a comparação a condição original do material, correlacionando estes dados a avaliação da dureza dos materiais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste estudo, foram utilizadas amostras de aço SAE 1045 laminado. As amostras foram cortadas com auxílio de uma serra fita G4025 Bda marca Eurostec, com uso de fluido de corte Quimatic ME-1 em diluição de 1:40, visando não gerar alterações microestruturais devido ao aquecimento durante o corte. Foram cortadas seções de 12 mm de espessura para cada uma das condições avaliadas. A amostra de aço utilizada neste trabalho é representada na Figura 1.



Figura 1: Amostra de aço SAE 1045.

Quatro padrões para investigação foram adotados, sendo a condição original do material em questão, a condição com têmpera, com revenimento e com recozimento. Tratando-se de um material comercial, foram seguidas as instruções fornecidas pela empresa GGD Metais (2023). Os procedimentos sugeridos pelo fornecedor são:

Recozimento: O tratamento deve ser feito na temperatura próxima de 800 – 850°C por no mínimo 1 hora para cada 25 mm. Resfriar lentamente no forno.

Têmpera: Austenitizar em temperatura entre 820 – 850°C. Aquecer por 1 hora para cada 25 mm de espessura. Resfriar em água ou solução polimérica. Para resfriamento em óleo (seções menores do que 10 mm) temperar a partir de 840 – 860°C.

Revenimento: Deve ser realizado imediatamente após a têmpera quando a temperatura atingir cerca de 70°C. A temperatura de revenimento deve ser selecionada de acordo com a dureza especificada para o componente. Para isto utilizar a curva de revenimento orientativa, conforme Figura 2. Manter na temperatura de revenimento por no mínimo 1 hora para cada 25 mm de espessura e utilizar no mínimo por duas horas. Resfriando em ar calmo.

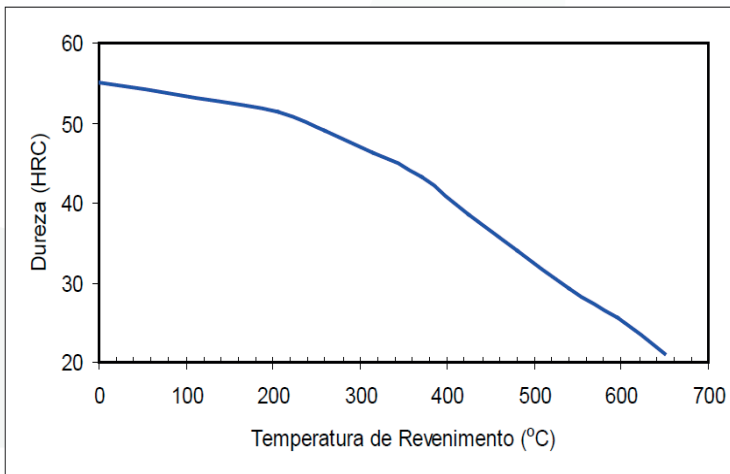


Figura 2: Curva de revenimento. Têmpera a partir de 850°C (GGD Metais 2023).

Para a realização dos tratamentos térmicos, um forno mufla da marca Solidsteel foi utilizado, como indicado na Figura 3. Seguindo os parâmetros recomendados anteriormente, as amostras foram submetidas aos tratamentos térmicos de têmpera, têmpera seguida por revenimento a 600°C e recozimento, sendo utilizada a água em temperatura ambiente para resfriamento nos casos da têmpera.



Figura 3: Forno mufla aplicado aos ensaios.

Realizados os procedimentos de tratamento térmico, as amostras receberam a preparação metalográfica. Foram realizados cortes com uma cortadora metalográfica da marca Fortel, modelo CFI 40, utilizando fluido de corte LRF em diluição de 1:4. Em seguida, as amostras foram embutidas em baquelite com uma embutidora EM 40D, fabricado pela Teclago. Após essa etapa, foi realizado o lixamento com lixas de granulometria variando de 80 a 2500 mesh, seguido pelo polimento com pasta de diamante de 6, 3 e 1 μm , sendo que ambos os processos de lixamento e polimento foram realizados em uma lixadeira politriz de velocidade variável modelo PVV, da fabricante Teclago. Por fim, após a limpeza, as amostras foram submetidas ao ataque químico da superfície polida em solução Nital 2% (2% de HNO_3 + 98% de $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$). Utilizando-se de um microscópio ótico Kontrol, modelo IM 100i e uma câmera digital, foram efetuadas imagens com ampliações de até 400x. A Figura 4 apresenta os equipamentos utilizados para o procedimento metalográfico.

