

Adriano Mesquita Soares
(Organizador)

Tópicos Especiais em **ENGENHARIA:**

inovações e avanços tecnológicos
Vol. 9



AYA EDITORA

2023

Adriano Mesquita Soares
(Organizador)

Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos

Vol. 9

Ponta Grossa
2023

Direção Editorial

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

Organizador

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

Capa

AYA Editora©

Revisão

Os Autores

Executiva de Negócios

Ana Lucia Ribeiro Soares

Produção Editorial

AYA Editora©

Imagens de Capa

br.freepik.com

Área do Conhecimento

Engenharías

Conselho Editorial

Prof.º Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva

Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí

Prof.º Dr. Aknaton Toczec Souza

Centro Universitário Santa Amélia

Prof.ª Dr.ª Andréa Haddad Barbosa

Universidade Estadual de Londrina

Prof.ª Dr.ª Andreia Antunes da Luz

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Argemiro Midonês Bastos

Instituto Federal do Amapá

Prof.º Dr. Carlos López Noriega

Universidade São Judas Tadeu e Lab. Biomecatrônica - Poli - USP

Prof.º Dr. Clécio Danilo Dias da Silva

Centro Universitário FACEX

Prof.ª Dr.ª Daiane Maria de Genaro Chirolí

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Danyelle Andrade Mota

Universidade Federal de Sergipe

Prof.ª Dr.ª Déborah Aparecida Souza dos Reis

Universidade do Estado de Minas Gerais

Prof.ª Ma. Denise Pereira

Faculdade Sudoeste – FASU

Prof.ª Dr.ª Eliana Leal Ferreira Hellvig

Universidade Federal do Paraná

Prof.º Dr. Emerson Monteiro dos Santos

Universidade Federal do Amapá

Prof.º Dr. Fabio José Antonio da Silva

Universidade Estadual de Londrina

Prof.º Dr. Gilberto Zammar

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Helenadja Santos Mota

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, IF Baiano - Campus Valença

Prof.ª Dr.ª Heloísa Thaís Rodrigues de Souza

Universidade Federal de Sergipe

Prof.ª Dr.ª Ingridi Vargas Bortolaso

Universidade de Santa Cruz do Sul

Prof.ª Ma. Jaqueline Fonseca Rodrigues

Faculdade Sagrada Família

Prof.ª Dr.ª Jéssyka Maria Nunes Galvão

Faculdade Santa Helena

Prof.º Dr. João Luiz Kovaleski

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.º Dr. João Paulo Roberti Junior

Universidade Federal de Roraima

Prof.º Me. Jorge Soistak

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. José Enildo Elias Bezerra

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Ubajara

Prof.ª Dr.ª Karen Fernanda Bortoloti

Universidade Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Leozenir Mendes Betim

Faculdade Sagrada Família e Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais

Prof.ª Ma. Lucimara Glap

Faculdade Santana

Prof.º Dr. Luiz Flávio Arreguy Maia-Filho

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof.º Me. Luiz Henrique Domingues

Universidade Norte do Paraná

Prof.º Dr. Milson dos Santos Barbosa

Instituto de Tecnologia e Pesquisa, ITP

Prof.º Dr. Myller Augusto Santos Gomes

Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof.ª Dr.ª Pauline Balabuch

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Pedro Fauth Manhães Miranda

Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof.º Dr. Rafael da Silva Fernandes

Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Parauapebas

Prof.ª Dr.ª Regina Negri Pagani

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.º Dr. Ricardo dos Santos Pereira

Instituto Federal do Acre

Prof.ª Ma. Rosângela de França Bail

Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais

Prof.º Dr. Rudy de Barros Ahrens

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

Universidade Federal do Piauí

**Prof.ª Dr.ª Silvia Aparecida Medeiros
Rodrigues**

Faculdade Sagrada Família

Prof.ª Dr.ª Silvia Gaia

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**Prof.ª Dr.ª Sueli de Fátima de Oliveira
Miranda Santos**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Thaisa Rodrigues

Instituto Federal de Santa Catarina

© 2023 - **AYA Editora** - O conteúdo deste Livro foi enviado pelos autores para publicação de acesso aberto, sob os termos e condições da Licença de Atribuição *Creative Commons* 4.0 Internacional (**CC BY 4.0**). Este livro, incluindo todas as ilustrações, informações e opiniões nele contidas, é resultado da criação intelectual exclusiva dos autores. Os autores detêm total responsabilidade pelo conteúdo apresentado, o qual reflete única e inteiramente a sua perspectiva e interpretação pessoal. É importante salientar que o conteúdo deste livro não representa, necessariamente, a visão ou opinião da editora. A função da editora foi estritamente técnica, limitando-se ao serviço de diagramação e registro da obra, sem qualquer influência sobre o conteúdo apresentado ou opiniões expressas. Portanto, quaisquer questionamentos, interpretações ou inferências decorrentes do conteúdo deste livro, devem ser direcionados exclusivamente aos autores.

T757 Tópicos especiais em engenharia: inovações e avanços tecnológicos [recurso eletrônico]. / Adriano Mesquita Soares (organizador). -- Ponta Grossa: Aya, 2023. 534 p.

v.9

Inclui biografia

Inclui índice

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-65-5379-425-2

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258

1. Engenharia – Estudo e ensino. 2. Construção civil - Medidas de segurança. 3. Tecnologia da informação - Medidas de segurança. 4. Lixo – Eliminação. 5. Engenharia civil. 6. Análise estrutural (Engenharia). 7. Projeto estrutural. 8. Projeto arquitetônico. 9. Arquitetura - Conservação e restauração. I. Soares, Adriano Mesquita. II. Título

CDD: 620.007

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Bruna Cristina Bonini - CRB 9/1347

International Scientific Journals Publicações de Periódicos e Editora LTDA

AYA Editora©

CNPJ: 36.140.631/0001-53

Fone: +55 42 3086-3131

WhatsApp: +55 42 99906-0630

E-mail: contato@ayaeditora.com.br

Site: <https://ayaeditora.com.br>

Endereço: Rua João Rabello Coutinho, 557

Ponta Grossa - Paraná - Brasil

84.071-150

SUMÁRIO

Apresentação..... 16

01

Identificação de aspectos qualitativos das lajes pré-moldadas..... 17

João Victor Teixeira da Silva
Gerson de Marco

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.1

02

Técnicas de engenharia utilizadas na fundação do edifício Burj Khalifa 29

João Vitor Fabricio de Andrade
Gerson de Marco

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.2

03

Incorporação de micropartículas de sílica em argamassas 38

Krystel Laís Wassmer
Eduardo Damin

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.3

04

Argamassas com adição de fibra de celulose 52

Yan Roberto da Rosa Franzmann
Dayana Ruth

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.4

05

ICF - *insulated concret forms*- análise comparativa com alvenaria convencional 65

Lucas Fábio Massa Furco
Gerson de Marco
José Eduardo Quaresma

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.5

06

Aplicação de geogrelha para reforço de subleito..... 76

Willian Felipe dos Santos
Eduardo Damim

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.6

07

Restauração e recuperação estrutural e arquitetônica de uma capela na cidade de Araraquara - SP 91

Caio Roberto Raymundo
José Eduardo Quaresma
Gerson de Marco

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.7

08

Análise numérica de vigas de concreto armado reforçadas com barras de GFRP: relação da altura útil no comportamento à flexão 101

Karel Alexandre Wassmer
Dayana Ruth Bola Oliveira

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.8

09

Utilização de equipamentos de proteção individual (EPI's) na construção civil..... 116

Alan Felipe Costa Comin
Daniel Gobato Röhm
Fabiana Florian

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.9

10

Estudo do custo da não compatibilização de projetos de infraestrutura dos sistemas de abastecimento de água, rede coletora de esgoto e drenagem pluvial para uma obra condominial padrão médio em Porto Velho - RO 129

Samuel Silva Santos
Nicoly Tháís Araújo dos Santos
Larissa Sousa Almeida
Nilton Ricardo Lucas Pereira
Rafael Pereira Louzada

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.10

11

Análise da argamassa de revestimento com substituição parcial de agregado natural por vermiculita e poliestireno expandido (EPS)..... 142

Jefferson Baron Lang
Dayana Ruth Bola Oliveira

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.11

12

Estudo das patologias em asfalto: processos de prevenção e recuperação 160

Jaqueline Fernanda Vazzoler
Gerson de Marco

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.12

13

Faixa azul: inclusão estratégica para redução de acidentes com motocicletas: um estudo sobre a implementação e seus impactos na segurança viária....
..... 172

Karen Amaral de Souza
Luana Aparecida Rabesco
Magaly Natalia Pazzian Vasconcellos Romão
DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.13

14

Análise do volume de vazios de misturas asfálticas recicladas a quente com inserção de areia e pó de pedra oriundos de material fresado 186

Isabel da Silva Meneses
José Severino da Silva
Marcia Ferreira Negrisoni Arruda
Mario Benedito de Araujo Filho
DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.14

15

Análise da resistência de impacto e propriedades mecânicas do concreto com resíduo de borracha e sílica ativa 197

Natan Patrick Valle Francisco
Eduardo Damim
DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.15

16

Análise do plástico reciclado para produção de blocos de vedação..... 213

Willian Fernando Kovaes
Eduardo Damim
DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.16

17

Estudo de caso: gerenciamento de resíduos sólidos gerados na construção civil, no município de Altamira, Pará 232

Cristiane Almeida Rodrigues
Francinaldo Chagas de Oliveira
Mikaely Santos Tavares
Rosidilson do Socorro Oliveira Gomes
Maysa Lorrane Medeiros de Araújo
Gustavo Gomes Lima
Rafael Oliveira da Silva
Alexandre Augusto Cardoso Lobato
Cláudia Barbosa Cordeiro

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.17

18

Avaliação da resistência mecânica do solo residual basáltico estabilizado com RCD e fibra 249

Carina Tauana de Campos Pessini
Eduardo Damim

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.18

19

Estudo de viabilidade e eficiência energética para galpões industriais 264

Marcelo Pezarin Ribeiro
Matheus de Souza Beruchi Alvarenga
Maxwell Farias Freitas Pinto de Moraes
Fernanda Laureti Thomaz Ferreira
Antônio Carlos Santos de Arruda

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.19

20

Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico 277

Ruan Magi do Prado Costa
Victor da Silva Santos
Rafael Lima de Oliveira
DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.20

21

Uso de agregado basáltico reciclado em pavimentos drenantes moldados *in loco* 293

Marcele Rockenbach Neutzling
Marcelo Adriano Duart
Lucas Hlenka

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.21

22

Proposta de um sistema de aquecimento de água fotovoltaico e seus benefícios para o sistema elétrico nacional 311

João Antônio Dornelas Machado
Rafael Lima de Oliveira

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.22

23

Automação de semáforos: protótipo de automação para pequenos ramos semafóricos 324

João Paulo Moraes Lemes
Thuany Franzini Walti
Maezio Pereira da Silva
Rafael Lima de Oliveira

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.23

24

Desenvolvimento e execução da usina fotovoltaica fazenda miradouro: um estudo de caso de autoconsumo remoto 342

Dallas Nogueira Pereira
Luana Helena Pereira
Rafael Lima de Oliveira
Victor da Silva Santos

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.24

25

Projeto de sistema fotovoltaico de 12,12 KWP 353

Arthur da Silva Marcolongo
Caio Eiras de Freitas Sodré
Victor da Silva Santos
Rafael Lima de Oliveira

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.25

26

**Aplicação do software arena em um processo de
envase de açúcar para análise e otimização do tempo
da linha de produção 369**

Heider da Guia Rosa Neto
Olavo Camargo de Sá
Evandro Antonio Bertoluci

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.26

27

**O uso da inteligência artificial na prevenção de ataques
cibernéticos 380**

Gabriel Vieira de Oliveira
Siomara Dias da Rocha

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.27

28

**Desafios do uso da inteligência artificial na análise de
falhas em sistemas de via permanente 394**

Camilla Santos Oliveira
Samara Taciana Souza

Fabio Yoshiaru Noguti
Douglas Morais
Antônio Carlos Santos de Arruda
DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.28

29

Segurança da informação: uma análise crítica acerca dos fatos de vulnerabilidade constante da geração atual..... 408

Luendison Costa dos Santos Alves
Paulino Wagner Palheta Viana
DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.29

30

Curvas de resistências hídricas de plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) em dia típico de seca no centro-oeste brasileiro 417

Fernanda Marcielli Santos
Luís Philippe de Arruda Lima
DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.30

31

Explorando medidas práticas para avaliar a eficiência energética em auditorias e monitoramento de sistemas de ar comprimido em indústrias 423

Luiz Carlos Raimundo
Fernando Santos de Oliveira
Rodrigo Seabra da Cruz
Anderson Clayton Cardoso
DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.31

32

Análise da resistência mecânica do solo residual basáltico estabilizado com cimento Portland 436

Luiz Henrique Marchetti

Eduardo Damin

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.32

33

Análise da evolução dos produtos energéticos líquidos usados como combustíveis no setor de transporte no Brasil - tendências..... 451

Maria Luiza Arias de Lemos

Gisel Chenard Díaz

Yordanka Reyes Cruz

Rene Gonzalez Carliz

Donato Alexandre Gomes Aranda

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.33

34

Projeto de desenvolvimento de uma célula fotovoltaica DIY..... 468

Guilherme Duque Vieira

Pedro Silva Poubel

Victor da Silva Santos

Rafael Lima de Oliveira

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.34

35

Avaliação da periculosidade de resíduos de módulos fotovoltaicos por meio da norma brasileira NBR 10004..... 484

Pedro Amado Petrolí

Priscila Silva Silveira Camargo

Israel Silva dos Anjos

Hugo Marcelo Veit

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.35

36

Projeto de uma residência de 80m² com a utilização de bioconcreto na estrutura de fundação 492

Maria Eduarda Barbosa Abegg
Eduardo Vedovetto Santos
André Luiz da Silva
DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.36

37

Estudo de caso acerca das causas que originaram a ruptura da Barragem de Barreiro - Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco 504

Genivaldo Andrade de Oliveira
Alberis Lindôso da Silva
Stênio de Sá e Albuquerque Júnior
Renato Coelho Angelim
Jéssica Álda Gomes de Abreu
Maurício Serafim dos Santos

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.37

38

Estudo de caso acerca do reforço estrutural das transições do aqueduto sobre a BR 316 (WBS 2304), Trecho V, Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) 517

Genivaldo Andrade de Oliveira
Alberis Lindôso da Silva
Stênio de Sá e Albuquerque Júnior
Renato Coelho Angelim
Jéssica Álda Gomes de Abreu
Maurício Serafim dos Santos

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.38

Organizador..... 526

Índice Remissivo..... 527

Apresentação

É com satisfação que apresento o **“Tópicos Especiais em Engenharia: Inovações e Avanços Tecnológicos – Volume 9”**. Este livro é uma coletânea essencial que traz estudos e pesquisas atuais no campo da engenharia, abrangendo uma gama ampla de temas e aplicações práticas.

Neste volume, os leitores encontrarão desde análises aprofundadas sobre materiais de construção modernos, como lajes pré-moldadas e argamassas enriquecidas com novos componentes, até métodos construtivos avançados usados em megaestruturas como o Burj Khalifa.

A obra também explora técnicas sustentáveis e eficientes, como o uso de formas de concreto isoladas e o reforço de terrenos com geogrelhas, além de destacar a importância da segurança no trabalho com um foco especial em EPIs e a gestão de resíduos na construção civil.

Um dos pontos fortes deste livro é a atenção dada à energia renovável, especialmente à energia solar, com estudos sobre a viabilidade, implementação e impacto de sistemas fotovoltaicos. A automatização e a inteligência artificial também são discutidas, apontando para o futuro da engenharia em áreas como segurança cibernética e otimização de processos.

Não menos importante é a inclusão de estudos de caso que abordam desafios reais, como a restauração de patrimônio histórico e a análise de incidentes estruturais graves. Esses estudos nos ensinam lições valiosas sobre como prevenir e responder a falhas estruturais.

Simple e direto, este volume é uma ferramenta valiosa para todos que buscam compreender e aplicar os mais recentes avanços na engenharia. Seja você um estudante, um profissional da área ou apenas um entusiasta, encontrará neste livro um recurso informativo e inspirador.

Boa leitura!

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

Editor Chefe

Identificação de aspectos qualitativos das lajes pré-moldadas

Identification of qualitative aspects of precast slabs

João Victor Teixeira da Silva

*Graduando do curso de Engenharia Civil da Universidade de Araraquara – Uniara – SP
2023*

Gerson de Marco

*Orientador. Docente Curso de Engenharia Civil da Universidade de Araraquara-
UNIARA. Araraquara-SP 2023*

RESUMO

O avanço tecnológico é parte integrante da construção civil, como meio de viabilizar métodos mais eficientes. O objetivo deste trabalho é identificar os principais aspectos qualitativos do uso de lajes pré-moldadas em obras civis. A hipótese desta revisão é de que as lajes pré-moldadas trazem eficiência em tempo e custo para as obras de engenharia civil. Os resultados encontrados nos artigos selecionados na revisão de literatura realizam indicam que existe uma tendência para o uso das lajes pré-moldadas, que se mostram vantajosas quando é realizada não apenas a comparação de custos materiais, mas também de tempo de obra e desempenho. Desse modo, novas formulações possíveis e adaptações conforme o projeto vem sendo estudadas. Assim, entende-se que, em novos trabalhos, é relevante que as lajes sejam comparadas utilizando métricas por padrão de material, tamanho da edificação ou conforto pretendido.

Palavras-chave: lajes. pré-moldados. construção civil. tecnologia na construção.

ABSTRACT

Technological advancement is an integral part of civil construction, as a means of enabling more efficient methods. The objective is to identify the main qualitative aspects of the use of precast slabs in civil works. Through bibliographical research from the period 2018-2022, it seeks to confirm the hypothesis that precast slabs bring efficiency in time and cost to civil engineering works.

Keywords: slabs. precast. construction. technology in construction.



INTRODUÇÃO

Ao mesmo tempo que a engenharia civil apresenta avanços tecnológicos ela se mantém em um sistema construtivo tradicional. O desenvolvimento de pesquisas e a confirmação de vantagens técnicas e econômicas criam novos modelos de usabilidade que garantem liberdade econômica aliada à segurança e melhoria do desempenho (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2017).

Nesse sentido, a escolha do tipo de laje, placas capazes de receber cargas verticais e distribuir horizontalmente, são relevantes em um projeto civil. Podem ser utilizadas alvenaria convencional e estrutural, como a laje maciça de concreto, chamada pré-laje, e a pré-moldada treliçada, em suas várias especificações. A escolha deve ser embasada em cálculos e análises técnicas quanto à exigência da contenção das cargas, simultaneamente às paredes e a necessidade de rigidez (MACHADO, 2014).

O objetivo deste trabalho é identificar os principais aspectos qualitativos do uso de lajes pré-moldadas em obras civis. Os objetivos específicos são: apresentar os tipos de lajes, assim como as suas vantagens e desvantagens do uso de versões pré-moldadas, considerando o tempo e custos dessa etapa da obra.

A justificativa para esse tipo de avaliação se refere ao fato de o sistema estrutural, que é composto por pilares, vigas e lajes, corresponder à fase que demanda maior investimento em uma edificação. A estrutura é a parte resistente de uma construção e necessita suportar as demais ações que são transmitidas para o solo (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2017).

A pesquisa bibliográfica foi realizada com base no tema lajes pré-moldadas, mediante pesquisa em base de dados Scielo e Google Acadêmico, referente aos anos 2018 e 2022. As produções acadêmicas científicas publicadas selecionadas se referem a resultados em relação à tendência de uso mediante vantagens de custo e desempenho, como forma de gerar eficácia e eficiência nas obras.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A escolha do sistema estrutural a ser utilizado em um projeto necessita atender aos requisitos de qualidade em atendimento às normas técnicas, considerando capacidade de resistência, desempenho em serviço e durabilidade da estrutura (PINHEIRO, 2007). No caso das lajes, responde pela distribuição horizontal dos esforços das cargas recebidas, mas cada método construtivo, lajes maciças, nervuradas ou pré-moldadas, apresentam limitações quanto à geometria, carregamentos, considerações arquitetônicas, econômicas e de segurança para o que se destina (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2017).

Conceito de lajes

As lajes são placas de concreto espessas capazes de receber cargas verticais que atuam, de modo geral, na transmissão em contexto horizontal para apoios, que são os pilares. Existem diferentes tipos de laje em sua composição, forma, tipo de apoio e esquema de cálculo, determinadas mediante espessura e dimensões, conforme o tipo, que

podem ser: maciças, mistas pré-moldadas, nervuradas, mistas moldadas na obra, além de contínuas, isoladas, em balanço, cogumelo ou lisas (PINHEIRO, 2007; CAMACHO, 2004).

As lajes maciças são as que são executadas totalmente no local da obra, exigindo a montagem da forma que servirá de base para a ferragem e o concreto. As lajes nervuradas podem ser realizadas na obra (in loco) ou serem pré-moldadas. A principal diferença é que as nervuras já são realizadas em local definitivo, permanecendo toda a sua vida útil no próprio local, mediante escoramento e enchimento (CAETANO, 2013).

As lajes nervuradas são aquelas que apresentam nervuras para a zona de tração, que podem ser realizadas ao obedecer às condições de espaçamento entre os eixos, mediante o preenchimento com material inerte. Conforme o tipo de uso pode receber uma classificação diferente, mediante o material utilizada, inclusive podendo ser pré-moldada, quando ocorre o uso de vigotas prontas que podem ser transportadas e posicionadas sobre as vigas e apoios, depois recebem enchimentos e de forma que não escorram e ocorra o adensamento ou vibração (CAETANO, 2013; CAMACHO, 2004).

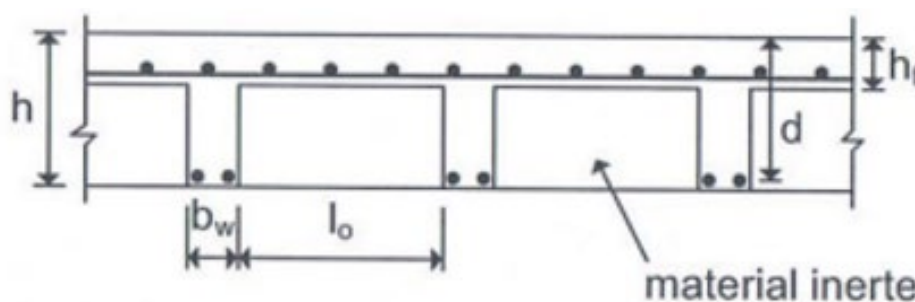
Conforme a ABNT NBR 14859-1 (2016), as lajes mistas pré-moldadas são aquelas fabricadas com elementos estruturais planos pré-fabricados, que podem ser enchidos posteriormente com material permanente ou não, assim podendo se tornar maciço, nervurado unidirecional ou bidirecional, capaz de vencer vãos e suportar carregamentos.

Os materiais mais utilizados nas lajes nervuradas pré-moldadas são as vigotas de concreto armado, protendido ou treliçado, com material cerâmico, isopor (os chamados EPS – Poliestireno Expandido), papelão, concreto, celular, entre outros, com uso de escoramentos em madeira ou metálicos. Sobre eles são recebidas camadas de concreto e acabamento (CAETANO, 2013; CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2017).

Amorim (2018) destaca que a diferenciação entre os modelos maciço e pré-moldado exigem uma análise em relação ao peso do material concreto e o cálculo de tração, suportado pelo aço, conforme estão detalhados na ABNT NBR 6118:2014. Dessa forma é possível dimensionar a força e tração, quanto ao potencial das lajes pré-moldadas em relação aos custos e tempo de demanda para a obra, em relação aos investimentos necessários. O uso de materiais inertes, sem função estrutural, entre as nervuras, é um dos pontos relevantes de comparação entre os modelos tradicional maciço e o pré-moldado.

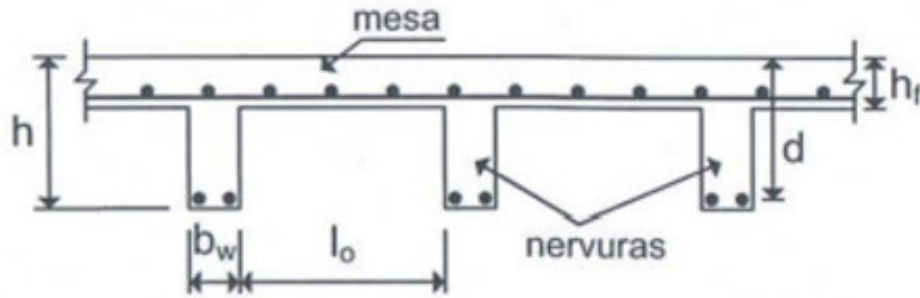
Um dos pontos de destaque das lajes pré-moldadas é a grande variedade de material e montagem, mediante as especificações do projeto, que pode ser notada nas imagens que exemplificam o uso de lajes pré-moldadas.

Figura 1 – Laje nervurada superfície plana.



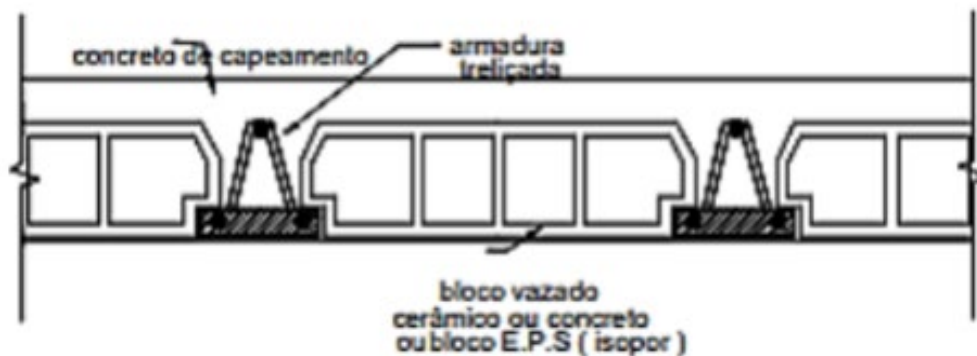
Fonte: Araújo (2014)

Figura 2 – Laje nervurada aparente.



Fonte: Araújo (2014)

Figura 3 – Laje treliçada.



Fonte: Lopo e Vidal (2020)

Com exceção das lajes lisas, as vigas suportam o carregamento recebidos por meio das lajes, que tem como função estrutural principal atuar perpendicularmente as cargas acidentais ou permanentes, assim deve suportar rotar o seu próprio peso e os que estão acima. Cada vez mais, as edificações vêm recebendo métodos construtivos diferenciados, com alto indicador qualitativo e variedade de métodos e possibilidades arquitetônicas, de segurança e conforto.

Estudos de Braga (2021) aborda a estrutura treliçada como uma alternativa econômica, pré-moldada, e que suporta grandes cargas, utilizando de apoios em concreto e de peças inertes, como blocos cerâmicos ou de EPS, como exemplifica a Figura 3, garantindo uma superfície plana, que permite vãos consideráveis, reduz o esforço, e gera economia à obra. Essa percepção vem ocorrendo desde a década de 1990, quando esse método construtivo começou a ser mais utilizado como opção à laje tradicional de concreto maciço (LOPO; VIDAL, 2020).

Comparativos de custos e diversos tipos de lajes

Amorim (2018) realizou um comparativo de custos em obra de um edifício no município de João Pessoa – PB, em relação ao consumo de concreto e aço, por meio da identificação quantitativa estabelecidos em quatro modelos considerando o projeto original, com uso de lajes treliçadas com blocos de enchimento cerâmicos, lajes treliçadas com blocos de enchimento de EPS; lajes maciças reduzindo vigas e lajes nervuradas com cubetas reduzindo vigas.

O comparativo considerou custos de material e de execução de cada elemento, como demonstra a tabela da Figura 4, elaborada por Amorim (2018), que concluiu que para esta obra, a solução treliçada EPS foi a mais vantajosa em termos de custo total, enquanto a solução maciça seria a opção mais cara.

Figura 4 – Comparação de custos com lajes em obra.

Relação de custo total por elemento (R\$)				
Elemento	Treliçada Cerâmico	Treliçada EPS	Maciça	Nervurada
Vigas	364.472,63	361.811,10	328.292,78	295.440,12
Pilares	137.693,36	137.310,09	137.909,82	137.661,73
Lajes	87.172,71	89.831,61	242.253,18	207.433,47
Escadas	10.140,21	10.206,08	10.148,48	10.149,76
Fundações	17.116,61	16.033,26	16.755,02	16.104,91
Reservatórios	8.397,86	8.397,86	8.370,29	8.397,86
TOTAL	624.993,38	623.590,01	743.729,57	675.187,85

Fonte: Amorim (2018, p. 56)

A análise desta tabela é relevante pois é possível observar que os custos apresentam origens diferenciadas, a depender do tipo de estrutura. Por exemplo, o modelo com lajes maciças tem custos definidos apenas por concreto, aço e formas, enquanto as lajes treliçadas tem como base os custos com vigotas e blocos de enchimento e as lajes nervuradas dependem dos custos das cubetas.

Existe a tendência da redução do uso de concreto em vigas em lajes maciças e nervuradas, com a adesão a outros elementos, como o EPS, o que reduz o consumo de um item e aumenta o de outro. Quando a laje é realizada no local, os índices costumam ser maiores. O exemplo apresentado por Amorim (2018) considera as diferenças entre as espessuras, que na opção treliçada cerâmica era de 21,8 cm, na treliçada EPS 21,5 cm, na maciça 24,5 cm e na nervurada 23,7 cm. Dessa forma, o sistema com lajes treliçadas que usou EPS apresentou o menor consumo de concreto, enquanto os pavimentos com maior quantidade de vigotas, que apresentavam mais espaços, determinaram maior uso de concreto para o preenchimento.

A mesma lógica, que foi aplicada em todos os outros insumos nos cálculos de Amorim (2018), que mostra o consumo de formas, que não é utilizado nas treliçadas, mas é alto nas maciças, serve de modelo para a aplicação em cálculos de demais projetos e insumos principais, como o aço, que deve inferir mediante as estruturas previstas para o projeto em questão, mediante a quantidade de pilares, escadas e tipos de fundações necessárias.

A avaliação para esse projeto específico, segundo Amorim (2018), demonstrou que a diminuição dos custos das vigas não compensou o aumento dos custos com as lajes dos tipos maciças e nervuradas. O menor custo encontrado foi no modelo com lajes

treliçadas com blocos de EPS, determinando redução de 0,23% (R\$ 1.456,87) em relação ao estimado no projeto original. Já a opção maciça determinaria um aumento de custo de 8,02 % (R\$ 118.764,68) a mais do que o previsto.

Essa análise caso a caso e relevante porque embora existam médias que servem de base para o mercado, elas não podem ser consideradas como regras, considerando que existem diferenças de preços entre regiões e até mesmo cidades. O estudo de Cid e Carvalho (2020) realizou essa demonstração ao efetuar a comparação de custos com lajes pré-fabricadas e maciças coletados na cidade de Congonhal-MG em comparação à tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), que é realizada a partir de dados técnicos elaborados pela Caixa Econômica Federal e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e atualizada mensalmente.

A Sinapi é um instrumento balizador de preço e custos na construção civil, que deve ser utilizado pelo projetista antes da concepção estrutural. Na avaliação de Cid e Carvalho (2020), a escolha do modelo estrutural a ser utilizado não pode se basear apenas na experiência ou familiaridade do prestador de serviços, mas considerar os modelos de lajes que podem influenciar nos custos.

É relevante ainda considerar onde os produtos serão adquiridos e se existe mão de obra, como elemento de importante influência dos custos, pois análise comparativa realizada por CID e Carvalho (2020) demonstrou que na cidade de Congonhal-MG, a tabela Sinapi não demonstra ser uma boa referência, pois os preços são muito diferentes. Como base de comparação, os autores utilizaram para os cálculos o projeto de uma residência unifamiliar de pequeno porte composta por dois quartos, sala, cozinha e um banheiro, possuindo uma área total construída de 48,05 m².

Cid e Carvalho (2020) identificaram que os custos encontrados para o uso de lajes maciças foi 30% superior aos previstos com as lajes pré-fabricadas e a mão de obra para a realização desse processo até 70% mais cara, por isso o entendimento para a cidade de Congonhal é de que a utilização de lajes pré-fabricadas se torna mais vantajosa, como observa-se nas tabelas da Figura 5.

Figura 5 – Comparação de custos entre Sinapi e Local.

SINAPI	PRÉ	MACIÇA	DIF.
INSUMOS	3.152,16	3.469,85	10,08 %
MÃO DE OBRA	1.001,78	1.556,38	55,36 %
TOTAL	4.153,95	5.026,23	21,00 %

LOCAL	PRÉ	MACIÇA	DIF.
INSUMOS	3.101,18	3.579,94	15,44 %
MÃO DE OBRA	1.143,34	1.937,76	69,48 %
TOTAL	4.244,52	5.517,70	30,00 %

PRÉ-FABRICADA	SINAPI	x	LOCAL	DIF.
INSUMOS	3.152,16	x	3.101,18	-1,62 %
MÃO DE OBRA	1.001,78	x	1.143,34	14,13 %
TOTAL	4.153,95		4.244,52	2,18 %

MACIÇA	SINAPI	x	LOCAL	DIF.
INSUMOS	3.469,85	x	3.579,94	3,17 %
MÃO DE OBRA	1.556,38	x	1.937,76	24,50 %
TOTAL	5.026,23	x	5.517,70	9,78 %

Fonte: Cid e Carvalho (2020, p. 16) Amorim (2018, p. 56)

As conclusões de Cid e Carvalho (2020) é de que, considerando um projeto de residência unifamiliar, conforme descrito, os custos encontrados na base de dados Sinapi se mostraram 10,08% superiores nas lajes maciças em relação à pré-fabricadas, a mão de obra para projeto de lajes maciças são 55,36% e 69% mais altos, os insumos 15,44%, assim como os custos gerais, que variam de 21% a 30%.

Em relação aos levantamentos realizados no município em estudos, foram identificados que os insumos da construção civil para os projetos de lajes são 1,62% inferiores aos registrados na tabela Sinapi, porém a mão de obra é até 14,13% a 24,5% mais cara. Os insumos se mostraram 3,17% mais altos na cidade e os custos em geral variam de 2,18% a 9,78%.

Isso significa que a tabela Sinapi não é uma boa referência para aplicação em obras na cidade de Congonhal, independentemente do tipo de laje escolhida, pois os valores locais são superiores do que a média encontrada no indicador referência para o Brasil. Porém, é possível afirmar ainda que se escolhida a laje maciça, o custo tende a ser ainda maior (CID; CARVALHO, 2020).

Braga (2021) realizou um comparativo de dois tipos de lajes mediante consulta de uma na cidade de Atibaia, em São Paulo, considerando apenas quantitativos, para carga de 250kgf/m² e 274,76 m², nas lajes tipo painel e moldada treliçada. Não foram considerados nos cálculos os custos com fretes, locação de equipamentos, descarga e montagem. O objetivo foi apenas comparar os insumos de cada tipo de laje.

Foram considerados os materiais necessários, resultando numa diferença de R\$ 16.692,27 entre os dois métodos, com vantagem para o tipo pré-moldada treliçada. Braga entendeu que, além dos custos, os dois modelos de lajes apresentam vantagens e desvantagens, que precisam ser consideradas na hora da escolha para o projeto, em itens como racionalização e produtividade da obra, que tem como condicionantes tantos outros fatores que não foram analisados nesse estudo, mas que são relevantes, como velocidade de execução do processo estrutural, necessidade de mão de obra especializada.

Figura 6 – Comparação de custos lajes painel e treliçada.

	Laje Painel/ Pré-Laje	Laje Treliçada
Custos	R\$ 64.122,67	R\$ 47.430,40
Racionalidade operacional	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação e Transporte semelhantes • Método simples e de fácil manuseio com: • Módulos treliçados com execução rápida do pavimento • Montagem lado em cada vão da residência • Instalações prediais sem rasgos, com furações bem posicionadas, com projeto bem idealizado • Aplicação de todas as armações, seguida de concretagem. • Torna a obra limpa e organizada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação e Transporte semelhantes • Método que exige mais cautela • As vigotas são montadas com cuidado para aplicação das tabelas cerâmicas ou EPS; • Posicionamento peça a peça • Maior tempo de execução; • Necessita de mão de obra mais especializada; • Instalações prediais exigem precisão, já que não são aceitas quebras de vigotas. • Necessidade de planejamento prévio; • Maior risco de prejuízo;

Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> Alta precisão na colocação das tubulações elétricas embutidas na laje e na marcação de caixas elétricas e furação de shafts. Elimina a necessidade de contrapiso. Superfície inferior (teto) com acabamento liso, eliminando a necessidade de emboço, forro de PVC ou gesso. Menor quantidade de mão de obra e facilidade de entendimento da equipe. Alta produtividade, facilitando o cumprimento de prazo. 	<ul style="list-style-type: none"> Redução do peso próprio Possibilidade de colocar as tubulações elétricas entre a capa e a base de concreto; Facilidade para continuidade das lajes, Redução de materiais, estoque e pessoas na obra. Prazo menor
Desvantagens	Utilização de guindastes e/ou gruas para a movimentação dos painéis, gerando um maior custo final e podendo criar problema no espaço do canteiro de obras.	Desvantagens são Dificuldade de se realizar as instalações prediais; Deslocamentos transversais bem maiores do que as lajes maciças.

Fonte: Adaptado de Braga (2021)

Pagliari (2020) também comparou os métodos construtivos, sendo as lajes maciça e treliçada, a fim de encontrar os parâmetros de custos comparando características específicas e técnicas dos tipos de laje, em termos quantitativos e qualitativos. Como modelo equânime para a comparação, foi analisado um projeto residencial de 55 m² e 45 m² de laje, aplicadas as condições previstas na NBR 6118/2014, em forro sem trânsito de pessoas, com coeficiente de cargas acidentais na ordem de 0,5 kN/m² ou 50 kgf/m². Os cálculos são apresentados nas tabelas da Figura 7.

Figura 7 – Comparação de custos entre as lajes maciça e treliçada

LAJE MACIÇA			
COMPOSIÇÕES	REF.	V. UNIT	V. TOTAL
FORMA (2,20mx1,1,0mx14 mm)	46,33	23,15	R\$ 1.072,54
CONCRETO fck 25 Mpa	3,7064	403,41	R\$ 1.495,20
ESCORAS METÁLICAS (locadas 30 dias)	73	7,21	R\$ 526,33
ARMADURAS CA-60 5mm	92,1	6,17	R\$ 568,26
MÃO DE OBRA (Hora)	12	55,73	R\$ 5.350,08
		Total	R\$ 9.012,41

LAJE TRELIÇADA			
COMPOSIÇÕES	REF.	V. UNIT	V. TOTAL
BLOCOS DE ENCHIMENTO + VIGOTAS	46,33	41,17	R\$ 1.907,41
CONCRETO fck 25 Mpa	2,43	403,41	R\$ 980,29
ESCORAS METÁLICAS	40	7,21	R\$ 288,40
MÃO DE OBRA (Hora)	8	55,73	R\$ 3.566,72
		Total	R\$ 6.742,81

Fonte: Pagliari (2020)

Em termos de mão de obra, a laje maciça exigiu maior quantidade de pessoas, sendo dois pedreiros e um ajudante, enquanto a treliçada apenas dois pedreiros. Ainda assim, o tempo necessário para a entrega do processo foi maior para a laje maciça (12 dias) do que na treliçada (8 dias) (PAGLIARI, 2020).

Na laje maciça foram posicionadas as escoras a cada 80 cm – uma escora a cada 0,64 m², enquanto na treliçada na laje maciça, assim como na laje treliçada as escoras foram posicionadas a cada 110 cm – uma a cada 1,21 m². Os cálculos foram feitos por unidade de área, exigindo 125 blocos de EPS mais 69 vigotas com comprimentos variáveis obedecendo à solicitação de cada vão.

Os resultados encontrados nessas dimensões determinaram que o metro quadrado na opção de laje maciça ficou em R\$ 194,53, enquanto na laje treliçada ficou em R\$ 145,54. Dessa forma o projeto no modelo mais tradicional de laje para essa residência seria de R\$ 9.012,41, acima do custo global da treliçada, que foi de R\$ 6.742,81. Conforme Pagliari (2020), a laje treliçada demonstra melhor viabilidade, já que representa 25% menos custos e 33% menos tempo de execução da obra.

Observações sobre desempenho das diversas lajes

A escolha da melhor solução estrutural não pode ser embasada apenas na comparação financeira. A análise de desempenho precisa ser considerada mediante as vantagens e desvantagens em relação ao projeto específico e as condições técnicas de influência. Entre as decisões e proposições devem ser consideradas questões relativas à carga, movimentação e insumos disponíveis ou adequadas as condições ambientais, visando especialmente a melhoria de desempenho, como prevê, por exemplo, a NBR 15575.

Quadros e Rivas (2022) avaliaram o comportamento acústico de ruído de impactos comparativamente em lajes maciça e pré-fabricada com tavela cerâmica e tavela em EPS. A análise em laboratório contou com 10 testagens em bases que reproduziam construções com contrapiso ou revestimento. Os resultados encontrados indicaram que o melhor resultados acústico ocorre em lajes pré-fabricadas com tavela em EPS.

A laje tradicional realiza com estrutura maciça apresentou 1,42% de absorção de som, enquanto a pré-fabricada com tavela cerâmica registrou apenas 0,50%. Já a estrutura em EPS registrou que 3,10% do som emitido no ambiente é absorvido, ou seja, mais do que o dobro do melhor resultado das demais estruturas (QUADROS; RIVAS, 2022).

Dessa forma, fica evidenciado que o desempenho de uma laje está diretamente relacionado ao tipo de enchimento utilizado na laje. Lopes *et al.* (2013) publicou estudo comparando enchimentos com blocos EPS, cerâmicos e caixotes reaproveitáveis de polipropileno. A análise, realizada por meio de simulações numéricas em um software, identificaram esforços e deformações mediante o dimensionamento da estrutura, avaliando, assim, esforços cortantes, momentos fletores, deslocamentos, consumo de fôrmas, consumo de concreto, taxa de armadura e a composição do custo total da estrutura para cada sistema estrutural analisado.

Entre as análises realizadas, as lajes nervuradas que utilizaram enchimento de polipropileno reaproveitável foi o que indicou melhor desempenho. O diferencial é que não acrescentou carga permanente à estrutura, comparativamente às demais opções. Os resultados foram os que demonstraram maior percentual de redução, sendo peso próprio (43,73%), flecha total (38,74%), momento fletor positivo (30,11%), momento fletor negativo (29,26%) e esforço cortante máximo (53,17%). A base para essa comparação é a laje

maciça. Isso representa uma economia de 11,22% em uma obra somente com a escolha das lajes.

Thomé *et al.* (2022) também encontraram resultados semelhantes na comparação entre as pré-moldada e de EPS, comparativamente aos métodos tradicionais, destacando a redução significativa de geração de resíduos, tempo de serviço, economia em escala, condições de conforto térmico e acústico.

Esse tipo de análise é relevante para agregar ao momento da indústria da construção civil, que está voltado a industrialização de processos, por isso vem crescendo o investimento em diferentes tipos de pré-moldados aplicados em diferentes fases da construção. Pagoto e Camicia (2013) destacam que, comparando as estruturas pré-moldadas e moldadas in loco, no caso de uma residência de dois pavimentos, as pré-moldadas se mostram até 4% mais caras, porém existem compensações em termos de tempo de execução, controle de qualidade e confiabilidade de materiais. A otimização de processos, a organização do canteiro de obras e a redução de desperdícios são elementos relevantes e que podem refletir diretamente no desempenho esperado.

Todas as comparações realizadas nos diferentes estudos citados nessa revisão, deixam claro que as análises devem agregar um rol de indicadores a fim de encontrar os melhores resultados. Portanto não existe um único tipo de laje que pode ser entendida como a ideal, no entanto, há uma forte tendência no uso de lajes pré-moldadas com diferentes formulações de materiais ou técnicas mistas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos elencados para esse estudo foram satisfatoriamente atingidos, considerando que a literatura encontrada foi capaz de estabelecer comparações em termos de custo e desempenho das lajes pré-moldadas utilizadas na construção brasileira.

Embora alguns estudos tenham identificado que numa comparação simples de preço as lajes pré-moldadas possam indicar um custo maior, quando ocorre uma avaliação comparativamente mais detalhada, fica claro que esse custo inicial é diluído em decorrência do tempo de obra e custo da mão de obra.

Outros elementos ainda podem ser considerados como relevante em relação a eficiência das lajes pré-moldadas em relação às maciças tradicionais, especialmente quanto à análise de desempenho, que inclui conforto térmico e acústico, além das vantagens sustentáveis, como a redução da emissão de resíduos.