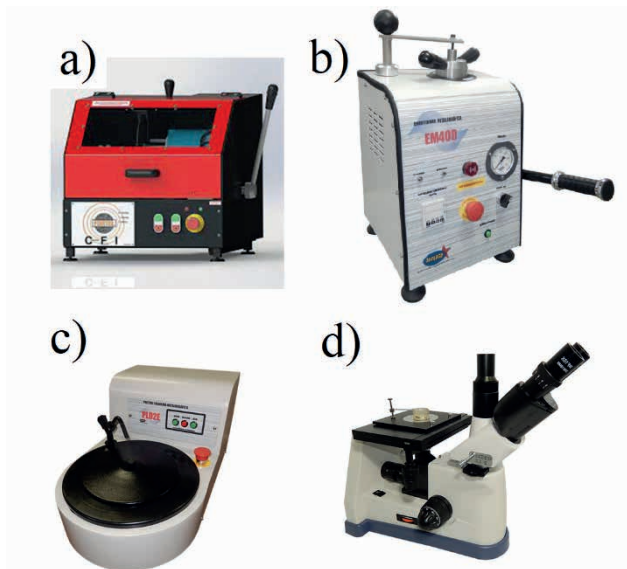


Figura 4: Equipamentos utilizados: a) Cortadora metalográfica; b) Embutidora metalográfica; c) Lixadeira e poltriz; d) Microscópio ótico.

Em busca de evidências sobre o aumento ou não da resistência mecânica das amostras submetidas a diferentes tratamentos térmicos, medições da dureza foram realizadas. Utilizando um durômetro digital modelo HR-300, da marca Mitutoyo, obteve-se o valor médio correspondente a 5 medições em diferentes regiões de cada amostra. Ressalta-se que para a medição da dureza, foram utilizadas seções das amostras que não foram submetidas ao processo metalográfico, sendo realizada a devida remoção dos óxidos superficiais com auxílio de uma escova de aço. A medição da dureza foi realizada utilizando o equipamento mostrado na Figura 5.



Figura 5: Equipamento de medição de dureza com durômetro HR-300.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As amostras submetidas ao procedimento de embutimento, polimento e ataque químico são apresentadas na Figura 6. Com base nas imagens efetuadas, foi possível avaliar a morfologia das amostras de aço SAE 1045, variando de acordo com o processo de tratamento térmico empregado.

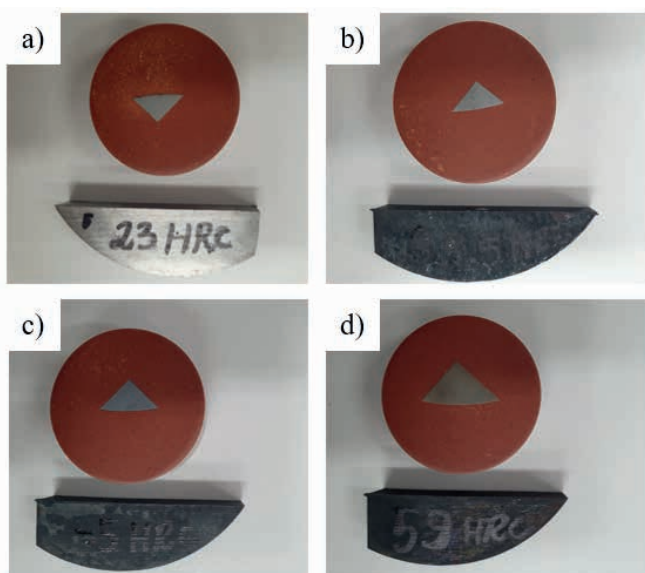


Figura 6: Amostras aplicadas no trabalho: a) Estrutura original; b) Temperada e revenida; c) Recozida; d) Temperada.

Conforme observado, a amostra não tratada termicamente revelou uma microestrutura martensítica revenida em alta temperatura, conforme representado na Figura 7, característica essa comum em aços hipoeutetóides, particularmente aquelas com teores moderados de carbono que passaram por um ciclo térmico que permitiu a formação de martensita (Colpaert, 2008).

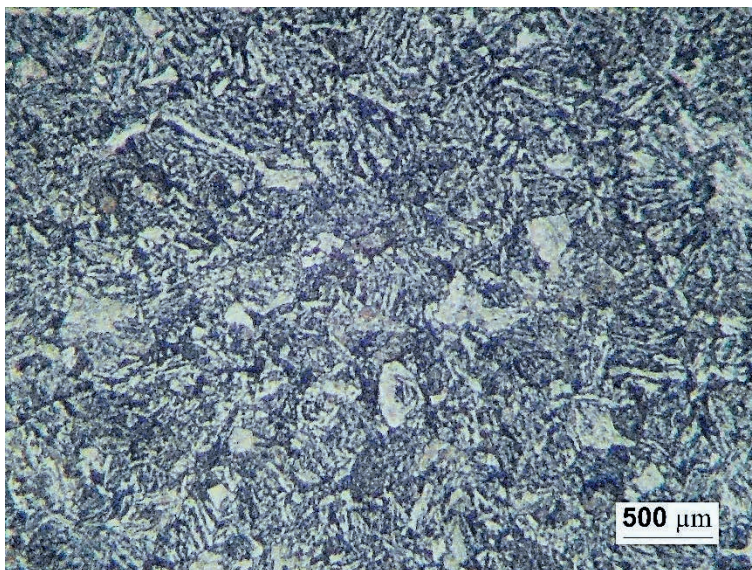


Figura 7: Metalografia da amostra na condição original de fornecimento.

Nas amostras submetidas ao tratamento térmico de têmpera seguido por revenimento, verifica-se a microestrutura apresentada na Figura 8. A têmpera é um tratamento térmico que envolve o aquecimento do aço a uma temperatura crítica, denominada temperatura de austenitização e, em seguida, resfriamento rápido. Isso produz uma microestrutura extremamente dura e frágil chamada de martensita, caracterizada por apresentar uma estrutura alongada, em forma de agulha (Silva, 2021). Durante o revenimento, ocorre uma transformação da martensita em uma mistura de ferrita e perlita, melhorando a tenacidade do aço, tornando-o menos quebradiço e mais adequado para aplicações em que a resistência mecânica é importante.

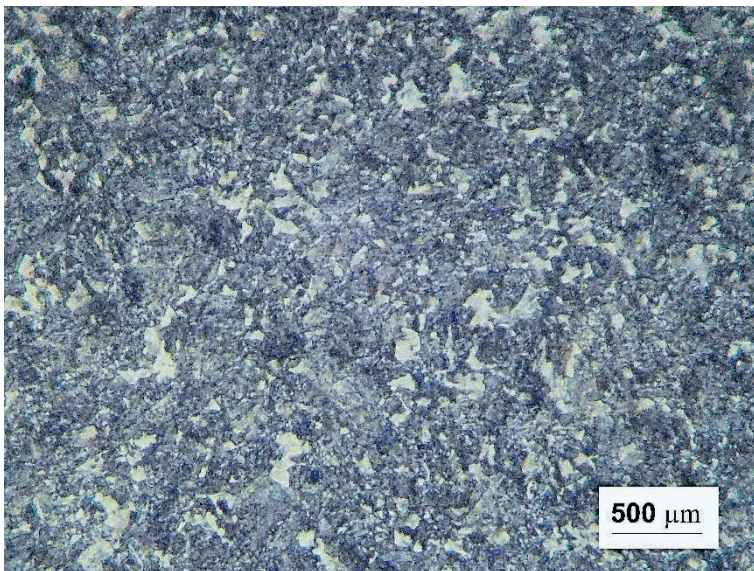


Figura 8: Metalografia da amostra na condição de têmpera e revenimento.