Ainda assim, considerando que o uso de pré-moldados ainda é recente no meio construtivo e que existe uma tendência de modernização dessa indústria, identifica-se na variabilidade de materiais e combinações de estruturas, como um avanço importante no segmento. Assim, entende-se a necessidade de ampliação de estudos nesse âmbito, embasadas por normas já aprovadas e que direcionam a construção civil brasileira para a evolução.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, D.S. Estudo comparativo de quantitativos de insumos e custos totais entre soluções estruturais de laje para um determinado projeto arquitetônico. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/13595/1/DSA18062018.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2023
- ARAÚJO, J. M. de. Curso de Concreto Armado. Vol. I, II, III e IV. Editora Dunas, Porto Alegre, RS, 2014. Disponível em: <http://www.editoradunas.com.br/dunas/V1.pdf>. Acesso em: 21 mar.2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14859-1: Lajes pré-fabricadas de concreto - Parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis. Rio de Janeiro. 2016. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/22131/nbr14859-1-lajes-pre-fabricadas-de-concreto-parte-1-vigotas-minipaineis-e-paineis-requisitos>. Acesso em: 21 mar. 2023
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14859-2: Lajes pré-fabricadas de concreto Parte 2: Elementos inertes para enchimento e fôrma - Requisitos. Rio de Janeiro. 2016. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/36123/nbr14859-2-lajes-pre-fabricadas-de-concreto-parte-2-elementos-inertes-para-enchimento-e-forma-requisitos>. Acesso em: 21 mar. 2023
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14859-3: Lajes pré-fabricadas de concreto Parte 3: Armadura treliçadas eletros soldadas para lajes pré-fabricadas - Requisitos. Rio de Janeiro. 2017 Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/43891/nbr14859-3-lajes-pre-fabricadas-de-concreto-parte-3-armadura-trelicadas-eletrossoldadas-para-lajes-pre-fabricadas-requisitos>. Acesso em: 21 mar. 2023
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro. 2014. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/abnt-6118-projeto-de-estruturas-de-concreto-procedimento>. Acesso em: 21 mar. 2023
- BRAGA, Gustavo S. Análise comparativa entre laje pré-moldada treliçada e pré-laje em obras de alvenaria estrutural. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Engenharia Civil. Universidade do Sul de Santa Catarina. Tubarão, 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/19466>. Acesso em: 21 mar 2023
- CAETANO, G.L. Estudo comparativo de um pavimento comercial utilizando lajes nervurada pré-moldada, nervurada moldada in loco e maciça em concreto armado. Graduação (Engenharia Civil). UNIS/MG. Varginha, 2013. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/1004>. Acesso em: 21 mar. 2023
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil - SINAPI. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 20 set 2023.
- CAMACHO, J.S. Estudos das lajes. Curso de Concreto Armado (NBR 6118/2003): Estudo das lajes. Ilha Solteira: Unesp, 2044. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/nepae/estudo-das-lajes.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2023

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, J.R. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: Editora da Universidade Federal de São Carlos, 2017. Disponível em: https://www.academia.edu/36103093/Calculo_e_Detalhamento_de_Estruturas_Usuais_de_Concreto_Armado_4ed_Carvalho. Acesso em: 21 mar. 2023

CID, Thiago A.; CARVALHO, Laísa C. Lajes pré-fabricadas e lajes maciças: uma análise econômica para a cidade de Congonhal no sul de Minas Gerais. Engenharia Civil. Fepesmig, 2020. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/1417>. Acesso em: 30 jul 2023.

LOPES, André F. O.; BONO, Giuliana F.F.; BONO, Gustavo. Análise Numérica Comparativa entre Lajes Maciças e Nervuradas com Diferentes Tipos de Materiais de Enchimento. Mecanica Computacional, V. XXXII, N. 41. (B), 2013.

LOPO, Leonardo Campos; VIDAL, Thiago de Jesus. Utilização de pó de brita na fabricação de lajes pré-moldadas. 2020. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, 2020. Disponível em: http://repositorio.aee.edu.br/jspui/bitstream/aee/17004/1/5_2020_2%20LEONARDO%20CAMPOS%20LOPO_THIAGO%20DE%20JESUS%20VIDAL.pdf. Acesso em: 21 mar. 2023

MACHADO, Julia Favretto. Diretrizes para projetos em alvenaria estrutural: modulação e detalhamentos. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014. Disponível em: <https://docplayer.com.br/38103750-Diretrizes-para-projetos-em-alvenaria-estrutural-modulacao-e-detalhamentos.html>. Acesso em: 20 mar 2023.

PAGLIARI, Fabio H. Estudo de caso: comparativo de custo entre lajes treliçadas e maciças. Graduação Engenharia Civil. Faculdade de Sinop. Sinop, 2020

PAGOTO, Marcos Vinícius; CAMICIA, Rodrigo Junior da Motta. Avaliação dos aspectos técnicos e econômicos entre estruturas pré-fabricadas e moldadas in loco. 2013. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013. - .

PINHEIRO, L.M. Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios. São Carlos: USP - Escola de Engenharia de São Carlos, 2007. Disponível em: <https://arquitetonica.files.wordpress.com/2011/11/fundamentos-do-concreto-eesc-usp.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2023

QUADROS, Givanildo Martins; RIVA, Kauany Cristina. Acústica das lajes: estudo de caso entre laje maciça e lajes pré-fabricadas. Revista Infinity, v. 7, 2022.

THOMÉ, Kelly S.D.; LIMA, Nadine N.; CLAUDINO, Samantha F.; MACHADO, Daiane R. Análise comparativa do desempenho técnico e execução entre lajes pré-moldadas com tabelas cerâmicas e bloco de EPS. Edição Anais da CVI Mostra de Iniciação Científica do Cesuca, n. 16, 2022.

Técnicas de engenharia utilizadas na fundação do edifício Burj Khalifa

João Vitor Fabricio de Andrade

Graduando do curso de Engenharia Civil da Universidade de Araraquara – Uniara – 2023

Gerson de Marco

Docentes orientador do curso de Engenharia Civil da Universidade de Araraquara – Uniara – 2023

RESUMO

A construção civil é um segmento em constante evolução técnica e operacional, mas no Brasil o método tradicional ainda predomina o mercado. O objetivo deste estudo é compreender quais foram as principais técnicas construtivas utilizadas na construção do edifício Burj Khalifa e como podem servir de referência nas obras verticais na construção brasileira. O projeto do edifício mais alto do mundo vem influenciando o uso de novas técnicas construtivas. Foi realizada revisão de literatura, no período 2011-2023, a fim de compreender quais métodos inspirados na fundação da obra dos Emirados Árabes vem sendo aplicada no Brasil. Os resultados demonstram que a maioria das técnicas já eram conhecidas e até mesmo aplicadas, porém reforçam os estudos e tendem a ser replicadas. O edifício Burj Khalifa foi construído num contexto ambiental muito diferente, mas tem sido adaptado em projetos na Europa e na América. No caso do Brasil, que tem um tamanho continental com geografia bem diversa, diferentes técnicas podem ser replicadas e adaptadas para o contexto brasileiro. Mas a literatura nesse campo ainda é escassa, portanto, entende-se a necessidade de estudos futuros que efetuem abordagem e comparações mais localizadas e precisas, mediante o tipo de solo e outras condições e características.

Palavras-chave: Burj Khalifa. engenharia moderna. técnicas de fundação. edifícios alto.

ABSTRACT

Civil construction is a segment in constant technical and operational evolution, but in Brazil the traditional method still dominates the market. The objective of this study is to understand the main construction techniques used in the construction of the Burj Khalifa building and how they can serve as a reference in vertical works in Brazilian construction. The design of the tallest building in the world has influenced the use of new construction techniques. A literature review was carried out, in the period 2011-2023, in order to understand which methods inspired by the founding of the work



in the United Arab Emirates have been applied in Brazil. The results demonstrate that most of the techniques were already known and even applied, but they reinforce the studies and tend to be replicated. The Burj Khalifa building was built in a very different environmental context, but has been adapted in projects in Europe and America. In the case of Brazil, which has a continental size with a very diverse geography, different techniques can be replicated and adapted to the Brazilian context. However, literature in this field is still scarce, therefore, there is a need for future studies that carry out a more localized and precise approach and comparisons, depending on the type of soil and other conditions and characteristics.

Keywords: Burj Khalifa. modern engineering. foundation techniques. tall buildings.

INTRODUÇÃO

As técnicas construtivas avançaram ao longo do tempo, decorrente especialmente do desenvolvimento de novas tecnologias. Com a tendência de verticalização, principalmente nos grandes centros urbanos, os desafios em relação à fundação que suporte estruturas cada vez mais altas, exige um projeto bem elaborado e técnicas adequadas, considerando as especificações de solo.

Nesse contexto, justifica-se o estudo das metodologias utilizadas em obras verticalizadas, tomando como modelo máximo o Burj Khalifa, que é o edifício mais alto do mundo na atualidade. Com 829 metros, foi construído nos Emirados Árabes utilizando mais de 330 mil metros cúbicos de concreto, 55 mil toneladas de aço e 22 milhões de homens-horas (BURJ KHALIFA, 2010).

O método utilizado foi o da fundação com radiers estaqueados, que são capazes de suportar os carregamentos das estruturas sem gerar o afundamento, com melhor distribuição das cargas sobre o radier e dimensionamento das estacas. Essa alternativa visa compensar a falta de proporcionalidade com a altura do edifício, criando um tipo de laje de concreto espessa apoiada no solo (GALLO NETTO, 2015).

O objetivo desse estudo é compreender quais foram as principais técnicas construtivas utilizadas na construção do edifício Burj Khalifa e como podem servir de referência nas obras verticais na construção brasileira. Sabe-se que esse este edifício está apoiado em um radier estaqueado com 3,5 m de espessura, assentado sobre 194 estacas escavadas de 1,5 m de diâmetro e 43 m de comprimento (GALLO NETTO, 2015).

A pesquisa bibliográfica realizada visa demonstrar as técnicas, especialmente em relação à fundação, capazes de suportar estruturas com elevada altura, entre outros diferenciais que passaram a ser aplicados na engenharia moderna, citando experiências brasileiras inspiradas na construção referência dos Emirados Árabes. Foi realizada revisão da literatura, no período 2011-2023, considerando assim os estudos realizados após a inauguração do empreendimento, que ocorreu em 2010. As palavras-chave utilizadas foram Burj Khalifa, métodos construtivos e fundação, aplicadas com termos combinados na busca nas bases de dados Google Acadêmico e Scielo.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

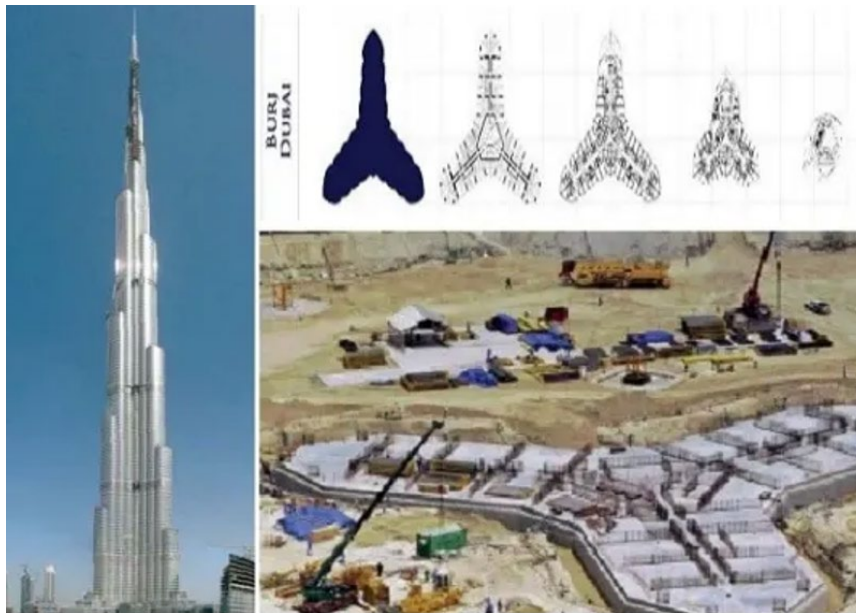
Considerações sobre o edifício Burj Khalifa

O Burj Khalifa nasceu de um projeto grandioso, pensado para chamar a atenção para os Emirados Árabes a partir de uma obra de engenharia que seria identificada como o maior edifício do mundo. As características do empreendimento visaram tornar a região um dos centros econômicos do mundo, atraindo pessoas e negócios para Dubai. A estrutura reúne condomínios residenciais, cinco hotéis, dois shoppings e imóveis comerciais. O custo estimado é de 1,5 bilhões de dólares (BURJ KHALIFA, 2010; SANTOS, 2017).

O projeto foi inspirado na *flor Hymenocallis*, desenhado em formato de Y, com um núcleo central. Até ser iniciada a construção, em setembro de 2004, o projeto passou por um extenso programa de revisão por profissionais de diversas áreas, com foco na segurança e eficácia dos seus sistemas estruturais (BURJ KHALIFA, 2010).

O edifício conta com 828 metros de altura, sendo o mais alto do mundo, divididos em níveis residenciais, comerciais e corporativos, que são a maioria, além do nível 124, que é um observatório pública da torre, distribuídas em fachadas de vidro, e alumínio, sendo 200 metros de torre metálica. Os primeiros dois anos concentraram os trabalhos de escavação, empilhamento e superestrutura. Em 2006 foram realizados os primeiros 50 níveis e em 2007 foi possível avançar até o nível 141. No ano seguinte foi atingido o recorde de maior altura da engenharia moderna, com o nível 160, e em 2009 chegou-se ao topo. No mesmo ano foi iniciado o processo de revestimento exterior e em 2010 aconteceu o lançamento oficial da obra pronta (BURJ KHALIFA, 2010).

Para a dimensão e ousadia do projeto, o período de construção foi considerado curto, 1.325 dias. Para atingir o objetivo foi necessário agregar grande número de profissionais e materiais, da concepção do projeto à finalização para entrar em modo operacional. A estimativa é de que foram necessários mais de 45.000 m³ de concreto, pesando mais de 110.000 toneladas, 192 estacas enterradas a mais de 50 metros de profundidade, 39.000 toneladas de vergalhões de aço, além de 22 milhões de horas de trabalho, sendo utilizado mais de 380 engenheiros qualificados e técnicos, além de inúmeros outros profissionais (BURJ KHALIFA, 2010; NEENU, 2023).

Figura 1 – Estrutura do Burj Khalifa.

Fonte: NEENU (2023)

Segundo Aldred (2010), além do projeto e da estrutura, todo o material escolhido foi pensado considerando as características do Oriente Médio, que exige alta durabilidade e desempenho diante das condições climáticas que tornam o ambiente quente e quimicamente agressivo.

Métodos construtivos

A escolha do tipo de tecnologia a ser utilizada exige uma análise do solo e das condições de desgaste do local, o que levou a muitos estudos e medições em países do exterior, onde vem sendo construídas obras com altura elevada. Dessa forma existem diferentes abordagens em relação ao uso de fundações com distribuição de estacas que distribuem a carga, com base em cálculos do projeto estrutural. No Brasil, embora conhecida, são mais utilizados métodos tradicionais, sem a realização de acompanhamento, o que é relevante considerando que os solos tropicais tendem a ter comportamento diverso de outras regiões (GALLO NETTO, 2015).

A fundação tem como premissa ser uma estrutura capaz de se manter firme para suportar o próprio peso e as cargas verticais e horizontais, portanto necessita ser capaz de resistir às ações do vento, oscilações dos terrenos, distensão, empuxos e demais movimentos do solo em decorrência da mudança de características por ação do tempo ou de movimentações geológicas (ABCP, 2019).

A NBR 6122 (2019) traz uma extensa lista de possibilidades de aplicações em fundação rasas e profundas. Em geral, o termo radier é associado a elementos de fundação superficial, como consta em definição da própria norma, porém quando utilizado junto a estacas se torna uma técnica aplicada também em fundação profunda, o chamado radier estaqueado, que contribui para maior estabilidade, mediante condições específicas, pois a técnica é ampla, podendo ser classificada quanto à geometria, rigidez e flexão, combinada com demais tecnologias (NAZARIO; SILVA; BERTEQUINI, 2019).

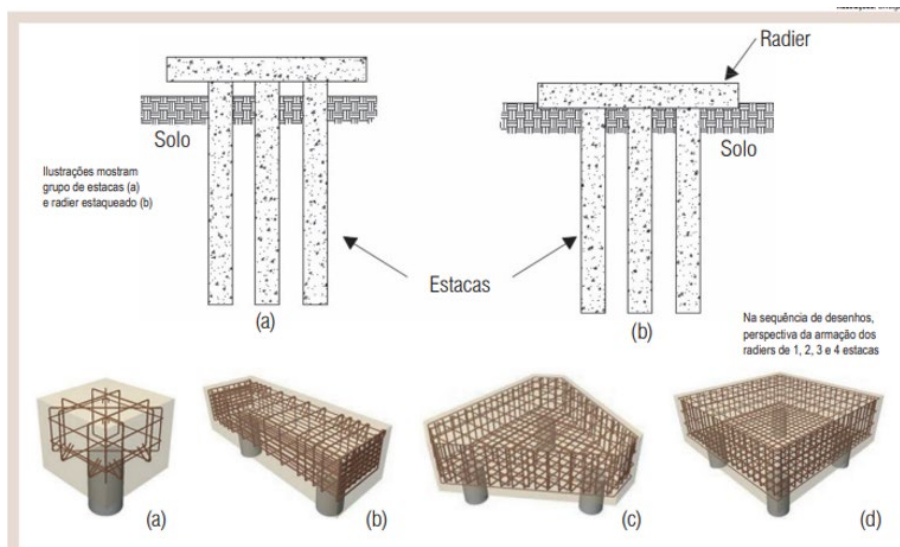
Radies

A fundação com uso de radier, grupo de estacas e radier estaqueados apresenta peculiaridades e diferenças nos resultados nos sistemas aplicados em fundações profundas, segundo Garcia (2015), pois permite o entendimento de reações a diferentes comportamentos geotécnicos, por exemplo em casos de obras de edifícios altos.

Os radiers estaqueados são um tipo de fundação mista que combina um elemento horizontal, que é o radier, com outro vertical, estacas, como explica Bacelar (2003). É dessa forma que ocorrem as transferências de cargas estruturais, porém existem pelo menos três abordagens diferentes possíveis: 1) a tradicional, com a utilização de um grupo de estacas com espaçamento em toda área; 2) a que se baseia na mobilização total das estacas, considerando um recalque reduzido; 3) e a que ocorre mediante o controle de recalques diferenciais, que diferente dos anteriores, tem uma diminuição dos recalques totais da fundação.

A explicação é que o uso do radier atua como coroa das estacas, o que gera mudanças significativas nas fundações verticais, mas recebem reforço do elemento solo como suporte das cargas. A partir das tensões sobre a fundação, ocorre o compartilhamento e as cargas são absorvidas por grupos, de forma que atuando em conjunto garantem melhor estabilidade, capacidade e prevenção de recalques (GARCIA, 2015).

Figura 2 – Modelos de fundação profunda com radier estaqueado.



Fonte: Gallo Netto (2015)

A comparação apresentada na Figura 2 indica que o sistema de radier estaqueado pode ser utilizado em diferentes formatos de projetos, sendo assim há uma tendência de mesclas de técnicas para aumentar os benefícios e inovações nas obras.

O método não é uma novidade, considerando que há mais de décadas vem sendo uma referência relevante em eficiência e como uma alternativa econômica em fundação. Bacelar (2003) já ponderava a necessidade de observação dos mecanismos de interação entre todos os elementos que compõe o processo de fundação de uma obra.

Diz Garcia (2015) que a comunidade técnico-científica vem ampliando os estudos

no campo da fundação, que tende a ser a etapa construtiva que demanda mais recursos e tempo. É nesse sentido que o estudo desse autor é um exemplo de adaptação ao contexto brasileiro de modelos construtivos internacionais, como é o caso do Burj Khalifa, em desenvolvimento nesse estudo.

CARACTERÍSTICA DA CONSTRUÇÃO DO EDÍFICIO BURJ KHALIFA

O Burj Khalifa é um projeto ainda recente, iniciado há duas décadas, mas operacional há pouco mais de 10 anos. Assim, não existem muitos estudos em língua portuguesa e aplicado ao contexto construtivo brasileiro, porém constantemente a obra é citada como referência construtiva, seja em relação à altura dos edifícios altos, questões relacionadas a luminosidade e conforto térmico, resistência ao vento, mas principalmente em relação à sua fundação, que influencia nas demais escolhas desse empreendimento.

O radier estaqueado, modelo utilizado no Burj Khalifa, discute o comportamento da fundação considerando a interação entre solo e estrutura, como destaca o estudo de Cibulski Junior (2016), que ao analisar as modelagens, identificou o comportamento dos pilares em suas diversas ações.

Em estudo de caso de uma edificação residencial de dois pavimentos de 183,20m² de área construída, Cibulski Junior (2016) discorre sobre a perfeição nos pilares engastados na extremidade, utilizando o modelo radier, com a espessura sendo considerada em relação aos carregamentos aplicados e os movimentos diferenciais do solo de suporte da estrutura.

A organização das cargas a serem aplicadas é essencial para que seja realizada a pressão uniforme do solo, reduzindo a movimentação diferencial. Assim, os cálculos precisam considerar a simetria, com alargamento para adequações e superestrutura estimadas para resistir aos esforços de punção, baseado nos princípios da estática. A aplicação desse sistema não identificou deslocamentos horizontais, ocorrendo aumento nos deslocamentos verticais máximos da estrutura e variação significativa (7,7%) nas mudanças nos momentos fletores para o solo mais rígido (CIBULSKI JUNIOR, 2016).

Cibulski Junior (2016) defende que para edificações com características semelhantes, como a fundação radier, o uso de pilares engastados em sua base é uma aproximação válida para a estrutura, mas com algumas alterações nas interações solo-estrutura, considerando o comportamento de todos os elementos, ou seja, a superestrutura formada por pilares, vigas e lajes, portanto demanda a análise completa considerando a superestrutura em conjunto com a infraestrutura.

Jean Rodrigo Garcia, da Unicamp, é um dos pesquisadores que vem trabalhando há mais de uma década sobre o comportamento das fundações, em Campinas, utilizando e analisando o método inspirado no Burj Khalifa. Em estudo de Garcia, Albuquerque e Freitas Neto (2014), foi realizado o comparativo do comportamento da fundação radier em solo arenoso e argiloso. Os cálculos apontaram que o efeito de contato do radier nos dois tipos de solo contribuem para o aumento da capacidade de carga e da redução de recalques, porém o argiloso pode apresentar um ligeiro efeito positivo no contato.