Portanto, o resultado de um tratamento térmico de têmpera e revenimento em aço SAE 1045 é uma combinação de alta dureza da martensita e maior tenacidade da microestrutura resultante do revenimento. Isso torna o aço SAE 1045 adequado para uma ampla gama de aplicações, como engrenagens, eixos e outras peças que requerem resistência mecânica. O controle adequado dos parâmetros de tratamento térmico é fundamental para obter as propriedades desejadas no aço SAE 1045, atendendo aos requisitos específicos de engenharia.

Na Figura 9 é apresentada a amostra que foi submetida ao processo de recozimento. A amostra recozida exibe uma concentração maior de grãos de ferrita, devido ao crescimento desses grãos, e ilhas perlíticas mais grosseiras, resultantes do resfriamento mais lento. Essas observações corroboram as condições sugeridas por Chiaverini (2005), uma vez que o tratamento de recozimento tem o propósito de reduzir as tensões e a dureza do material, indicando uma tendência ao aumento da ductilidade e tenacidade do aço.

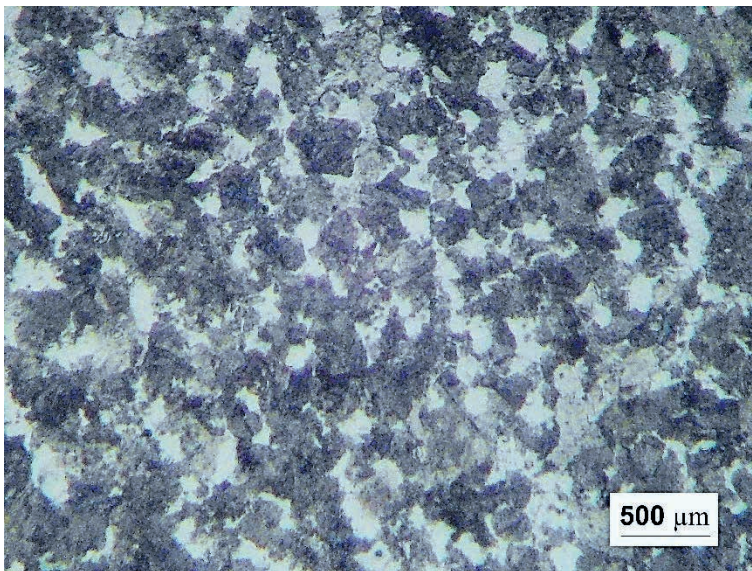


Figura 9: Metalografia da amostra na condição de recozida.

De acordo com Chiaverini (2005), o uso de água como meio de resfriamento é interpretado como um processo mais abrupto, em contraste com outras fontes de resfriamento, como o óleo, culminando em uma estrutura com dureza elevada e altamente frágil para a têmpera, formada por grande volume de martensita. O resultado da amostra submetida ao processo de têmpera é apresentado na Figura 10.

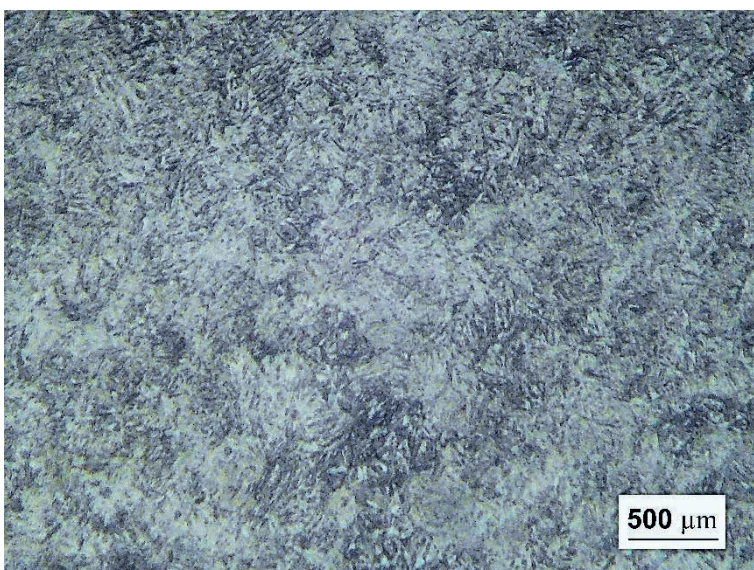


Figura 10: Metalografia da amostra na condição de têmpera.