O entendimento que a literatura vem demonstrando, como diferencial como fundação

de estrutura mista, é de que bloco radier passa a exercer tensões, que são compartilhadas com as estacas, resultando em divisão de cargas e permitindo maior potencial de carga. Essa diferenciação foi demonstrada numericamente (GARCIA; ALBUQUERQUE; FREITAS NETO, 2014).

Estudos mais recentes sobre o tema, de Silva Júnior (2021), mostram o comportamento da estrutura de fundação em relação ao comportamento do radier, que foram semelhantes em termos de deslocamentos, com recalques médios de -1,7 mm e -3,2mm. Porém essas variações devem levar em consideração os estágios, considerando a relação entre o número de pavimentos e a interação solo-estrutura, pontuando o aumento da rigidez da estrutura, as variações de recalque com redução significativa e diferenciais máximos por pavimento variando de 13 mm para o térreo, a 3 mm no quinto pavimento.

Para a aplicação Silva Júnior (2021) alerta que é essencial calcular e acompanhar a relação das distorções angulares e esforços adicionais ao processo construtivo, considerando a evolução construtiva parcial e total como instrumentos de segurança e desempenho da edificação projetada, o que exige um controle tecnológico de todos os processos e monitoramento constante.

É relevante considerar que a ampliação de estudos nesse âmbito, com enfoque nacional, pode contribuir para a definição de fundações ideais, já que o país tem dimensão continental e ampla variação geológica. Nesse sentido, toma-se como exemplo, estudo feito por Henriques (2019) que avaliou o tipo de fundação utilizada em áreas de verticalização na cidade de Jataí, em Goiás. Foi identificado padrões de melhoramento do solo para utilização da metodologia da fundação radier, tendo como influência principalmente a quantidade de pavimentos, mas também mediante o tipo de solo, mas questões referentes ao custo, também demarcam a escolha do tipo de fundação.

Todas as variações identificadas nos estudos de Silva Júnior (2021), levam a conclusão de que o comportamento das estacas na avaliação da interação solo-estrutura deve considerar as tensões e comportamentos demonstrados pela estrutura, mesmo que em edifícios baixos (SILVA JÚNIOR, 2021).

Silva (2016) argumenta, no entanto, que mesmo existindo diferentes modelos construtivos pelo mundo e avanço tecnológico, do projeto à execução, se mantêm o uso de características particulares dos locais dentro do processo, especialmente em decorrência da disponibilidade de material, humano e físico, entre outros condicionantes, como custos.

Em estudo realizado na construção do oitavo edifício mais alto de Londres, Silva (2016) percebeu que existe um padrão de internacionalização no uso da técnica de concretagem principal, a forma trepante, em casos de grandes edifícios, já que garante velocidade na subida da estrutura, da base ao topo, com uma torre núcleo. Esse é o modelo encontrado como referência no Burj Khalifa, e, Dubai, mas também está no *One World Trade Center* de Nova Iorque ou no *The Shard* em Londres.

Silva (2016) destaca que a combinação entre a tecnologia e a gestão adequada, tomando como modelo de sucesso a aplicação do *Lean Construction*, é relevante para que edifícios de grandes proporções possam ser construídos, considerando objetivos relevantes, como redução de desperdícios tanto no custo da obra como em torno de seu

desempenho, considerando preceitos sustentáveis que são balizadores do setor e do mundo contemporâneo. Ou seja, cada vez mais é preciso combinar técnica, custo, desempenho e impactos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora exista pouca literatura que detalhe os resultados e desempenho de edificações brasileiras que utiliza a mesma metodologia construtiva do edifício Burj Khalifa, entende-se que o presente estudo atingiu os objetivos inicialmente propostos, que foi compreender quais foram as principais técnicas construtivas utilizadas na construção do edifício Burj Khalifa e como podem servir de referência nas obras verticais na construção brasileira.

As publicações encontradas se fundamentam mais em projetos e cálculos numéricos do que efetivamente a aplicação do método. Ainda assim, as observações destacadas pelos autores são um importante referencial para a utilização do sistema misto de fundações, combinando elementos horizontais à verticais e considerando diferentes abordagens, tradicionais às abordagens distintas.

Observa-se, assim, que ainda existe a necessidade de compreender as diferenças entre as características que podem ser modificadas entre as aplicadas nos Emirados Árabes, projetos inspirados no Burj Khalifa realizados na Europa e demais inspirações no continente americano.

O Brasil é um país de dimensões continentais, com características geológicas muito diversas. Assim, entende-se que é altamente relevante a aplicação do método de fundação radier em diferentes tipos de solo, por exemplo em região litorânea comparativamente a um grande centro urbano, a fim de identificar possíveis diferenças na aplicação do método.

REFERÊNCIAS

ALDRED, James. Burj Khalifa – a new high for high-performance concrete. *Civil Engineering*, Vol. 163, n. 2, pp. 66-73, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2019.

BACELAR, Cleide J.R. Análises de Recalque em Radiers Estaqueados. Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil. Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Civil, 2003, 193 p.

BERNARDES JÚNIOR, Pedro Luiz. Amortecedor tipo pêndulo invertido para controle de vibrações em edifícios altos. Dissertação (Mestrado em Integridade de Materiais da Engenharia)— Universidade de Brasília, Brasília, 2018, 85 p.

BURJ KHALIFA. Building a global icon. Disponível em: [https://www.burjkhalifa.ae/en/the-tower/design-construction/#:~:text=Construction%20Highlights,m%20\(164%20ft\)%20deep.](https://www.burjkhalifa.ae/en/the-tower/design-construction/#:~:text=Construction%20Highlights,m%20(164%20ft)%20deep.) . Acesso em: 30 mar 2023.

CIBULSKI JUNIOR, Osvaldo Luis. Estudo da modelagem de radier rígido em concreto armado na análise da interação solo-estrutura. 2016. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

CRUZ, Talita. Burj Khalifa: 10 Curiosidades Incríveis Sobre o Maior Prédio do Mundo. Viva Decora, 1 jul 2022. Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/burj-khalifa/>, Acesso em: 6 abr 2022.

GALLO NETTO, Carmo. Estudo analisa o uso de radiers estaqueados em solos tropicais. Jornal da Unicamp. 24 a 30 ago. Campinas, 2015. Disponível em: https://www.unicamp.br/unicamp/sites/default/files/jornal/paginas/ju_634_paginacor_11_web.pdf. Acesso em: 20 maio 2023.

GARCIA, Jean R.; Albuquerque, Paulo J.R.; Freitas Neto, Osvaldo. Avaliação do Efeito de Contato em Fundações Estaqueadas Assente em Solo Argiloso e Arenoso. Anais do XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – Cobramseg 2014.

GARCIA, Jean Rodrigo. Análise experimental e numérica de radiers estaqueados executados em solo da região de Campinas/SP. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2015. Disponível em: <https://docplayer.com.br/25951515-Jean-rodrigo-garcia-analise-experimental-e-numerica-de-radiers-estaqueados-executados-em-solo-da-regiao-de-campinas-sp.html>. Acesso em: 20 maio 2023.

HENRIQUES, Glauco F. Mapeamento das fundações de João Pessoa com relação ao porte, localização e data de conclusão dos edifícios. Monografia (Graduação Engenharia Civil). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2019, 68 p.

NAZÁRIO, Gabriel F.; SILVA, Vitor C.; BERTEQUINI, Aline B. Análise teórica sobre a fundação tipo radier. Revista Engenharia em Ação UniToledo, Araçatuba, SP, v. 04, n. 02, p. 35-51, jul./dez. 2019.

NEENU, S.K. Structural Details of Burj Khalifa – Concrete Grade and Foundations. The Constructor.org. Disponível em: <https://theconstructor.org/structures/structural-details-burj-khalifa-concrete-grade-foundations/20512/?amp=1>. Acesso em: 02 abr 2023.

OLIVEIRA, Jean Lucas Souza de. Previsão numérica dos recalques em fundações estaqueadas de um edifício localizado na cidade de Jataí-GO. Jataí-GO, 2018. 80f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil). IFG: Jataí-GO, 2018.

SANTOS, Tharcio Castro. Uma contribuição ao estudo de ações dinâmicas do vento em edifícios altos comparando diferentes metodologias. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2017, 72 p.

SILVA JÚNIOR, Raimundo P. Avaliação da interação solo-estrutura com monitoramento de recalques e análise da influência da sequência construtiva no desempenho de radiers estaqueados. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2021.

SILVA, João P.B. Execução de uma obra em Londres: um estudo de caso. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016.

Incorporação de micropartículas de sílica em argamassas

Incorporation of silica microparticles in mortars

Krystel Laís Wassmer
Eduardo Damin

RESUMO

O índice de vazios em argamassas, preenchidos com água ou ar, modifica sua microestrutura durante o processo de hidratação ao longo do tempo, o que pode acabar afetando suas propriedades, como a resistência mecânica e durabilidade. A incorporação de argamassas com materiais em microescala permite o preenchimento dos vazios presentes em sua fase porosa, de forma que o número de vazios tende a diminuir e, por consequência, pode ocorrer uma melhoria em suas propriedades mecânicas. A microssílica é um material que vem ganhando grande destaque em estudos, pois sua adição em argamassas, devido às suas propriedades, certifica uma melhoria das propriedades mecânicas e o aumento da densidade. Neste contexto, o presente teve como objetivo estudar a influência da incorporação de micropartículas de sílica em argamassas no estado fresco e endurecido, por meio de ensaios laboratoriais em quatro tipos de argamassa. O traço escolhido das argamassas foi de 1:2 e relação água/cimento fixada em 0,55. Os resultados mostraram que a influência da sílica em argamassas diminui sua trabalhabilidade, que consequentemente diminui o teor de ar incorporado e aumenta suas propriedades mecânicas. Os resultados de melhora da resistência à tração e à compressão foram satisfatórios, sendo de 97,17% e 62,63% nas argamassas com maior teor de sílica. Por fim, conclui-se que a incorporação de micropartículas de sílica em argamassas tende a diminuir o índice de vazios da microestrutura e ainda melhorar as propriedades mecânicas, devido às reações pozolânicas e ao efeito *filler*.

Palavras-chave: argamassas. microssílica. incorporação.

ABSTRACT

The number of voids in mortars, filled with water or air, changes their microstructure during the hydration process over time, which can end up af-



fecting their properties, such as mechanical resistance and durability. The incorporation of mortars with microscale materials allows the filling of voids present in their porous phase, so that the number of voids tends to decrease and, consequently, an improvement in their mechanical properties can occur. Microsilica is a material that has gained great prominence in studies, as its addition to mortars, due to its properties, certifies an improvement in mechanical properties and an increase in density. In this context, the present objective was to study the influence of the incorporation of silica microparticles in mortars in the fresh and hardened state, through laboratory tests on four types of mortar. The chosen mix of mortars was 1:2 and the water/cement ratio was set at 0.55. The results showed that the influence of silica on mortars decreases their workability, which consequently reduces the incorporated air content and increases their mechanical properties. The results of improvement in tensile and compressive strength were satisfactory, being 97.17% and 62.63% in mortars with higher silica content. Finally, it is concluded that the incorporation of silica microparticles in mortars tends to reduce the void content of the microstructure and also improve mechanical properties, due to pozzolanic reactions and the filler effect.

Keywords: mortars. microsilica. incorporation.

INTRODUÇÃO

Com o crescente avanço tecnológico dos materiais de construção civil, a busca pela melhoria, durabilidade e melhor desempenho mecânico de argamassas tem se mostrado um campo de pesquisa promissor. Essas características são essenciais quanto às questões ambientais e financeiras e para que seja possível atender às normas de desempenho ligadas à vida útil do projeto (VUP). A durabilidade está relacionada às propriedades do material quando exposto ao longo do tempo, em certo ambiente.

As adições minerais têm sido pesquisadas como uma alternativa para substituir aproximadamente 8% a 10% do cimento, com a possibilidade de substituição de até 30% (SANTIAGO, 2014), essas substâncias também possuem o potencial de aprimorar as características do produto final (KANNING *et al.*, 2014).

De acordo com Mehta e Monteiro (2014), as adições minerais aumentam a resistência à fissuração térmica, devido ao baixo calor de hidratação, refinam os poros e fortalecem a zona de transição. Para garantir a durabilidade e o aumento da vida útil das edificações, o uso de aditivos e adições minerais na confecção das argamassas vem sendo estudado ao longo do tempo, para que seja possível obter uma pasta com menor índice de vazios e com poros desconectados, um dos materiais mais utilizados em estudos é a sílica.

No princípio, o uso da sílica ativa foi motivado pela busca da redução do consumo de cimento, uma vez que este é responsável por aproximadamente 5% das emissões de gases ácidos que contribuem para o efeito estufa em seu processo de produção. No entanto, à medida que a pesquisa sobre esta utilização evoluiu, foi constatado que o uso da sílica não só contribuía para a diminuição do cimento, mas também tinha capacidade de aprimorar o desempenho de materiais cimentícios, tanto na resistência mecânica quanto na durabilidade, devido à redução da porosidade e permeabilidade na matriz cimentícia (SCHMALZ *et al.*, 2022).

A sílica ativa muito inferior ao cimento, o que confere a ela os efeitos pozolânicos e *filler* (DAL MOLIN, 2011). Estes efeitos incluem a diminuição da porosidade, levando a uma redução na permeabilidade aos fluidos devido às mudanças na microestrutura da pasta. Essa melhora ocorre devido às ações físicas, 9 relacionadas ao preenchimento (efeito *filler*) e às reações químicas (efeitos pozolânicos), que acontecem durante o processo de hidratação do cimento (TRINDADE, 2011).

REFERENCIAL TEÓRICO

Influência da microssílica em argamassas

Schuler (1998) recomenda o traço com 10% de sílica ativa e relação entre água e aglomerante de 0,55 como mais adequado para favorecer as propriedades de compósitos cimentícios, após analisar argamassas com ou sem adição de partículas de microssílica.

Estudos apresentam adição da sílica ativa em teores de 5% a 15% sobre a massa de cimento (KHAN *et al.*, 2003; MAZLOOM *et al.*, 2004; WONG *et al.*, 2005). Adições superiores a esses teores podem ocasionar a diminuição da camada do excesso de água em torno de cada partícula, tornando as misturas mais secas, ocasionando em maior consumo de água para conferir a consistência ideal (WONG *et al.*, 2008; LI; KWAN, 2011).

A sílica ativa, amplamente empregada na atualidade, constitui-se de partículas com diâmetro médio de 0,1 μm e 0,2 μm , conferindo a ela efeitos químicos e físicos. Essas propriedades favorecem a microestrutura dos materiais cimentícios, aumentando a durabilidade e o desempenho das propriedades mecânicas desses materiais (DAL MOLIN, 2011). É um pozolana obtida a partir de produção de ligas de ferro-silício e silício metálico em fornos elétricos de redução, onde se origina pequenas partículas de sílica amorfa, as quais possuem diâmetros inferiores a 1 μm (SCHMALZ, 2022).

De acordo com Metha e Monteiro (2014), não existem estudos que apresentem uma quantidade ideal de sílica ativa a ser incorporada aos compósitos cimentícios, e estabelecem que o teor ótimo varia de 7% a 10%, podendo chegar a 15%.

A reação pozolânica na utilização de sílica ativa acontece devido à interação com o Hidróxido de Cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) do cimento, produzindo Silicato de Cálcio Hidratado (C-H-S), material mais resistente e estável, que confere durabilidade dos compósitos, aumento da resistência e redução da permeabilidade do sistema por meio da refinação dos poros. Já o efeito *filler* ocorre devido à redução da porosidade global do sistema, resultante do preenchimento dos vazios de empacotamento, poros capilares e de gel (MEHTA; MONTEIRO, 2014). O volume e o tamanho dos poros são fatores essenciais para garantir a vida útil e a qualidade das edificações (SILVA, 2006; NEVILLE; BROOKS, 2010).

Ainda de acordo com Neville (2015), ao substituir parte do cimento por sílica ativa com uma área de superfície maior, é necessário aumentar a relação água/cimento (*a/c*) para manter as propriedades reológicas e de trabalhabilidade da pasta no mesmo nível de cimento sem o uso da sílica. Diante disso, Li *et al.* (2017), conclui que os materiais cimentícios que incorporam sílica ativa requerem a utilização de aditivos superplastificantes

para preservar a consistência dos concretos sem adições e manter a relação a/c inalterada.

A presença de água e a facilidade com que ela penetra nos poros da argamassa é um fator determinante para a deterioração da estrutura, o que acarreta uma durabilidade inadequada. Torna-se necessária a obtenção de compósitos cimentícios com menor índice de vazios, que resultam em baixas permeabilidades, dificultando o fluxo de água e reduzindo a velocidade do processo de degradação (SCHMALZ *et al.*, 2017).

Consistência

De acordo com Castro e Pandolfelli (2009), a trabalhabilidade de uma argamassa depende de sua coesão e fluidez. Quando as partículas de nano e microsilica são adicionadas essas características podem sofrer alterações, isto ocorre pela espessura altamente fina que aumenta a coesão entre as partículas e por apresentarem áreas de superfície elevadas, o que ocasiona a necessidade de maior quantidade de água para obter a consistência semelhante à de argamassas sem adição de sílica.

Segundo Carvalho e Figueiredo (2015) a trabalhabilidade fornece aos compósitos cimentícios a possibilidade de se moldar nos locais de aplicação e preencher com mais eficiência os espaços vazios, evitando falhas. A incorporação de aditivos confere à argamassa essas características. Outros fatores que influenciam na consistência são a granulometria e o fator água/cimento.

Densidade de massa e teor de ar incorporado

O teor de ar incorporado se refere à quantidade de ar presente na argamassa. A relação entre a massa específica e o teor de ar incorporado é inversamente proporcional. Isso, por sua vez, afeta outras propriedades tanto no estado fresco quanto no endurecido. Uma argamassa com maior teor de ar incorporado possui uma melhor trabalhabilidade, mas, ao mesmo tempo, apresenta menor resistência mecânica e aderência (BEZERRA, 2011).

De acordo com Nogueira *et al.* (2018) não existem muitos estudos que comprovem os efeitos do teor de ar incorporado quando há adição de nano e micropartículas de sílica em argamassas. Porém, por serem partículas finas, que preenchem os vazios da mistura, é de se esperar que o teor de ar incorporado seja menor do que em argamassas convencionais.

No estudo de Schwartz e Cassol (2018) foi observado que à medida que a adição de sílica ativa aumenta, há uma melhora da densidade da mistura no estado fresco, isso ocorre devido ao efeito *filler*, as adições contêm partículas altamente divididas e com uma considerável área de superfície específica. Essas partículas preenchem os espaços vazios da microestrutura da argamassa mesmo antes do início do processo de hidratação do cimento, resultando em um aumento da densidade.

Resistência à tração na flexão

Kjellsen *et al.* (2000) utilizaram 10% de sílica ativa nas idades de 28 dias e 2 anos, que resultou em um aumento de resistência à flexão de 10% a 20%. Já a resistência à tração direta teve um aumento de 20% a 25%.

Righi *et al.* (2014) utilizaram em seu estudo a incorporação de sílica ativa no teor de 10%, 15% e 20% para verificação de resistência à tração na flexão e à compressão na idade de cura de 28 dias. No ensaio de resistência à tração na flexão observaram resultado satisfatório para o teor de 10% de sílica ativa em relação à argamassa de referência, porém a resistência encontrada nos outros teores foi menor do que a resistência da argamassa de referência.

Smarzewski (2019) utilizou teores de 0%, 5%, 10%, 15%, 20% e 25% de sílica ativa em relação ao cimento. A relação de água/aglutinante foi de 0,25. Observou que o uso das micropartículas de sílica melhorou todas as propriedades mecânicas do compósito aos 28 dias. O teor de 10% de sílica ativa resultou em um aumento de 26% na resistência à tração. Porém, os maiores teores levaram à fragilidade do compósito. Concluiu que a sílica ativa pode ser eficiente para substituir o cimento, mas que a adição não deve ultrapassar 10%.

Resistência à compressão

Estudos realizados para verificar a resistência à compressão em argamassas com adição de nano e micropartículas de sílica apresentaram resultados favoráveis, onde todas as amostras com adições apresentaram resistências maiores quando comparadas às amostras de argamassas convencionais. Na maioria destes estudos, a resistência à compressão aumentou de acordo com o aumento do teor de nanossílica (JO *et al.*, 2007; SENFF *et al.*, 2009; KONTOLEONTOS *et al.*, 2012).

Sobolev *et al.* (2009) utilizaram, para verificação da resistência, argamassas com adição de sílica em teores de 0% e de 0,25% e relação água e cimento de 0,3. Encontraram valores de 53 MPa para argamassa sem adição e 64 MPa para argamassa com adição de microsílica, ambas com 1 dia de idade. Para 28 dias, os valores encontrados foram de 96 MPa e 86 MPa, respectivamente.

Em seu estudo, Mehta e Monteiro (2014) afirmaram que a verificação da resistência à compressão pode ser feita através de testes com aplicação de compressão uniaxial em amostras, e medida pela carga de ruptura.

No estudo de Righi *et al.* (2014), a resistência à compressão teve resultado satisfatório para os teores de 10% e 15% e insatisfatório para o teor de 20% de sílica ativa em relação à argamassa de referência, na idade de 28 dias.

Schwartz e Cassol (2018) utilizaram em seu estudo teores de sílica ativa de 5% e 8%, nas idades de 7, 14 e 28 dias, onde foi possível verificar que a resistência à compressão dos compósitos com sílica ativa foi maior em relação à referência. Sendo os melhores resultados para o maior teor de micropartículas. A resistência teve 19 um aumento de 76,81% para o compósito com 5% de adição da idade de 7 para 14 dias, e 45,77% para o compósito com 8% de adição.

MATERIAL E MÉTODOS

Material

O material de estudo deste trabalho é a argamassa com incorporação de Sílica Ativa (SA). A argamassa foi produzida no traço 1:2 (cimento: areia), contendo 4 composições com diferentes teores de sílica ativa.

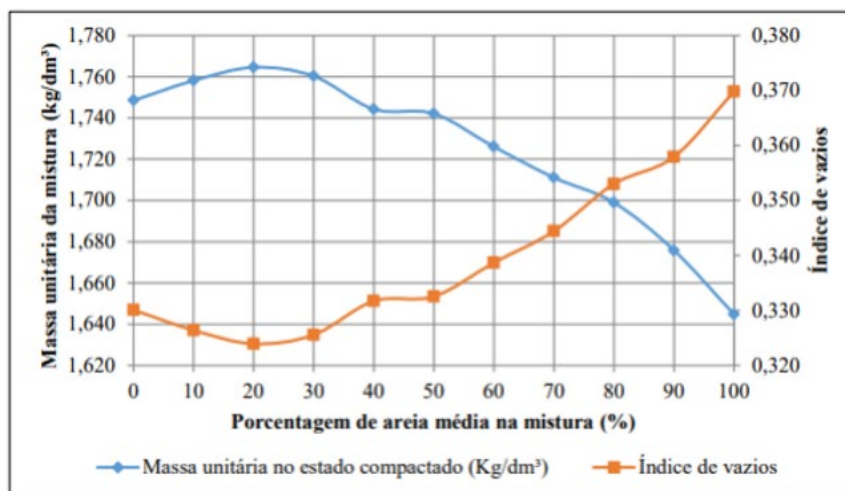
Cimento

O cimento utilizado foi o cimento Portland do tipo CP II Z-32 da marca Votorantim, que de acordo com a ABNR NBR 11578 (1991), pode possuir de 6% a 14% de pozolana e até 10% de material carbonático em sua composição. Ainda de acordo com a ABNT NBT 7215 (1996) sua resistência à compressão em 7 dias deve ser maior ou igual a 20 MPa, e em 28 dias maior ou igual a 32 MPa.

Agregado Miúdo

Nogueira *et al.* (2018) testou diversas combinações de areia fina e areia média com o objetivo de escolher a composição com o menor índice de vazios, através de ensaios de massa unitária. Conforme exposto no Gráfico 1, observou que o melhor resultado foi da composição com 20% de areia fina e 80% de areia média.

Gráfico 1 - Massa unitária e índice de vazios das composições de areia.



Fonte: Nogueira *et al.* (2019)

Microssílica

A sílica ativa utilizada é da marca Tecnosil. As características físicas e químicas do material são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características físicas e químicas da Sílica ativa Tecnosil.

Características físicas e químicas	
Massa específica	2.220 kg/m ³
Teor de SiO ₂	> 90%
Superfície específica	~ 19.000 m ² /kg
Formato da partícula ¹	Esférico
Diâmetro médio da partícula	20 μ m

Fonte: Fabricante

Métodos

Para atender os objetivos do trabalho foram realizados ensaios para analisar a influência da incorporação de sílica ativa em argamassa, os teores das partículas foram definidos de acordo com a revisão da literatura. Para tanto, foram confeccionadas 4 argamassas, apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Nomeclatura das argamassas.

Argamassa	Componentes
I	Referência (cimento + areia + água)
II	Referência + 5% SA em substituição ao cimento
III	Referência + 10% SA em substituição ao cimento
IV	Referência + 15% SA em substituição ao cimento

Fonte: Autor (2023)

Elaboração das Argamassas

O traço escolhido para elaboração das argamassas foi de 1:2 (cimento: areia). A quantidade de água foi encontrada a partir da argamassa de referência com o objetivo de obedecer a recomendação de índice de consistência de 260mm \pm 5mm, da norma ABNT NBR 16541 (2016). Portanto, a relação a/c foi fixada em 0,55 \pm 0,005. O estudo foi realizado sem o uso de aditivo plastificante para as argamassas com incorporação de micropartículas de sílica que não atingirem o índice de consistência recomendado, para possibilitar e facilitar a comparação dos resultados. As misturas foram preparadas conforme a norma ABNT NBR 16541 (2016) com o uso de misturador mecânico.

Ensaio realizados

Na Tabela 3 são apresentados os ensaios realizados e suas respectivas normas.

Tabela 3 - Ensaio realizados.

Ensaio	
Ensaio	Normas
Determinação do índice de consistência	ABNT NBR 13276:2016
Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado	ABNT NBR 13278:2005
Resistência à flexão e à compressão	ABNT NBR 13279:2005

Fonte: Autor (2023)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a obtenção dos resultados dos ensaios realizados, estes são apresentados em formas de tabelas e gráficos, analisados e discutidos de forma individual de acordo com a revisão de literatura realizada deste trabalho.

Ensaio de determinação de consistência

Os resultados do ensaio de consistência são exibidos na Tabela 4.

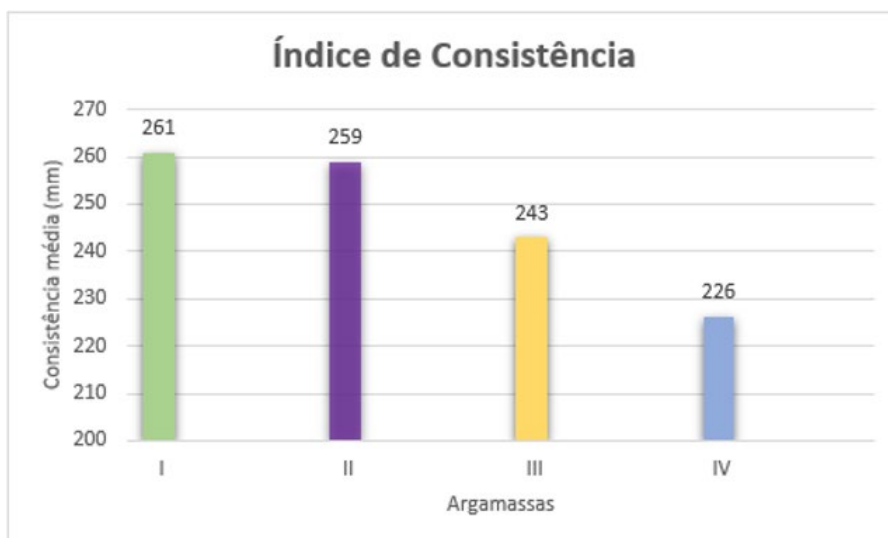
Tabela 4 - Resultados do ensaio de determinação do índice de consistência.

Índice de consistência		
Argamassa	Resultados (mm)	Consistência média (mm)
I	261	261
	258	
	264	
II	256	259
	258	
	263	
III	246	243
	244	
	239	
IV	222	226
	226	
	231	

Fonte: Autor (2023)

De acordo com o Gráfico 2, é possível verificar que a consistência média diminui conforme aumenta o teor de SA incorporado à argamassa. A argamassa IV, teve um resultado de consistência média reduzido em 13,41% em relação à argamassa I. Possivelmente esta mudança de comportamento se deve ao fato da área superficial da microssílica demandar maior quantidade de água para sua hidratação em conformidade com os estudos da referência de literatura.

Gráfico 2 - Índice de consistência.



Fonte: Autor (2023)

Os resultados encontrados estão de acordo com o que foi estudado e abordado na revisão de literatura, já que não foi utilizado aditivo plastificante para as argamassas, e com os resultados de Bezerra *et al.* (2011) que encontraram resultados de menor índice de consistência em argamassas com adição de micropartículas de sílica quando comparados à argamassa de referência, pois, quanto maior a superfície específica do material, maior será a necessidade de água para manter uma trabalhabilidade constante.

Ensaio de determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado

Os resultados do ensaio de determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado são exibidos na Tabela 5, que apresenta a densidade de massa, a densidade de massa sem vazios e o teor de ar incorporado.

Tabela 5 - Densidade de massa e teor de ar incorporado.

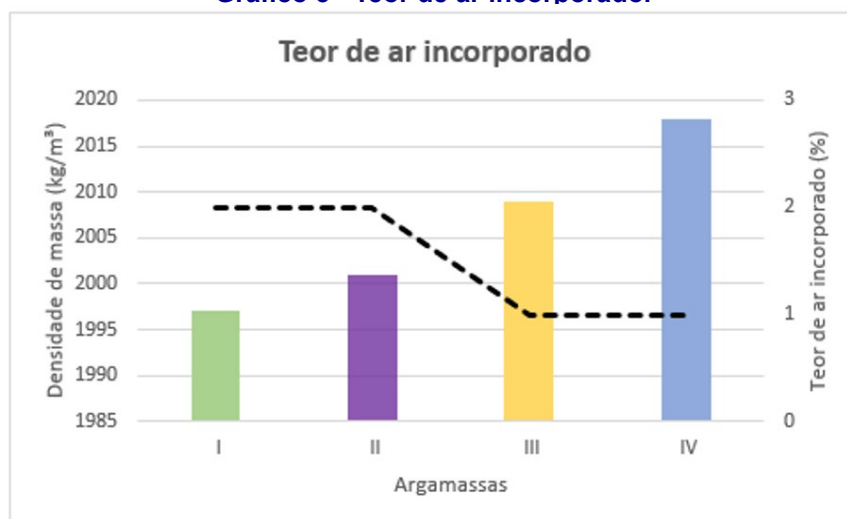
Densidade de massa e teor de ar incorporado			
Argamassas	Densidade de massa (kg/cm ³)	Densidade de massa sem vazios (kg/cm ³)	Teor de ar incorporado (%)
I	1997	2031	2
II	2001	2027	2
III	2009	2027	1
IV	2018	2027	1

Fonte: Autor (2023)

De acordo com o Gráfico 3, é possível verificar que houve um aumento da densidade de massa conforme o teor de SA incorporado subiu. A argamassa IV, que possui maior teor de micropartícula de sílica apresentou o maior valor de densidade de massa, sendo 1% maior do que a argamassa I. Quando ao teor de ar incorporado, também houve uma diferença, que era esperada de acordo com a literatura, visto que a relação entre a massa específica e o teor de ar incorporado é inversamente proporcional.

Observa-se que a argamassa IV e argamassa III apresentaram um teor de ar igual a 1%, o que confere a elas menos trabalhabilidade, confirmado pelo ensaio de determinação do índice de consistência realizado neste estudo e melhores propriedades mecânicas. Como observado no estudo de Bezerra (2011), identificado durante a revisão de literatura.

Gráfico 3 - Teor de ar incorporado.



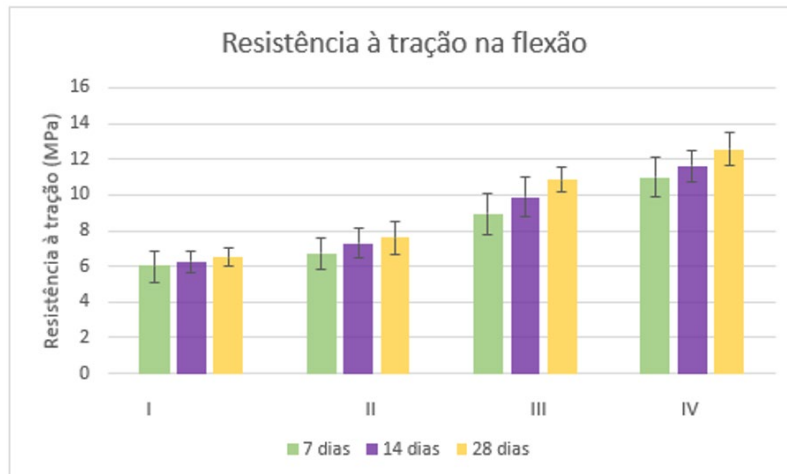
Fonte: Autor (2023)

Os resultados encontrados foram satisfatórios e em concordância com a literatura, conferindo com estudos como o de Schwartz e Cassol (2018) onde observaram que conforme o teor de SA aumentava em compósitos cimentícios, havia uma diminuição na densidade da massa e conseqüentemente um aumento no teor de ar incorporado, justificado pelo efeito *filler*.

Resistência à tração na flexão e à compressão

Para determinação da resistência à tração na flexão e à compressão foram analisadas as idades de 7, 14 e 28 dias.

Gráfico 4 - Resistência a tração na flexão.



Fonte: Autor (2023)

Conforme observado no Gráfico 4, a argamassa I, sem adição de sílica ativa apresenta menor resistência em todas as idades. Os melhores resultados podem ser observados nas argamassas III e IV, onde há uma melhora em relação à argamassa de referência de 60,91% e 97,17% na resistência aos 28 dias, respectivamente.

A Tabela 6 apresenta as taxas de crescimento de resistência entre as idades estudadas, observa-se que a argamassa III, com adição de 10% de microssílica obteve uma melhora de 21,34% na resistência dos 7 aos 28 dias. Já a argamassa IV, com adição de 15%, obteve menor porcentagem de melhora entre as idades.

Tabela 6 - Taxa de crescimento de resistências á tração na flexão.

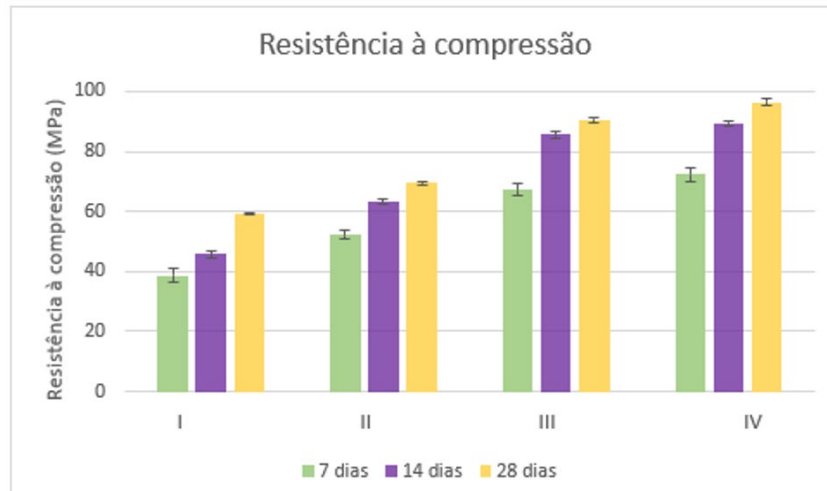
Taxa de crescimento de resistências à tração na flexão			
Argamassas	7 a 14 dias (%)	14 a 28 dias (%)	7 a 28 dias (%)
I	4,52	4,32	4,51
II	8,33	4,26	12,95
III	10,50	9,81	21,34
IV	5,74	8,18	14,39

Fonte: Autor (2023)

Os resultados encontrados condizem com a literatura estudada, já que autores encontraram resultados de resistência à tração na flexão significativamente melhores em compósitos com incorporação de micropartículas de sílica, principalmente nas argamassas com teor de 10% (KJELLEN, 2000; RIGHI *et al.*, 2014; SMARZEWSKI, 2019).

No ensaio de resistência à compressão foram estudadas as mesmas idades, de 7, 14 e 28 dias. Os resultados estão apresentados no Gráfico 5 abaixo.

Gráfico 5 - Resistência a compressão.



Fonte: Autor (2023)

Observa-se a melhora da resistência à compressão de acordo com o aumento do teor de sílica incorporado na argamassa. A argamassa IV apresenta melhora de 62,63% na resistência à compressão, em relação à argamassa I, aos 28 dias. Já a argamassa III apresenta 52,66% de melhora e a argamassa II 17,25%. Esse resultado é satisfatório, e comprovado pela literatura, onde autores encontraram resultados de resistência melhores para os compósitos com os maiores teores de micropartículas incorporados (SCHWARTZ; CASSOL, 2018).

Na Tabela 7 são apresentadas as taxas de crescimento da resistência à compressão de cada argamassa estudada entre as idades analisadas.

Tabela 7 - Taxa de crescimento de resistência a compressão.

Taxa de crescimento de resistências à compressão			
Argamassas	7 a 14 dias (%)	14 a 28 dias (%)	7 a 28 dias (%)
I	18,33	29,62	53,38
II	20,84	10,03	32,96
III	27,35	5,52	34,38
IV	23,37	7,70	32,87

Fonte: Autor (2023)

A argamassa I apresentou uma taxa de crescimento crescente durante as idades analisadas. As argamassas com adição de sílica apresentaram maiores taxas de crescimento de resistência dos 7 aos 28 dias, e 7 a 14 dias, sendo a taxa de crescimento de 14 a 28 dias mais baixa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se, que a incorporação de microssílica em argamassas traz benefícios e melhoras na durabilidade e desenvolvimento mecânico, pois diminui o índice de vazio, devidos aos efeitos químicos e físicos.

Pode-se concluir pelos estudos com ensaios no estado fresco que a incorporação das partículas tem grande influência na consistência e na densidade da argamassa, que se torna mais rígida e aumenta a velocidade do processo de hidratação do cimento, em comparação a argamassa de referência.

Já para as características no estado endurecido, conclui-se que o uso da microssílica mostra-se eficaz no aumento da resistência à tração e à compressão, devido às reações pozolânicas e ao efeito *filler*.

Por fim, vários estudos mostram ainda muitas divergências encontradas sobre o melhor teor a ser adicionado, a melhor relação água/cimentícios. Diante dos resultados deste estudo verificou-se que as propriedades mecânicas melhoraram de acordo com o aumento do teor incorporado.

Sendo assim, fica como sugestões para trabalhos futuros estudos com diferentes teores de sílica ativa em argamassas, principalmente de 10% a 15%. Outra sugestão seria estudos sobre custo x benefício da sílica ativa em argamassa, que possa avaliar a real contribuição para a redução do custo final do produto, pois pouco se conhece sobre o assunto e sua melhora da resistência já é confirmada.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578**: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento – resistência à flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15261**: Argamassa para assentamento e revestimento de tetos e paredes – Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de tetos e paredes – Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016.

BEZERRA, Izabelle M. *et al.* **Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi, v. 15, n. 6, 2011.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: EDUFSCar, 2014.

CASTRO, Alessandra Lorenzetti; PANDOLFELLI, Victor Carlos. **Conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil**. Revista Cerâmica, São Paulo, v. 55, p. 18- 32, 2009.

DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. v. 1. São Paulo: Ibracon, p. 261-309, 2011.

JO, Byung-Wan *et al.* **Characteristics of cement mortar with nano-SiO₂ particles**. Construction and Building Materials. [S.l.], v. 21, n. 6, p. 1351 – 1355, jul 2007.

KANNING, Rodrigo C. *et al.* **Banana leaves ashes as pozzolan for concrete and mortar of Portland cement**. Construction and Building Materials, p. 460-465, 2014.

KHAN, Mohammad Iqbal. **Isoresponses for strength, permeability and porosity of high performance mortar**. Building and Environment. [S.l.], v.38, p.1051-1056, 2003.

KJELLEN, K. O.; HALLGREN, Mikael; WALLEVIK, Olafur. **Fracture mechanical properties of high-performance concrete – Influence of sílica fume**. Materials and Structures, v. 33, p. 552-558, nov 2000.

KONTOLEONTOS, Foteini *et al.* **Influence of colloidal nanosilica on ultrafine cement hydration**: Physicochemical and microstructural characterization. Construction and Building Materials, Athens, v. 35, p. 347-360, 23 mai 2012.

LI, Leo Gu; KWAN, Albert K. H. **Mortar design based on water film thickness**. Construction and Building Materials. [S.l.], v.25, p.2381-2390, 2011.

LI, Leo Gu *et al.* **Synergistic effects of micro-silica and nano-silica on strength and microstructure of mortar**. Construction and Building Materials, v. 140, p. 229- 238, jun 2017.

MAZLOOM, Moosa; RAMEZANIANPOUR, A.A.; BROOKS; Jeffrey J. **Effect of silica fume on mechanical properties of high-strength concrete**. Cement and Concrete Composites. [S.l.], v.26, p.347-357, 2004.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 2 ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2015.

NEVILLE, Adam Matthew; BROOKS, J.J. **Concrete Technology**. 2. ed. Harlow: Pearson, 2010.

NOGUEIRA, Geovana Souza Ferreira *et al.* **Incorporação de nanossílica em compósitos cimentícios**. Revista Matéria. [S.l.], v.23, n.3, 07 fev 2018.

RIGHI, Débora Pedroso; NAKANISHI, Elizabete Yukiko; MOHAMAD, Gihad. **Caracterização de Cinza de Casca de Arroz Com e Sem Queima Controlada Utilizadas em Argamassas**. In: Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, 2014.

SANTIAGO, Rodrigo César. **Influência da sílica natural proveniente da casca de arroz em pastas de cimento para cimentação de poços de petróleo submetidos à injeção de vapor.** 2014. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN.

SCHMALZ, Rosana; FERREIRA, Fernando Gianotti da Silva; QUARCIONI, Valdecir Angelo. **Estudo de argamassas com incorporação de sílica ativa e nanosílica.** Revista Técnico Científica do CREA-PR. [S.l.], p. 2-15, set 2017.

SCHMALZ, Rosana *et al.* **Efeito da incorporação de nanosílica e sílica ativa em argamassas frente ao ataque interno e externo de sulfatos.** Revista Principia, v. 59, n. 3, p. 882-889, João Pessoa, 2022.

SCHULER, Andrea. **Caracterização de argamassas com adições de sílica ativa como material para reparos e reforços de estruturas em concreto armado.** 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SCHWARTZ, Mônica Martins; CASSOL, Gabriela. **Estudo comparativo entre o concreto com adição de nanosílica e o concreto com adição de sílica ativa em suspensão.** Ignis, v. 7, n. 2, p. 80-94, 2018.

SENEFF, Luciano *et al.* **Effect of nano-silica on rheology and fresh properties of cement pastes and mortars.** Construction and Building Materials. [S.l.], v. 23, p. 2487–2491, 17 mar 2009.

SILVA, Fernanda Giannotti. **Estudo de concretos de alto desempenho frente à ação de cloretos.** 2006. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Programa de Pós-Graduação da Universidade de São Paulo, São Carlos.

SMARZEWSKI, Piotr. **Influence of silica fume on mechanical and fracture Properties of high performance concrete.** Procedia Structural Integrity, v. 17, p. 5- 12, 2019.

SOBOLEV, Konstantin *et al.* **Engineering of SiO₂ Nanoparticles for Optimal Performance in Nano Cement-Based Materials.** In: BITTNAR, Zedenek. *et al.* Nanotechnology in Construction 3: Proceedings of the NICOM. Berlin: Springer, p. 139-148, 2009.

TRINDADE, Guilherme Hoehr. **Durabilidade do Concreto Com Cinza de Casca de Arroz Natural Sem Moagem: mitigação da reação álcali-sílica e penetração de cloretos.** 2011. 198 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

WONG, Hau-San; RAZAK, Hashim Abdul. **Efficiency of calcined kaolin and silica fume as cement replacement material for strength performance.** Cement and Concrete Research. [S.l.], v.35, p.696-702, 2005.

WONG, Henry H. C.; KWAN, Albert K. H. **Rheology of cement paste: role of excess water to solid surface area ratio.** Journal of Materials in Civil Engineering. [S.l.], v.20, n.2, p. 189-197, 2008.