A correlação entre os dados verificados nas imagens junto aos dados obtidos nas medições de dureza comprova as alterações nos aspectos de resistência mecânica frente as variações dos tratamentos térmicos. Conforme apresentado na Tabela 3, a amostra submetida a têmpera apresenta maior dureza média (59 HRC) enquanto a amostra submetida ao recozimento apresentou-se fora da escala tradicionalmente aplicada em Rockwell C, com -5 HRC, após reavaliação para a escala Rockwell B obteve-se 86 HRB. Estes extremos são obtidos devido a microestrutura resultante, para os quais a martensita apresenta elevada dureza enquanto a estrutura ferrítica-perlítica, obtida por maior tempo de resfriamento, permite um material final com maior ductilidade.

Condição	Dureza
Sem tratamento	23 HRC
Revenimento	33,5 HRC
Recozimento	86 HRB
Têmpera	59 HRC

Tabela 3: Durezas médias obtidas para cada condição

Quanto as amostras sem tratamento térmico e com tratamento de têmpera e revenimento, observam-se durezas médias de 23 e 33,5 HRC, respectivamente, indicando que o processo de fabricação (laminação), se comparada ao processo de recozimento, já apresenta maior dureza. Durante a laminação, o ciclo térmico da barra permitiu a formação de martensita e seu revenimento, possivelmente em alta temperatura como evidenciado pela microestrutura da Figura 7 e o valor de dureza encontrado. Além disso, os resultados encontrados para a amostra temperada e revenida corroboram com o resultado de fornecimento, pois os valores encontrados quanto a dureza e microestrutura são similares. A têmpera seguida pelo revenimento proporciona uma microestrutura refinada da martensita que alia dureza e tenacidade necessárias para diversas aplicações na indústria metalmeccânica.

CONCLUSÕES

Durante a realização deste trabalho foi possível determinar que parâmetros físicos, como a dureza, podem ser alterados devido ao emprego de tratamentos térmicos. As amostras de aço SAE 1045 submetidas aos tratamentos térmicos de têmpera, têmpera seguida por revenimento e recozimento, indicaram características tradicionalmente observadas na bibliografia, fortalecendo os resultados experimentais obtidos.

A amostra submetida a têmpera apresentou microestrutura martensítica, obtidos a partir do aquecimento acima da zona de austenitização e o rápido resfriamento, atingindo uma dureza média de 59 HRC. O resultado de têmpera seguido do revenimento

proporcionou o alívio de tensões internas e perda da supersaturação de carbono da martensita, com dureza média de 33,5 HRC. Para o recozimento, a escala de dureza obtida está em uma zona não usual da escala HRC, com um valor médio de -5 HRC, sendo necessário uma nova avaliação na escala Rockwell B, onde obteve-se valores de 86 HRB. Essa diminuição da dureza se deve a formação de perlita e ferrita. Por fim, indícios de aumento de resistência mecânica devido a ciclo térmico ocorrido durante a laminação do material foram observados na microestrutura, o que permitiu uma dureza média de 23 HRC, próxima daquela obtida na condição temperada e revenida deste trabalho.

REFERÊNCIAS

CALLISTER, William D. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CHIAVERINI, Vicente. Aços e Ferros Fundidos. 7. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais - ABM, 2005.

CHIAVERINI, Vicente. Tecnologia mecânica: materiais de construção mecânica. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

CHIAVERINI, Vicente. Tratamentos térmicos das ligas metálicas. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais - ABM, 2008.

COLPAERT, Hubertus. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008.

GGD Metais. Catálogo: Aços Construção mecânica. **SAE 1045**. Disponível em: < https://www.ggdmetals.com.br/produto/sae-1045/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwqP2pBhDMARIsAJQ0Czq8uVNepAWdkM-cqqonz7n7WH7wel0-SRSxd_wuKbJWYrhzkv1y5mMaAtGVEALw_wcB >. Acesso em 30/10/2023.

IBRAHIM, A.; SAYUTI, M. Effect of Heat Treatment on Hardness and Microstructures of AISI 1045, Advanced material research 119, 2015, 575–579.