Argamassas com adição de fibra de celulose

Mortars with added cellulose fiber

Yan Roberto da Rosa Franzmann
Dayana Ruth

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de argamassas de revestimento que incorporam papel reciclado em sua composição. O uso de papel reciclado como aditivo em argamassas pode oferecer benefícios tanto para a sustentabilidade ambiental quanto para a melhoria das propriedades das argamassas, a pesquisa aborda uma abordagem mais sustentável na construção civil, utilizando uma metodologia experimental que envolve a preparação de argamassas de revestimento com papel reciclado em teores de 10% e 20% de adição em relação ao cimento e a realização de ensaios para avaliar seu desempenho. Os ensaios incluem a análise da resistência mecânica, índice de consistência, aderência e resistência a tração. A finalidade é averiguar se a inclusão deste material na matriz cimentícia trará benefícios significantes para se justificar sua adição e se a mesma poderia ser utilizada em alvenarias de tijolos. A adição deste material já acarreta uma redução da trabalhabilidade da mistura, devido à natureza hidrófila da celulose, isto leva a uma necessidade de adicionar mais água na mistura, o que conseqüentemente impacta na resistência a compressão devido à presença da fibra e a abundância da água simultaneamente, o impacto negativo pode ser observado também na resistência a compressão, o que torna difícil justificar a adição deste material em matrizes cimentícias.

Palavras-chave: argamassa de revestimento. fibras de celulose. papel reciclado. sustentável. adição.

ABSTRACT

This work aims to evaluate the performance of coating mortars that incorporate recycled paper in their composition. The use of recycled paper as an additive in mortars can offer benefits both for environmental sustainability and for improving the properties of mortars, the research addresses an approach more sustainable in civil construction, using an experimental methodology that involves the preparation of coating mortars with recy-



clad paper at levels of 10% and 20% addition in relation to cement and carrying out tests to evaluate their performance. The tests include the analysis of mechanical resistance, consistency index, adhesion and tensile strength. The purpose is to determine whether the inclusion of this material in the cement matrix will bring significant benefits to justify its addition and whether it could be used in brick masonry. The addition of this material already leads to a reduction in the workability of the mixture, due to the hydrophilic nature of cellulose, this leads to the need to add more water to the mixture, which consequently impacts the compression resistance due to the presence of the fiber and the abundance of water. simultaneously, the negative impact can also be observed on compressive strength, which makes it difficult to justify the addition of this material in cementitious matrices.

Keywords: coating mortar. cellulose fibers. recycled paper. sustainable. addition.

INTRODUÇÃO

As argamassas de revestimento devem apresentar coesão, trabalhabilidade em seu estado fresco, as mesmas características refletem no seu desempenho no estado endurecido, com a capacidade de aderência do substrato, resistência forças mecânicas e menor modulo de deformação.

As características reológicas e mecânicas dos substratos influencia em seu desempenho com isto, as argamassas devem ser produzidas tendo em mente não só suas diversas demandas, mas como o meio em que elas estão inseridas a afetam.

As fibras de origem vegetal, as celulosas, pode oferecer vantagens para atender estas exigências, como também a utilização deste material reaproveita o que seria resíduo de descarte, a adição das fibras poderá proporcionar maior absorção de água, resistência mecânica, isolamento termoacústico, elevado resistência a tração e redução de modulo de elasticidade.

Problema de pesquisa

Ultimamente na construção civil, temos um foco e preocupação em melhorar a qualidade dos materiais utilizados na construção, visando incrementar suas qualidades de resistência, desempenho e durabilidade, assim como manter um balanço entre o mais ótimo e o mais ecológico, com isto, se sobra a dúvida de que a utilização do papel reciclado em argamassas de revestimento poderia melhorar seu desempenho? As mesmas poderiam ser utilizadas em alvenaria de tijolos?

Hipóteses

A principal hipótese desse trabalho se traduz na possibilidade de produção de argamassas de revestimento com adições de fibras de celulose em sua composição utilizando como base a quantidade de cimento, a quantidade utilizada poderá trazer melhorias nos desempenhos mecânicos, melhorando seu desempenho

Justificativa

Para a economia brasileira, a indústria de papel tem um grande impacto, tanto que nos últimos anos, foi considerado o maior produtor de celulose do mundo, a indústria contribuiu com 5% do PIB do Brasil (janeiro 2020), a presença do papel é tanta, que não é necessária procurar a fundo para encontrar de diversos tamanhos, formatos e cores o papel em nosso cotidiano, sendo material escolar até embalagens de mantimentos.

No terceiro semestre de 2020, o país produziu 5,37 milhões de toneladas de celulose, de acordo com dados divulgados pela Indústria Brasileira de Árvores (Ibá), um crescimento de 7,5% em relação ao mesmo período de 2019. De toda a produção, 75% foram destinadas para exportação, totalizando 14,7 milhões de toneladas.

Infelizmente, a indústria também tem um grande impacto ambiental, devido ao seu consumo de água nas etapas de operação de confecção e limpeza do papel, o consumo médio de água para estas operações, considerando de início ao fim, seria em torno de 60 m³ para cada 1 tonelada de papel seco.

Objetivos

Objetivo geral

O objetivo do presente trabalho será avaliar as influências que a adição de papel reciclado provoca na matriz cimentícia, e se as mesmas poderiam ser utilizadas como argamassas de revestimento.

Objetivos específicos

Submeter as misturas cimentícias a esforços de compressão e tração para avaliar a influência do plastificante sobre as fibras de celulose.

Avaliar a trabalhabilidade da mistura no estado fresco das argamassas quando aditivadas com fibras de celulose e aditivo plastificante

Aplicar as misturas em parede de alvenaria para avaliar a aderência da matriz através do teste de arranchamento.

REVISÃO DE LITERATURA

Argamassa de revestimento

A argamassa, segundo Sabbatini (1986), pode ser conceituada como um material complexo, constituído essencialmente de materiais inertes de baixa granulometria (agregados miúdos) e de uma pasta com propriedades aglomerantes, composta por minerais e água (materiais ativos), podendo ser composto, ainda, por produtos especiais, denominados aditivos.

A NBR 13529 (ABNT, 1995) define a argamassa para revestimento como sendo

“uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”.

Hidratação do cimento

Quando se observa o processo de hidratação do cimento, os silicatos da matriz cimentícia serão os protagonistas no processo de hidratação, quando em contato com a água, ambos os silicatos dicalcico e tricalcico se combinarão com a água e formando cristais de C-S-H e hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 . pode-se observar também a formação da etringita quando os aluminatos são hidratados.

O C-S-H tem morfologia de pequenas agulhas de cristal, entre 0,5 a 2 (μm) e comprimento inferior a 2 (μm), embora possuindo estas minúsculas dimensões, o mesmo pode chegar a ocupar 60% do volume em uma mistura cimentícia, a mesma também contribui com a resistência da mistura a esforços mecânicos, isto se deve a formação de uma malha decorrente das reações químicas (Monteiro, 1985).

A presença do hidróxido de cálcio por sua vez difere do C-S-H previamente mencionado, o mesmo em sua morfologia forma grandes cristais prismáticos, chegando ao máximo 25% do volume, devido a isso, os mesmos apresentam baixa adesão devido a sua área superficial, isto acarreta em também, baixa resistência a esforços mecânicos, a sua contribuição para a mistura cimentícia se deve ao potencial de passivação da armadura, processo a qual protege a armação de aço da corrosão (Monteiro, 1985).

Argamassas com fibra de celulose

As fibras de celulose são cadeias de polímeros, as quais tem em sua composição a celulose, lignina e hemicelulose, sendo assim sua estrutura química que pode ser originada de vegetais fibrosos ou madeira. (Silva, 2006)

Pode-se observar que as fibras de celulose apresentam aglomerantes de células formadas por microfibrilas, as quais se unem em lamelas intercelulares, a microfibrila seria a celulose, união deste elemento com a lignina e a hemicelulose formam a microfibrila, estes elementos compõem a estrutura física das fibras.

A celulose contida nestas fibras proporciona uma resistência maior a ações de deterioração quando comparada a outros elementos que compõem as fibras de celulose, com isto, quanto maior a presença de celulose nas fibras, maior será a sua resistência a meios alcalinos. (Silva, 2006)

Com o aumento da presença da celulose nas fibras, há também seu aumento aos esforços de tração, pois ambos são diretamente proporcionais, sendo assim, fibras que tenham mais pureza de celulose em sua composição, apresentaram melhores resultados de resistência a esforços. (Savastano, 2000)

Portanto, é necessário processar aplicar processos químicos, físicos e térmicos a materiais celulósicos ao processo de polpação, cuja função será desprender a celulose do composto, quanto maior for a presença do mesmo na polpa final, melhor será o processo.

Polpação

Segundo Tran (2002) o Brasil, está entre os três maiores países produtores de poupa de fibra de eucalipto do mundo, junto com a Ásia e Escandinávia, sendo assim, o Brasil possui uma grande capacidade produtora desta matéria prima.

Para a produção de papel de alta qualidade, é necessário submeter a matéria prima ao método Kraft, o mesmo consiste em desmembrar por meio físico e químico a madeira, este processo começa em vasos de pressão que contem dentro de si hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S), ambos elementos proporcionam um ambiente de pH agressivo, acima de 12, o que ocasiona na remoção da lignina, o produto final mantém sua integridade de resistência física (Smook, 1989).

Após isto, a mistura passa por um processo de cozimento, ao qual a temperatura deverá chegar a 170 °C, pois é nesta temperatura que a degradação dos carboidratos é acelerada (Dias, 1980). Este processo acarreta a remoção de aproximadamente 90% da lignina da madeira, o restante é o responsável pela coloração amarronzada dos papeis Kraft (Bajpai, 2018)

O processo de branqueamento utilizado seria o ECF (Elemental Chlorine Free), seria o mais utilizado nas indústrias, o mesmo é realizado após o cozimento da poupa de celulose, o mesmo é tratado com agentes químicos que reagem com a lignina restante, almejando a produção de uma poupa embranquecida de alta resistência, estabilidade e rendimento (Suess, 2010).

Trabalhabilidade

Quando as fibras são incorporadas a matrizes cimentícias, podemos observar mudanças nas características delas pois ambos os materiais cimento e fibra de celulose, acabam utilizando a água em suas reações.

Uma das mudanças seria a absorção de água, devido a adição da poupa de celulose, acaba se observando no acréscimo de retenção de água, devido à natureza orgânica das fibras de celulose (Ahmadi & Ai-Khaja, 2001)

Por causa disso, o emprego do material sempre resulta em uma matriz mais seca, com pouca trabalhabilidade, pois as fibras necessitam de mais água para serem hidratadas (Zainab Hasan Abdulabbas, 2020). E a quantidade de material empregado, tem relação direta com a quantidade necessária para hidratá-lo (Fahrizal Zulkarnain, 2016)

A inclusão das fibras promove a incorporação de ar devido a sua dispersão e ao atrito das partículas da mistura, as mesmas também retem água, devido a sua composição de micro tubos e características hidrofílicas (Pescarolo, 2021).

Resistência a Compressão

Santos (2011) obteve através de suas pesquisas, notou mudanças na quantidade de resistência mecânica, ela utilizou diversos valores para adição de celulose em sua matriz cimentícia, e notou que a resistência a compressão varia com o aumento do percentual de

adição, em relações a compressão, o teor ótimo de adição ficaria em torno de 5% de adição de fibra de celulose.

Zainab Hasan Abdulabbas (2020) que substituiu percentual de areia equivalente com as fibras de celulose também notou este comportamento, embora tenha usado como base 10% de substituição, é possível notar um decréscimo na resistência inicial dos corpos de prova, grandes quantidades de material celulítico na matriz cimentícia, dificulta a consolidação do mesmo, e acarreta uma maior quantidade de vazios.

Valle (2008) quando aplicadas em alvenaria, a redução de resistência a compressão não afeta em seu desempenho, pois para alvenaria, a resistência a tração seria mais demandada que a da compressão.

Resistência a Tração

Ao contrário das demais características, e resistência a tração aumenta conforme a presença das fibras, (Mehta, 1994) afirma que o aumento de volume desta frações aumenta o modulo de ruptura, o que vai de acordo com (Soluimenn, 1989), que afirma que o comportamento de resistência a tração das fibras de celulose e superior ao concreto comum.

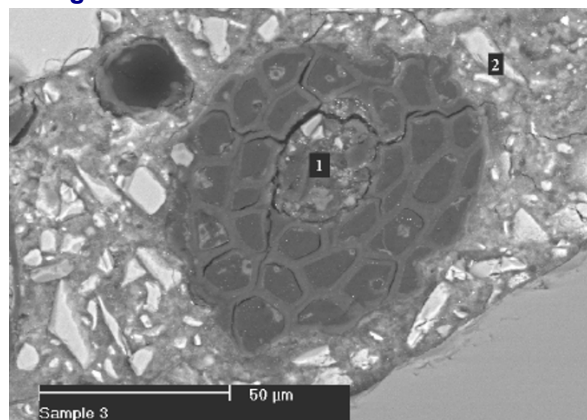
Zainab Hasan Abdulabbas (2020) que consolidou farias matrizes cimentícias com diferentes teores de substituição de areia por celulose, notou este comportamento, porém estabelece que a substituição ideal estaria em torno de 20%, a qual obteve maior resultado em resistência a tração.

Petrificação das Fibras

A reação de petrificação das fibras acontece devido a reação química dos hidratados de cimento, que vão aos poucos preenchendo parcialmente ou totalmente a lacunas presentes nas fibras, à medida que isto acontece, o acumulo deste fenômeno acarreta no enrijecimento das fibras, tornando-as menos maleáveis com comportamento frágil refletindo na capacidade do compósito (Silva, 2002)

Savastano (2000) obteve imagens de EDS (Espectroscopia por energia dispersiva) do seu compósito de fibra de coco e pode-se observar vários elementos químicos provenientes da mistura cimentícia.

Figura 1 – BSEI de fibra de coco-escória.



Fonte: (Savastano Jr., 2000).

A Figura 1 mostra a seção transversal de uma macrofibra de coco, e podemos observar dois pontos, o ponto 1 é a lacuna central da fibra, e o ponto 2 são os grãos de cimento anidro, isto demonstra o fenômeno de petrificação das fibras, à medida que a petrificação acontece, as lacunas da fibra serão preenchidas com os grãos de anidro, enrijecendo-as, o fenômeno descrito ainda pode ser acelerado pela carbonatação da matriz, fenômeno que ocorre devido ao baixo pH da mistura e maior solubilidade, facilitando a migração dos produtos para dentro das fibras (Bentur & Akers, 1989).

Potencial de Aderência

De acordo com (Silva, 2006) a utilização de fibras para melhorar a argamassa de revestimento vem aumentando no mercado, entretanto a existência das fibras em argamassa não influencia na tração.

Monte, Barros & Figueiredo, (2018) as argamassas convencionais tentem a fissurar por retração plástica e são mais suscetíveis a este fenômeno do que argamassa com adição de fibras, ele contribui para menor largura das fissuras.

Em relação ao comportamento de tração na flexão temos uma correlação de decréscimo na resistência mecânica quanto ao aumento de teor de vazios na argamassa no estado fresco (Monte, Barros, & Figueiredo, 2018).

MATERIAL E MÉTODOS

Método

Será avaliado o desempenho físico das argamassas com adição de papel em seus estados frescos e endurecidos, através do desempenho será determinada a influência das fibras de celulose na matriz cimentícia, também será avaliada o potencial de aderência para estipular sua eficiência como material de adição.

A Matéria bruta foi adquirida de folhas sulfite providenciados pelo corpo de bombeiro de medianeira, eles consistem em folhas de projetos que foram rejeitados pelo processo de correção, para poder ser implementado na matriz cimentícia, as folhas foram submersas em água e trituradas com a utilização de um liquidificador, finalizando assim a sua polpação, então foram consolidados três misturas, cuja sua composição estão descritas na tabela 1.

Tabela 1 – Materiais utilizados.

Materiais	Grupo A	Grupo B	Grupo C
Cimento	1	1	1
Areia	4	4	4
Água	0,6	0,6	0,6
Celulose	-	10%	20%
Aditivo	2%	2%	2%

Fonte: O autor (2023)

Depois de consolidar os 3 grupos, eles serão submetidos aos ensaios de desempenho mecânico das argamassas, as normas utilizadas neste trabalho são as destacadas pela tabela 2

Tabela 2 – Normas utilizadas.

Nome	ABNT NBR	Idade (Dias)	Quantidade
Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação	13749:2013		
Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios	16541:2016	-	-
Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência	13276:2016	1	3
Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos- Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão	13279:2005	7; 14; 28	3
Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração	15258:2021	28	12

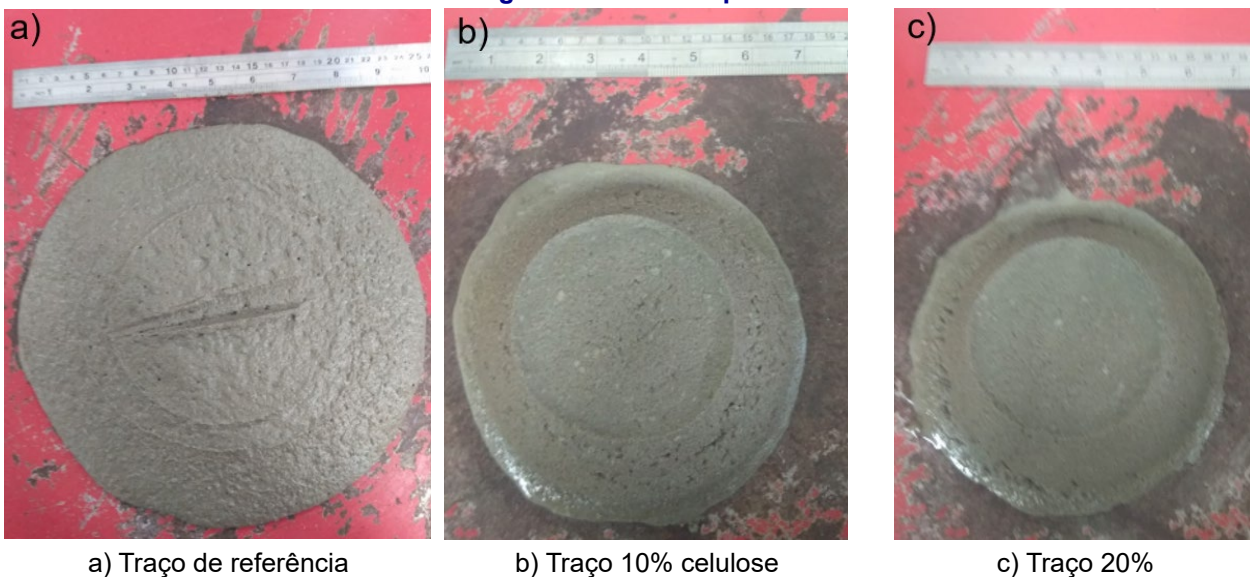
Fonte: O autor (2023)

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Índice de Consistência

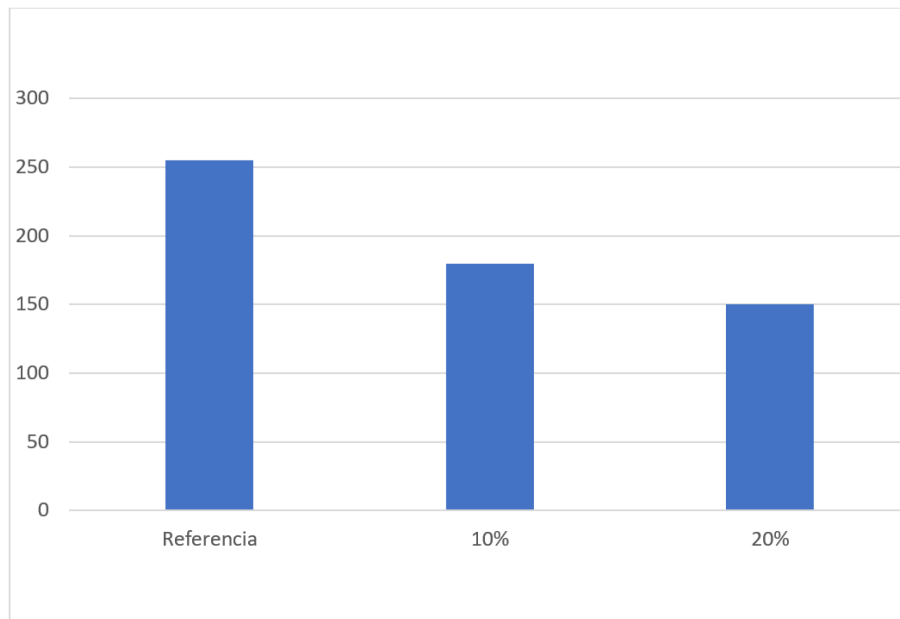
Foram efetuados os ensaios de para o índice de consistência para avaliar as mudanças mecânicas da argamassa em seu estado fresco e evidenciar as mudanças de propriedade que se obtém ao adicionar a celulose nas misturas cimentícias.

Figura 3 – Amostra padrão.



Fonte: O autor (2023)

Após a efetuação dos 30 golpes, a argamassa padrão apresentou um diâmetro de 255mm, medidas as quais atendem as especificações descritas na ABNT NBR 7215 (2019)

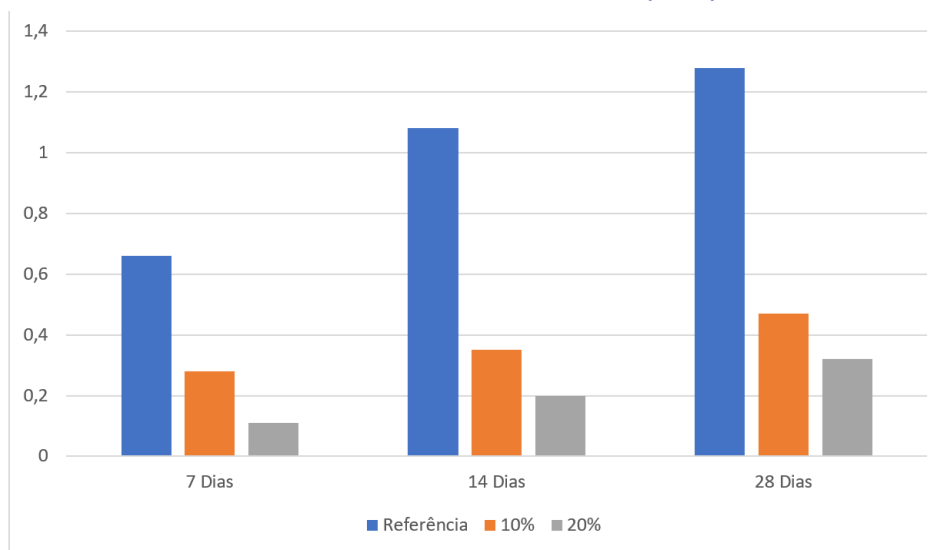
Gráfico 1 – Índice de consistência (MM).

Fonte: O autor (2023)

Podemos rastrear as causas destas perdas a dois fatores relacionados aos materiais, primeiramente, adições de fibras em geral acabam necessitando de mais água devido a área superficial das fibras, que por sua vez necessitam de maior água de molhagem, outro fator importante e a celulose, este material apresenta grande capacidade de absorção de água, e uma vez que a mesma é absorvida, ela acaba tornando matriz cimentícia mais seca, o comportamento observado também é notório em outras pesquisas de trabalho similares como a do pesquisador (Ahmadi & Ai-Khaja, 2001).

Ensaio de resistência a tração

Como especificado na tabela 2, foi rompido os corpos de prova nas idades 7, 14 e 28 dias.

Gráfico 1 – Resistência a tração (MPa)

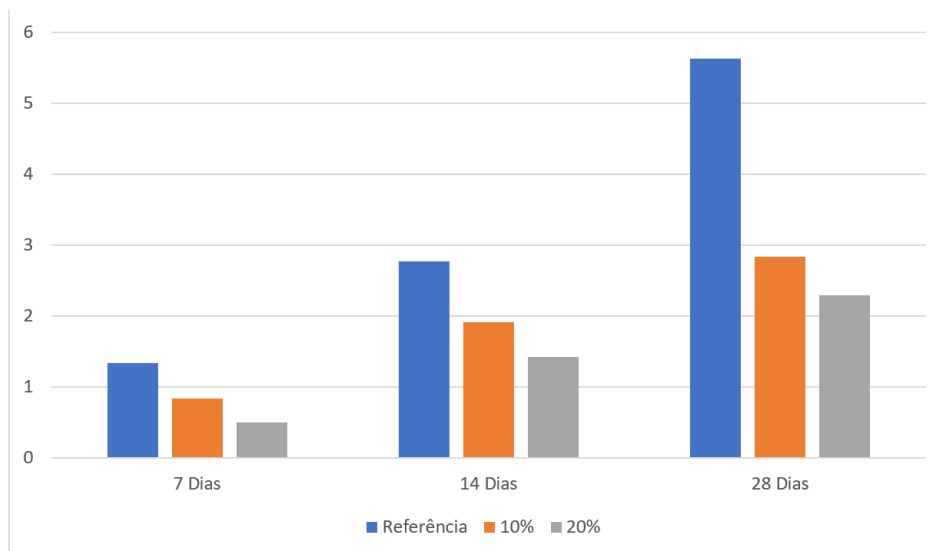
Fonte: O autor (2023)

Ao analisar os valores coletados pelos ensaios, é notório uma redução significativa na resistência a tração, isto vem como uma surpresa pois a fibra de celulose é considerada um material com resistência a tração, e assim como em outros estudos que incluem fibras em maneira em geral, as mesmas sacrificam a quantidade de resistência a compressão em prol de melhor resistência a tração, porém as fibras celulósicas são diferentes das demais, pois em meio aquoso, as moléculas que compõem a cadeia celulósica se hidratam e voltam a ser b-glicose, devido a cadeia molecular ter sido desfeita, as fibras perdem sua capacidade de resistência, com tudo isso, ainda temos a petrificação das b-glicose, pois o cimento irá reagir com a água em volta desta molécula, desencadeando a hidratação do cimento (Silva, 2002)

Ensaio de resistência a compressão

Como especificado na tabela 2, foi rompido os corpos de prova nas idades 7, 14 e 28 dias.

Gráfico 2 – Resistência a tração (MPa)



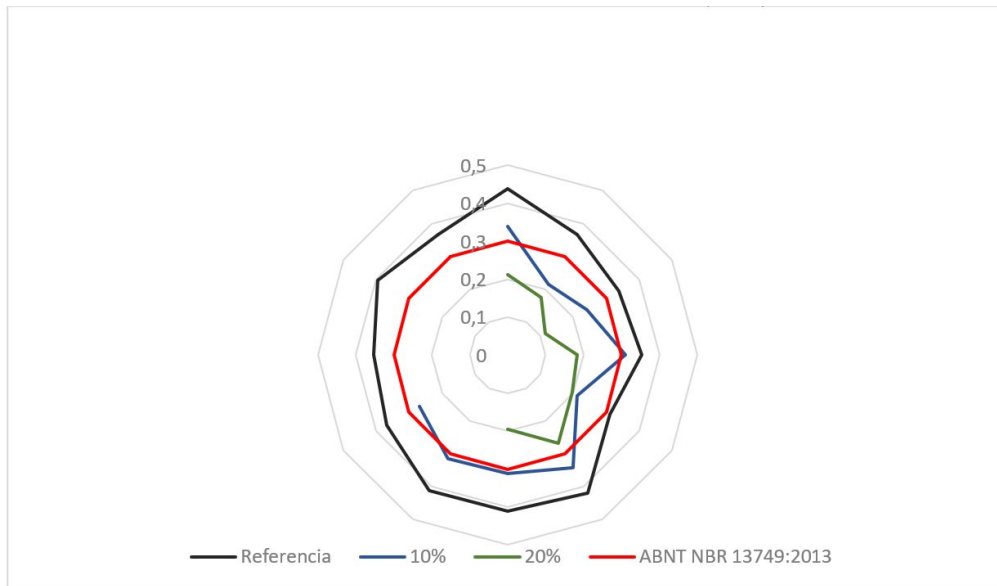
Fonte: O autor (2023)

Pode-se observar que a influência da adição de papel em massas cimentícias acarreta uma perda significativa em seu desempenho a compressão, porém este comportamento não é diferente do esperado quando se leva em consideração outros trabalhos acadêmicos que empregam a utilização da celulose na confecção das argamassas, quando se faz a média destes valores, podemos notar que em relação aos corpos de prova padrão, os aditivados com celulose têm uma queda de valor de resistência, Sabendo ser a fibra um material com menor resistência que os demais presentes na argamassa, é evidente uma menor resistência mecânica das argamassas com esse material em comparação à de referência. Outrossim, as argamassas com fibra, como já mencionado anteriormente, requerem maior quantidade de água e apresentam maiores teores de ar incorporado. Esses dois últimos fatores resultam em argamassas mais porosas, o que prejudica o desempenho mecânico. Por fim, o empobrecimento dos traços com fibra decorrente em função de maiores volumes sem acréscimos de aglomerantes, contribui com a queda das resistências por se tratar de uma menor concentração de produtos da hidratação do cimento (Zainab Hasan Abdulabbas, 2020).

Resistência potencial de aderência à tração

O gráfico 3 mostra os resultados de potência de aderência

Gráfico 3 – Potência de aderência (MPa)



Fonte: O autor (2023)

Como pode ser observado no gráfico 3, temos os valores de resistência a aderência de 12 amostras por dosagem de argamassa, também temos o valor mínimo estipulado pela ABNT NBR 13749 (2013), que seria 0.3 Mpa de força mínima de aderência, com exceção da argamassa de referência, ambas as argamassas de 10% e 20% tiveram desempenho abaixo do aceitável, sem mencionar a falta de valores para completar o dodecágono, a ausência destes valores e devido ao processo de coleta das amostras descritos na 15258 (2021), onde é necessário realizar cortes circulares para a colação das pastilhas, devido ao desempenho enfraquecido das argamassas aditivadas com fibra de celulose, os mesmos acabavam de desgrudando do substrato ou por vez rompendo-se no momento do corte

Com tudo, a causa das quedas de desempenho tem em comum a quantidade de água retida da mistura com as fibras de celulose, assim como o aumento de índice de vazios além da petrificação das fibras, estes elementos provocam um efeito domino que vai empobrecendo a qualidade da argamassa em que são misturadas, fazendo com que as mesmas percam desempenho, tais efeitos podem ser observados em trabalhos acadêmicos como a de (Vieira, 2012).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A meta deste estudo foi avaliar argamassas de revestimento adicionadas com fibras de celulose, e medir seu potencial de aderência em alvenarias de tijolos, porém à medida que se tenta consolidar este material, fica em evidencia as complexidades do mesmo, o papel para ser reciclado e virar fibras de celulose em si não é um processo complexo, tanto que pode ser feito com utensílios domésticos, o desafio está em encontrar um equilíbrio na quantidade que pode ser adicionado na matriz cimentícia, uma vez que ao se utilizar seco, o mesmo entrara em disputa com o cimento pela agua da mistura, e ao trabalhar com

o material umedecido, a sobrecarga de água na mistura acarretará em seu potencial de desempenho reduzido

As fibras quando imersas na matriz cimentícia, são suscetíveis ao processo de petrificação, ao qual destrói a integridade da fibra, tornando a um elemento frágil com pouco potencial de deformação, o que por sua vez vai contra as razões de se adicionar um material de fibra em misturas cimentícias.

REFERÊNCIAS

Ahmadi, B., & Ai-Khaja, W. (2001). Utilization of paper waste sludge in the building construction industry. Netherlands.

Bajpai, P. (2018). Biotechnology for Pulp and Paper Processing. Springer Science & Business Media.

BENTUR, & AKERS. (1989). The international journal of cement composites and lightweight concrete.

DIAS, R. L. (1980). Contribuição para o efeito de variáveis do cozimento em eucalyptus grandis. São Paulo.

Fahrizal Zulkarnain, M. S. (2016). The Potential Usgae Paper Fiber Reinforced Foam Concrete (Pfrfc) Wall Paneling System as an Idea Building Material. International Journal of Advanced Research.

Henriksson, G. (2009). Pulp and Paper Chemistry and Technology. de Gruyter.

MEHTA, M. (1994). Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo.

MONTE, BARROS, & FIGUEIREDO. (2018). Evaluation of early age cracking in rendering mortars with polypropylene fibers. Porto Alegre.

Monteiro. (1985). Microstructure of concrete and its influence on the mechanical properties.

Peruzzi, A. d. (2002). Comportamento das fibras de vidro convencionais em matriz de cimento portland com látex e adição de sílica ativa. São Paulo.

Pescarolo, A. (2021). A influência de microfibras de celulose no estado fresco de argamassa. Curitiba.

Santos, L. R. (2011). Avaliação de argamassas com fibras de papel kraft provenientes de embalagens de cimento. Goiânia.

SAVANTANO, J. (2000). Performance of low vegetable fibre-cement composites under weathring. New Zealand.

Savastano, J. H. (2000). Materiais à base de cimento reforçado com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo. São Paulo.

- SILVA, A. C. (2002). Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose. São Paulo.
- SILVA, R. (2006). Argamassas com adição de fibras de polipropileno. São Paulo: Universidade de São Paulo.
- Silva, R. d. (2006). Argamassas com adição de fibras de polipropileno -estudo do comportamento reológico e mecânico. São Paulo.
- SILVA, R. P. (2006). Argamassas com adição de fibras de polipropileno – estudo comportamento reológico e mecânico. São Paulo.
- SMOOK, G. A. (1989). Handbook for pulp & paper technologists. 1989: TAPPI Press.
- SOLUIMENN, B. (1989). Method for Determination of Concrete Density. British Standards Institution.
- Suess, H. U. (2010). Pulp Bleaching Today. de gruyter.
- TÉCNICAS, A. B. (2005). NBR 13279: determinação da resistência mecânica das argamassas.
- TÉCNICAS, A. B. (2005). NBR 13279: determinação da resistência mecânica das argamassas.
- TRAN, A. V. (2002). Effect of cooking temperature on kraft pulping of hardwood. Atlanta: TAPPI Journal.
- VALLE, J. (2008). Patologia das Alvenarias. Minas Gerais.
- VIEIRA, j. G. (2012). Produção da metilcelulose a partir da celulose do bagaço de cana-de-açúcar usando dois agentes metilantes: sulfato de dimetila e iodometano, para aplicação como aditivo na formulação de argamassas. Uberlândia.
- Zainab Hasan Abdulabbas, L. A. (2020). Evaluation of Suitability of Cement Mortar Including Paper Waste as Construction Materials. Journal of Green Engineering.

ICF - *insulated concret forms*- análise comparativa com alvenaria convencional

Lucas Fábio Massa Furco

*Graduando do Curso de Engenharia da Universidade de Araraquara- UNIARA,
Araraquara-SP*

Gerson de Marco

*Orientador. Docente Curso de Engenharia da Universidade de Araraquara- UNIARA,
Araraquara-SP*

José Eduardo Quaresma

*Coorientador. Docente Curso de Engenharia da Universidade de Araraquara- UNIARA,
Araraquara-SP*

RESUMO

O mercado de construção civil no Brasil busca cada vez mais alternativas para substituir os métodos construtivos tradicionais por métodos que tenham mais espaço para desenvolvimento, priorizem o mínimo desperdício de material, rapidez na execução e garantam o bom desempenho da construção. Este trabalho apresenta uma comparação entre um sistema construtivo convencional, caracterizado pela utilização de alvenarias vedantes e elementos tradicionais de concreto armado, como lajes, vigas, pilares e fundações, é um sistema construtivo utilizando paredes de poliestireno expandido (EPS), conhecido como Insulated Concrete Form (ICF). Quando se trata do crescimento da construção local, a alvenaria estrutural e a alvenaria convencional são boas opções pela praticidade e mão de obra disponível, principalmente quando aliadas ao conceito de racionalização da construção civil, ou seja, à cultura de menor desperdício de recursos nos canteiros de obras. trabalho, redução de paradas devido ao aumento de produtividade e planejamento antecipado para antecipar e organizar possíveis gastos e atividades. Nesta tese, portanto, será realizado um estudo comparativo entre estes dois sistemas através de uma extensa revisão bibliográfica, que apresentará suas principais características, vantagens e desvantagens, combinando as características técnicas, econômicas e sustentáveis de cada sistema.

Palavras-chave: sistema construtivo. *Insulated Concrete Form*. alvenaria convencional. comparativo.

INTRODUÇÃO

O setor da construção brasileiro tem buscado soluções para substituir os métodos construtivos tradicionais por processos mais industrializados que permitam a mínima perda de materiais e a implementação de sistemas de controle de qualidade que garantam o



desempenho da construção. (VECHIATO, 2017).

Contudo, ocorreram mudanças significativas nos últimos anos, principalmente em aspectos relacionados ao cotidiano da sociedade atual. Hoje, as práticas sociais e econômicas são plenamente capazes de apoiar grandes mudanças no sistema global. (IPEA, 2010). Em termos de crescimento da construção local, a alvenaria estrutural e a alvenaria convencional são boas opções pela sua praticidade e mão de obra disponível, principalmente quando aliadas ao conceito de racionalização na construção, ou seja, uma cultura de menor desperdício de recursos na construção, redução do tempo de parada devido ao aumento da produtividade e planejamento antecipado para antecipar e organizar possíveis gastos e atividades. (KATTO, 2016). Nesse contexto, o problema da pesquisa está elencado no seguinte questionamento: Quais as vantagens para construção, quanto à utilização do método *ICFs* comparado ao modelo de construção tradicional?

O sistema *construtivo Insulated Concrete Forms* (ICF) apresenta grande potencialidade nas construções. É um sistema de construção que consiste em painéis modulares que combinam resistência estrutural e durabilidade, propriedades térmicas, resistência à água, estanqueidade ao ar e melhor proteção acústica. Por esse motivo, o objetivo geral deste estudo é entender melhor esse sistema de construção para compará-lo com o sistema de alvenaria convencional. Para melhor elucidar o presente estudo foram traçados os seguintes objetivos específicos: contextualizar acerca do Sistema *Construtivo Insulated Concrete Forms* (ICF), abordar as etapas construtivas e apresentar a comparação entre ICF e alvenaria convencional.

Neste trabalho, portanto, será realizado um estudo comparativo entre esses dois sistemas por meio de uma extensa revisão da literatura, que apresentará suas principais características, vantagens e desvantagens, e reunirá as características técnicas, econômicas e sustentáveis de cada sistema. A abordagem utilizada neste trabalho foi qualitativa, de natureza básica, com o objetivo de esclarecer o problema ou a visão por meio de uma revisão da literatura. Segundo os autores Lakatos e Marconi (2011, p. 40), “todas as ciências caracterizam-se pela utilização de métodos científicos; em contrapartida, nem todos os ramos de estudo que empregam estes métodos são ciência. A definição de metodologia é fundamental para a organização e a condução da pesquisa científica.

Ela pode ser entendida como uma disciplina relacionada à epistemologia ou a filosofia da ciência. Segundo Marconi e Lakatos (2016), a pesquisa bibliográfica é feita em livros, teses, dissertações e sites relacionados ao segmento. No entanto, segundo os autores, a pesquisa bibliográfica é um apanhado dos principais trabalhos realizados, capaz de fornecer dados atuais e relevantes sobre o tema estudado. Todo trabalho acadêmico começa com uma pesquisa bibliográfica que permite ao pesquisador descobrir o que já foi estudado sobre um determinado tópico. No entanto, há também estudos acadêmicos que se baseiam apenas em pesquisas bibliográficas, buscando referências teóricas publicadas para reunir informações ou conhecimento prévio de um tópico, sobre um problema para o qual se busca uma resposta.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Sistema Construtivo *Insulated Concrete Forms (ICF)*

De acordo com o manual técnico da ARXX (2019), o sistema *Insulated Concrete Forms (ICF)* é um sistema de blocos constituídos por dois painéis de poliestireno expandido (EPS) unidas por elementos de aço ou plástico se transformando em formas, que serão concretadas fazendo com que a estrutura se torne autoportante. Por ser composto por EPS possui características positivas em relação a termo acústico.

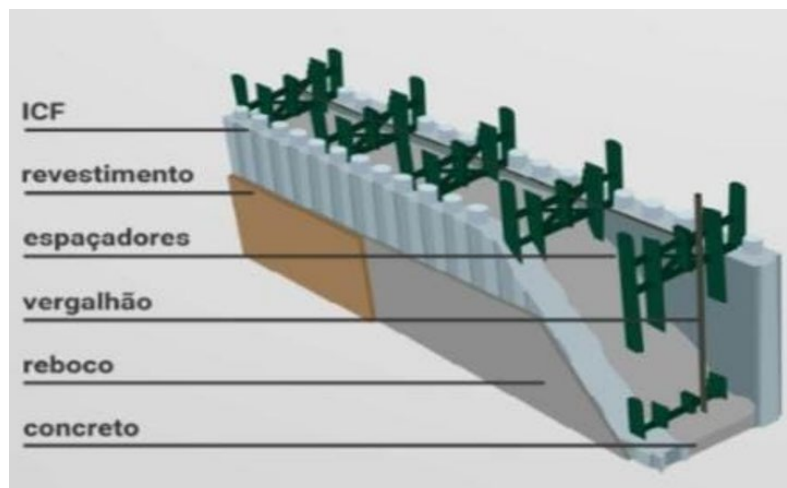
Segundo a revista ICF Builder (2011), este sistema é composto por dois painéis de EPS que têm como principal função o isolamento térmico e acústico. Os painéis são conectados entre si por meio de juntas de aço. Com o objetivo de criar uma estrutura comum mas moderna, de baixo custo, autossuficiente e sustentável. Embora tratado como uma nova tecnologia, o EPS foi criado na Alemanha em 1949 a partir de monômeros e polímeros de estireno. Esses moldes foram feitos misturando esses gases e expandindo o óleo para formar o poliestireno. (ROCHA, 2021).

Segundo Jesus e Barret (2018), surgiu na Europa após a Segunda Guerra Mundial como um meio barato e permanente de reconstrução de estruturas. A chegada deste método ao Brasil foi em 1998, foi considerado um avanço do método

na vedação de concreto armado e alvenaria. Desde então, diversos testes de resistência e eficiência foram realizados com este material na Unicamp (Universidade de Campinas) e no IPT-SP (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo), os resultados obtidos foram satisfatórios e como resultado, após essas avaliações, eram instituições reconhecidas, para se expandirem, ainda que pequenas.

Na construção civil, o ICF vem como uma forma de construção inteligente com grande segurança estrutural e eficiência, tanto nos seus prazos, ágeis, quanto na qualidade do produto final fornecido. Em geral, dois painéis EPS de alta densidade são utilizados para formar uma estrutura de aço autoportante que é então preenchida com concreto. (ROCHA, 2021).

Figura 1 - Detalhamento de uma parede em ICF.



Fonte: Soluções Construtivas (2019)¹

¹<http://faseicf.com.br/>. Acesso em: Abril de 2023.

Para facilitar a compreensão, podemos dizer que o EPS é semelhante ao sistema Lego, que contém peças verticais que formam postes e peças horizontais que formam vigas. Eles são leves e fáceis de montar e podem suportar um máximo de sete andares, o que significa que, se a planta baixa for a mesma em todos os andares da estrutura, ela suportará sete andares.

O metro quadrado das formas ICF com dimensões de 12cm x 18cm corresponde a 30 tijolos cerâmicos com dimensões 9x14x24 cm (ROCHA, 2021).

Este método diminui uma grande parcela de resíduos quando comparados com o sistema em alvenaria convencional, sendo capaz de gerar uma economia relevante. Por ser um material consideravelmente leve, o EPS diminui o peso que a fundação terá de suportar (GONÇALVEZ, 2017).

Segundo Lueble (2017), o ICF apresenta alto potencial de projeto, impermeabilidade, baixa condutividade termoacústica, tempos de conclusão reduzidos, melhor uso da mão de obra e taxas de desperdício cada vez mais baixas. Para evitar problemas de aplicação imprevistos, custos e a possível ocorrência de patologias, é necessário um acabamento de qualidade, mesmo que o procedimento não seja complicado. O grau de resistência do EPS varia de acordo com a quantidade de expansão que recebe, quanto mais se expande, menos denso se torna e, portanto, tem menos resistência, sendo, nesse caso, geralmente usado em embalagens comerciais. Por outro lado, quanto menos se expande, mais denso é e, portanto, mais durável, possibilitando seu uso na fabricação de objetos que devem ser resistentes a impactos (BASTOS JUNIOR, 2018).

Uma dúvida muito recorrente é se as paredes são frágeis. Para tirar a prova, uma equipe de uma determinada construtora, fez um teste no qual submetia uma parede com formas de ICF a diversas marretadas, fazendo um buraco depois de marretada (fig. 2). Em caso de *drywall*, bloco de concreto, ou até mesmo em paredes de alvenaria comum (blocos cerâmicos), os resultados seriam diferentes. É possível notar as barras de aço na vertical e horizontal que são envolvidas por concreto, trazendo mais segurança (ROCHA 2021).

Figura 2 - Teste de resistência.