SILVA, Amanda de Oliveira. Influência de diversos tratamentos térmicos na microestrutura e dureza do aço 1045. 2021. 39f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Metalúrgica) - Universidade Federal do Ceará, UFC, Fortaleza.

SINGH, S.; SAMIR, S.; KUMAR, K. THAPA, S. Effect of heat treatment processes on the mechanical properties of AISI 1045 steel. Materials Today: Proceedings. 2021 5097-5101.

VALE, Alan Rafael Menezes do. Tratamento térmico. Belém: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), 2011.

VAN VLACK, Lawrence H. Princípios de ciência dos materiais. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

MARIANA NATALE FIORELLI FABICHE - Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Paranaense (2009-2013), com especialização em Gestão de Projetos e Obras de Edificações pela Universidade Estadual de Maringá (2014-2016). Obteve seu Mestrado em Engenharia Urbana pela Universidade Estadual de Maringá (2014-2016) e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Londrina (2018-2023). Atuou como Professora horista na Universidade Paranaense nas áreas de Engenharia Civil e Arquitetura entre os anos de 2017-2022, bem como contribuía e participava do quadro do colegiado do curso. Atualmente (2021- Atual) é professora do Departamento de Tecnologia (DTC) nos cursos de Engenharia Civil e Tecnologia da Construção civil da Universidade Estadual de Maringá Campus de Umuarama, lecionando disciplinas de Conforto térmico, Hidrologia, Hidráulica I, Laboratório de Hidráulica, Materiais de Construção, Gerenciamento de Obras, entre outras. Participa efetivamente em orientações de TFC bem como em orientações de estágio supervisionado e obrigatório.

A

Absorção de óleo 60, 61, 62, 63, 64, 67, 68, 69, 73, 75, 76

Acelerador 10, 13

Algoritmos bioinspirados 111, 113

Asphalt 123, 124, 134

C

Cimento ecológico 77

Cinza de caldeira de biomassa 77, 78, 79, 80

CONAMA 29, 30, 31, 36

Construction 29, 30, 78, 85, 93, 94, 104, 105, 106, 109, 110, 123, 124, 125, 129, 132

Controle inteligente 113

D

Degradação 15, 16, 17, 19, 20, 22, 75

Dureza 75, 135, 137, 138, 140, 141, 143, 144, 145, 146

E

Escória granulada de alto forno 77, 78, 80

F

Floresta 1, 2, 5, 6, 19, 28

Fótons 10

H

Heat treatment 146

I

Identificação de sistemas 50

M

Manguezais 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 26

Mapas cognitivos fuzzy dinâmicos 113, 117

Material cimentante 77, 79, 80, 81, 84, 85

Matéria orgânica 2, 3, 4, 5, 6, 8, 23, 24, 26

Meio ambiente 1, 17, 22, 29, 30, 85

Misturador industrial 113, 117, 118

N

Nanofibers 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58

P

Painel monolítico em EPS 93

Parâmetros do solo 1

Paving 123, 129, 134

Pigmentos 60, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 73, 75, 76

Prediction 86

R

Radiação 10

Radioterapia 10

Recuperação de Ecossistemas 16

Resíduos sólidos 23, 24, 25, 26, 29, 31, 35, 36, 84

S

Silica nanofibers 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58

Skyshine 9, 10, 11, 12

Solo 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 29, 85

Suicide 86, 87, 88, 91

T

Tecnologia 40, 58, 76, 93, 104, 108, 112, 146, 147

Têmpera 135, 137, 138, 142, 143, 144, 145

Tintas arquitetônicas 60, 61, 62, 64, 75, 76

Tratamento térmico 135, 136, 137, 139, 141, 142, 143, 145, 146

Túnel psicrométrico 40, 41, 42, 50, 51





Typical testors 86, 88, 89, 90, 92

V

Vegetação natural 1





ENGENHARIA EM FOCO

EXPLORANDO AS MÚLTIPLAS FACETAS
DA CIÊNCIA E DA INOVAÇÃO

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIA EM FOCO

EXPLORANDO AS MÚLTIPLAS FACETAS
DA CIÊNCIA E DA INOVAÇÃO

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br