Fonte: ROCHA (2021).

Etapas Construtivas

De acordo com Bastos Junior (2018), as etapas construtivas com formas de ICF se

dividem da maneira apresentada no fluxograma da fig 3. As fundações geralmente precisam de impermeabilização de qualidade para evitar problemas de umidade e infiltração no futuro. Vale ressaltar que a eficácia da construção exige um excelente projeto e execução das fundações, mesmo que o clima local não seja favorável a essas patologias (GONÇALVES, 2017).

A fundação é responsável por absorver as forças geradas pela superestrutura e transferi-las para o solo. O sistema estrutural ICF pode ser montado em diferentes tipos de fundações, será dada prioridade ao cálculo estrutural e à distância entre as hastes de aço e seu diâmetro. No entanto, recomenda-se a utilização de fundações rasas como: *radier* e pé, pois é um sistema autoportante, porém outros tipos de fundações podem ser utilizadas (SANTOS, 2020).

De acordo com a NBR 6122 (2010), o *radier* pode ser usado quando uma fundação superficial abrange todos pilares ou carregamentos distribuídos de maneira uniforme. Antes da concretagem do *radier* é necessário fazer a regularização do solo, fazer as passagens de tubulações hidráulicas e elétricas e isolar a umidade minimizando o acúmulo de água no solo em contato direto com a fundação.

Figura 3 - Etapas construtivas com formas de ICF.



Fonte: SANTOS (2020).

Fundação: As fundações geralmente precisam de impermeabilização de qualidade para evitar problemas de umidade e infiltração no futuro. Vale ressaltar que a eficácia da estrutura exige um excelente projeto e execução das fundações, mesmo que o clima local não seja favorável a essas patologias (GONÇALVES, 2017).

Blocos de fundação ou ancoragem das formas: A ancoragem é um processo no qual a estrutura precisa ser fixada à fundação para transferir forças para evitar qualquer deslocamento adverso no futuro. O modelo de ancoragem varia de acordo com o tipo de fundação utilizada que tende a fornecer demandas a que estão submetidos, como intempéries, furacões e terremotos. Seu dimensionamento é processado conforme cálculo estático (BASTOS JUNIOR, 2018).

Segundo Santos (2021), existem três formas de colocar as barras iniciais. A primeira é em forma de “L” que é colocada e amarrada ao reforço da fundação antes do início da concretagem. A segunda é colocar os starters antes que o concreto base esteja completamente seco; e terceiro, o lançamento é feito imediatamente após a concretagem e secagem desse concreto, para isso a estrutura é perfurada e a bota é fixada com adesivo estrutural à base de *epóxi*.

Imediatamente após o lançamento da fundação, é realizada a ancoragem, na qual são colocadas bitolas de aço ou hastes CA60 a uma distância de 30 cm uma da outra,

que farão a função de partida. Então começa a primeira série (FIG. 4) de formulários EPS (GONÇALVES, 2017).

Figura 4 - Levantamento da primeira fiada das formas de EPS.



Fonte: ROCHA, 2020.

Primeiro, antes de levantar a primeira linha, as posições das futuras paredes devem ser marcadas com um gabarito de madeira. Depois disso, deve-se escolher um local de partida, de preferência em um dos cantos do prédio, então as formas são colocadas de acordo com o alinhamento das entradas e das paredes que as faces devem estar alinhadas com as linhas do gabarito, a concretagem da camada inicial é feita imediatamente (ROCHA, 2020).

Estruturas: Imediatamente após a primeira camada, cantos e pontos de ligação devem ser cortados para permitir a passagem de barras horizontais de aço e concreto. A montagem das fôrmas deve ser feita alternadamente para melhor fixação das âncoras, elas podem ser colocadas de forma que as ímpares fiquem na mesma posição das partes. Para fixar os reforços, é conveniente criar recortes do mesmo tamanho do interior das fôrmas para servir de suporte para a barra que fica na horizontal e que vai transmitir a força de travamento na vertical descendente das fôrmas (ROCHA, 2020).

Figura 5 - Amarração das formas.



Fonte: ROCHA (2020).

A partir daí começa o processo de concretagem podendo ser feito manualmente ou com bomba. Ao refinar o concreto, pode-se usar uma ferramenta adaptada para vibrar o concreto. O enchimento da bomba é feito através de uma mangueira flexível, aconselha-se começar pelo suporte às janelas e vá enchendo tudo ao redor até que esteja completamente cheio (SANTOS, 2020).

Instalações e revestimentos: Para dar andamento às instalações hidráulicas e elétricas, são feitos recortes na parte externa das fôrmas para facilitar eventuais manutenções futuras. Esse corte geralmente usa uma faca quente para acelerar o processo de corte e reduzir a produção de resíduos.

Figura 6 - Demonstrativo de furação e fechamento de formas.



Fonte: ROCHA (2021).

Uma vez concluídas as instalações hidráulicas e elétricas, inicia-se o processo de revestimento das paredes. No caso da pintura convencional, o reboco é essencial, pois permite a aderência do gesso, que, por sua vez, é feito da maneira usual, com espessura de 15 a 20 mm e com aditivos incorporados para melhor desempenho. Quando se trata de fixar objetos com peso de até 40 kg, pode ser utilizada uma bucha borboleta, que carrega apenas o gesso. Para cargas superiores a 40 kg, recomenda-se usar uma âncora maior que seja fixada diretamente no concreto armado.

Laje e Forro: os moldes de EPS podem ser utilizados como caixotes de papelão, reduzindo o tempo gasto nessa etapa, economizando madeira e trabalho de montagem. Para isso será feito um corte em “J”, altura de corte, direções da placa, esforços e demais especificações serão feitas conforme projeto. Atualmente os mais utilizados são os painéis treliçados (pré-fabricados), que podem ser utilizados entre apoios com comprimento máximo de 8 metros, para vãos maiores de até 12 metros são utilizadas vigas protendidas. (ROCHA, 2021).

Quando se trata de telhados, não há restrição quanto ao tipo de telhado a ser usado, seja um telhado aparente, um telhado embutido, no caso de edifícios com calhas, uma folha de impermeabilização, porque as paredes desempenham um papel estrutural no suporte da carga aplicada ao telhado (ROCHA, 2021).

Comparação entre ICF e Alvenaria Convencional

A alvenaria clássica é o método de construção mais difundido, sendo que a segurança e a conveniência estão entre os principais motivos para seu uso. Construídas com blocos de cerâmica, argila ou concreto, elas cumprem com eficácia o seu papel no campo da construção, mas a alvenaria convencional não é sinônimo de inovação. A ICF já é um método de construção moderno e traz inovação e segurança combinadas com sustentabilidade (BEAL e SOUSA, 2021)

A alvenaria clássica tem as seguintes vantagens: mão de obra qualificada e fácil de encontrar; resistência ao fogo, pois como seus componentes não são inflamáveis, esse tipo de construção é compatível com retardantes de chamas; alta resistência mecânica; a durabilidade dos componentes e a resistência à água chamam a atenção para a conservação. Graças ao baixo investimento e à perfeita construção, o imóvel ganha em valor, sustentabilidade, segurança e qualidade. Outr vantagem desse sistema é a menor transferência de calor, pois o formato do EPS impede a transferência de calor para o ambiente interno e, assim, tem um efeito positivo no processo, interrompendo o consumo de energia. Além disso, esse sistema construtivo permite projetos avançados e versáteis e grandes reformas (SODRÉ, 2021).

Como desvantagem, a alvenaria clássica traz: valorização econômica, onde todos os produtos e serviços são caros; longo tempo de execução, este é um dos principais problemas da construção civil, onde os prazos de entrega dos serviços são excessivamente longos; cria-se muito entulho, há muito desperdício de material e muita geração de lixo no canteiro, o que torna a obra ainda mais poluente.

Por outro lado, o sistema ICF traz facilidade de construção, os blocos de EPS são leves e fáceis de montar, um canteiro de obras mais limpo produzindo menos resíduos por não haver blocos cerâmicos, todo o canteiro funciona com custos muito menores. sujeira e impurezas; facilidade de cruzamento de linhas e peças elétricas; redução do tempo de trabalho, pois as chapas são mais leves, o processo é muito mais rápido e eficiente; isolamento térmico e acústico, o que é muito benéfico e muito procurado pelas pessoas quando se pensa em privacidade. (BARBOSA e MORAES, 2019).

O sistema ICF consiste em um método de construção de paredes unidades autoportantes preenchidas com concreto armado, desempenhando ambas as funções estrutural e de vedação e sua rápida execução é evidente, por se tratar de um sistema EPS onde as formas são padronizadas na fábrica. O tipo de base, cobertura e revestimento utilizado no método ICF é feito de forma convencional.

De mais da metade da quantidade de resíduos sólidos em áreas urbanas são de responsabilidade do setor de construção civil, ao utilizar o método construtivo ICF, o material é 100% reciclável, os entulhos resultantes apodrecem efetivamente, o que traz um dos principais pontos positivos da sustentabilidade.

ANÁLISE E DISCUSSÃO

Em resumo, a construção de um sistema estrutural convencional é constituída principalmente por elementos estruturais de concreto armado, como pilares, vigas e lajes, e alvenarias cerâmicas com função substancial de vedação, sendo que a qualidade deste sistema depende de diversas variáveis destacando-se principalmente a matéria prima e a mão de obra utilizadas. Em contrapartida, o sistema ICF de construção, com adoção do uso de formas de EPS que não são descartadas, é composto por paredes autoportantes preenchidas *in loco* com concreto armado, o que torna as paredes ao mesmo tempo com funções estruturais e de vedação, adotando o EPS como matéria prima que possui rigorosos controle de qualidade e não necessitando de grande quantidade de mão de obra especializada, pois o sistema é padronizado pelo fabricante.

Sabe-se que em um sistema da ICF, por exemplo, o custo de fazer cortes seria muito menor se comparado ao custo de fissuras criadas na alvenaria convencional que ainda geram detritos utilizáveis de forma irrepetível. Portanto, ainda é possível ressaltar que não foram comparados os custos associados à limpeza da obra, o que novamente acarretaria custos mais baixos para o sistema ICF em comparação aos custos de execução de alvenaria convencional. O sistema ICF por se tratar de painéis padronizados de fábrica, possibilita uma rápida execução, e um canteiro de obras organizado e limpo, tendo como consequência a redução nos custos, principalmente para construtores e investidores.

A alvenaria de vedação é muito utilizada em conjunto com estruturas de concreto armado onde o concreto armado é responsável por suportar o esforço calculado. Deve ser projetado conforme projetos arquitetônicos, de acordo com as normas vigentes que o regulamentam. O edifício é constituído por pilares, que serão os suportes das vigas, que suportarão as placas de cobertura. E para dividir os espaços será utilizada a alvenaria clássica, que servirá apenas para vedar os espaços.

Obras com grandes vãos não interferem na sua execução, pois o concreto armado auxilia nessa distribuição de esforços. Futuras reformas não são dor de cabeça, pois a alvenaria clássica serve apenas para dividir ambientes, é possível medir portas e janelas fora das dimensões padrão.

No que tange à desvantagem seu tempo de execução é geralmente mais longo do que as obras de alvenaria estrutural. Geração de entulho excessivo causando impactos ambientais. Em partes de execuções de elétrica e hidráulica, é preciso cortar paredes para sua instalação, causando perda de tempo e um desperdício, pois terá que fechar novamente com argamassa.

Segundo Kantor (2014), o método construtivo em alvenaria convencional possui dois departamentos, como vedação e estrutura, onde a vedação tem a função de preencher lacunas na estrutura e particionar o ambiente, e não possui função estrutural, enquanto a função da estrutura deve ser o caminho para que as cargas calculadas cheguem à fundação e se dispersem no solo.

Kantor (2014) também define o método construtivo de alvenaria estrutural é considerado econômico devido à redução do desperdício de material, pois os blocos

possuem tubulações hidráulicas e elétricas. A alvenaria estrutural, portanto, suporta a carga do edifício e elimina a necessidade de concreto armado. Foco na modelagem do projeto de acordo com os blocos a serem utilizados na implantação, o que gera uma maior racionalização de obra e material e assim a possibilidade de organizar custos e reduzir o tempo de produção.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir desta pesquisa bibliográfica, foi possível verificar as particularidades do sistema construtivo ICFs para obras do setor civil. Além disso, comparou-se quanto a metodologia tradicional – referente ao desempenho termoacústico, e verificou-se os aspectos notáveis da sua aplicação.

Conclui-se que o método ICF apresenta poucas desvantagens em relação à alvenaria convencional, principalmente por ser uma tecnologia relativamente nova. Porém, os benefícios se destacam principalmente pela maior flexibilidade de projetos, menor condutividade térmica/redução de ruído, redução de mão de obra, desperdício de material, retrabalho e atividades. Além de representar alto grau de sustentabilidade e reaproveitamento da espuma de poliestireno. Estes aspectos tornam este método atrativo para construtores, investidores e clientes que lutam por um futuro de construção sustentável.

Portanto, recomenda-se continuar construindo o conhecimento dos processos construtivos: definindo os aspectos de relutância à queima, intemperismo, absorvência, além da realização de mais material não de origem petrolífera, mas que aumente propriedades semelhantes às do EPS no ICF sistema. Além disso, incentivos ao desenvolvimento e pesquisa de técnicas de construção sustentável.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270** . Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118** . Projeto de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122** . Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.

BARBOSA, M. F. MORAES, P. H. A. **Análise comparativa entre o uso do poliestireno expandido (EPS) e alvenaria e sua viabilidade econômica e ambiental no processo construtivo** . 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil)–Faculdade Evangélica de Jaraguá, Jaraguá, 2019.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Sapatas de fundação**. Notas de Aula do Curso de Estruturas de Concreto III. UNESP. Bauru, 2018.

CASTRO, Renata CM de. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: Light Steel Framing**. 2005a. 231p. 2005. Tese de Doutorado. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Civil)–Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto.

DA ROCHA, J. F. IFORMS: “**O novo tijolo do Brasil**”, 2021. Disponível em: ProdutosProdutos (iforms.com.br) . Acesso em: 03 de Abril de 2023.

GONÇALVES, Carlos Jorge Pereira. **Construção Modular**: Análise Comparativa de Diversas Soluções. Aveiro, 2017.

JESUS TAINARA, Andressa Campelo; BARRETO, Maria Fernanda Fávero Menna. **Análise Comparativa dos Sistemas Construtivos em Alvenaria Convencional, Alvenaria Estrutural e Moldes Isolantes para Concreto** (Icf).

ICF BUILDER – THE INSULATING CONCRETE FORMS MAGAZINE. History of ICFs. Disponível em: <https://www.icfmag.com/2011/02/history-of-icfs/>. Acesso em: abril de 2023.

KATTO, Ricardo Bentes. **Comparação entre o sistema construtivo convencional e o sistema construtivo em alvenaria estrutural segundo a teoria da construção enxuta**. 2016.

LAKATOS, Eva Maria e MARCONI, Marina de Andrade, **Fundamentos de metodologia científica**, 3ª Ed. São Paulo: Atlas, 2011.

LUEBLE, Ana RCP. **Construção de habitações com painéis de eps e argamassa armada**. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo, SP. 2017.

MARCONI, Marina; LAKATOS, Eva. **Fundamentos de metodologia científica**. – 5ed – São Paulo: Atlas 2016.

SANTOS, Túlio César de Carvalho; BERZOINI, Isabela Dianim. **Sistema construtivo insulated concrete forms (ICF)**: Estudo de caso viabilidade técnica, econômica e sustentabilidade na construção. 2020.

SODRÉ, Wyllyam Washington Borges. Comparativo entre o método ICFs (fôrmas isoladas de concreto) e alvenaria tradicional: revisão bibliográfica. São Paulo: **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento** , ano 06, ed. 12, vol.07, dez., 2021, pp.86-108.

VECHIATO, A. M. V. **Estudo de métodos construtivos inovadores compoliestireno expandido**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) –Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campo Mourão, 2017.

Aplicação de geogrelha para reforço de subleito

Willian Felipe dos Santos

Acadêmico de Engenharia Civil, Faculdade Educacional de Medianeira – UDC Medianeira, Medianeira – PR, Brasil

Eduardo Damim

Engenheiro Civil, Mestre, Professor do Curso de Engenharia Civil, Faculdade Educacional de Medianeira – UDC Medianeira, Medianeira – PR, Brasil

RESUMO

O uso de geogrelhas é amplamente reconhecido pela melhoria das camadas de suporte de pavimentos por meio do reforço de camadas de base, sub-base e subleito e em estradas pavimentadas e não pavimentadas. Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento mecânico de uma plataforma de solo argiloso superficial típico da região oeste do Paraná quando reforçada com geogrelha. Os levantamentos de campo foram realizados no Município de Medianeira. A análise dos resultados buscou destacar os dimensionamentos que apresentaram resultados melhores. Os resultados obtidos do solo reforçado apresentaram comportamentos mecânicos melhores que os sem reforço. A utilização da geogrelha pode ser uma solução viável, trazendo benefícios quanto ao prolongamento da vida útil do pavimento e conseqüentemente diminuindo os custos com a manutenção das rodovias. O material geossintético em contato com o agregado cria um confinamento que absorve as tensões de tração aplicadas na superfície do pavimento, distribuindo melhor as tensões e exercendo sua grande função estrutural.

Palavras-chave: comportamento mecânico do solo. deflexão. resistência. prova de carga em placas.

INTRODUÇÃO

O setor de mobilidade desempenha um papel fundamental no progresso das cidades. Sua importância é destacada pela capacidade de permitir o acesso e o transporte de pessoas e mercadorias, impulsionando o desenvolvimento dos diversos setores que compõem a economia de um país.

O sistema de transporte no Brasil é composto por cinco modalidades: rodoviário, ferroviário, aquaviário, dutoviário e aéreo. O modal rodoviário é o mais amplamente utilizado no país, representando 61,1% do sistema de transporte, de acordo com a Confederação Nacional de Transportes - CNT (2022). Portanto, a existência de estradas em más condições de circulação resulta em custos significativos para o



país, especialmente devido ao aumento do consumo de combustíveis, tempo de viagem, manutenção da frota de veículos e ocorrência de acidentes, o que se torna necessário a investigação das mesmas.

As investigações do solo incluem técnicas e métodos para analisar suas características físicas e mecânicas, como granulometria, plasticidade, densidade, resistência, permeabilidade e outras propriedades relevantes. Essas informações são fundamentais para compreender o comportamento do solo em resposta a forças e condições ambientais, garantindo segurança e o desempenho adequado das estruturas construídas sobre ele (PEIXOTO, 2019).

O empuxo de terra gerado internamente em um aterro provoca tensões de cisalhamento que se propagam para fora do aterro, de forma semelhante ao comportamento de uma base plana. Essas tensões de cisalhamento diminuem a capacidade de carga da fundação de argila (RESENDE, 2017).

O objetivo do reforço instalado na base do aterro é cumprir duas funções: resistir ao empuxo de terra gerado dentro do aterro e resistir à deformação lateral da fundação, alterando a direção das tensões de cisalhamento, de forma semelhante ao comportamento de uma base rugosa. O reforço aumenta a capacidade de carga da fundação. Como resultado, aterros reforçados podem alcançar alturas maiores do que aterros sem reforço. Comparando um aterro não reforçado com um aterro reforçado de mesma altura, observa-se um aumento no fator de segurança com o uso do reforço (MAGALHÃES, 2019).

Ao realizar uma análise detalhada do solo, é possível obter uma compreensão mais aprofundada de seu comportamento e adaptá-lo de maneira mais eficiente às condições específicas de cada aplicação. Por exemplo, em projetos de fundações, é essencial conhecer a capacidade de suporte do solo para garantir a estabilidade das estruturas construídas sobre ele. Da mesma forma, em projetos de pavimentação, é necessário levar em consideração a permeabilidade do solo para controlar a água adequadamente e, dependendo dos resultados, considerar a aplicação de técnicas de reforço (SANTOS *et al.*, 2022).

Porém o reforço de subleito é um dos principais métodos utilizados para melhorar a resistência e a capacidade de suporte de solos fracos. A geogrelha é um material amplamente utilizado para reforçar subleitos devido as suas características de alta resistência a tração e rigidez, tendo em vista maior durabilidade do pavimento e custo benefício no processo de execução (MARTINS; FORTES, 2018).

As geogrelhas biaxiais são frequentemente empregadas para o reforço de solos em aplicações de estabilização. Sua estrutura simétrica oferece resistência e confinamento em ambas as direções. Essas geogrelhas possuem uma resistência à tração e uma geometria simétricas, geralmente variando de 20 a 200 kN/m. O tipo de polímero e a configuração dos orifícios podem ser ajustados de acordo com as exigências de resistência à tração e as características do aterro em questão (MACCAFERRI, 2023).

Existem diferentes tipos de geossintéticos amplamente utilizados para reforçar aterros construídos sobre solos de baixa resistência. Esses geossintéticos incluem geotêxteis tecidos (GTX-W), geogrelhas (GGR) e geocélulas (GCE). A escolha do tipo de

geossintético a ser utilizado depende das condições específicas do local da obra e dos materiais disponíveis (SANTOS; SILVA, 2019; VERTEMATTI, 2004).

MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO DO SUBLEITO E A NECESSIDADE DE REFORÇO

O subleito é uma camada de solo localizada abaixo da base da pavimentação e é fundamental para suportar as cargas das estruturas de tráfego. No entanto, diversos mecanismos de deterioração podem afetar o subleito ao longo do tempo, comprometendo sua capacidade de suporte e a integridade das pavimentações. É nesse contexto que a necessidade de reforço do subleito se torna crucial (GOURLEY, 2017).

De acordo com Mitchell e James (2015), a ação de cargas repetidas, variações de umidade, expansões e contrações do solo e a presença de tráfego intenso podem levar a problemas como recalques diferenciais, afundamentos, trincas e deformações excessivas no subleito.

A necessidade de reforço do subleito surge como uma resposta à falta de suporte adequado para as camadas superiores da pavimentação, levando a problemas como deslocamentos verticais, fissuras e instabilidade estrutural (INDRARATNA; SALIM; CHRISTIE, 2016). Para mitigar esses problemas, a utilização de técnicas de reforço, como a aplicação de geogrelhas, se torna essencial.

De acordo com Koerner (2012), outra estratégia recomendada é o uso de geossintéticos para melhorar a estabilidade do aterro sobre solo argiloso, os geossintéticos, como geotêxteis e geogrelhas, podem proporcionar reforço e melhorar a distribuição de tensões, reduzindo os recalques diferenciais e aumentando a capacidade de carga do aterro.

Uso de geogrelha em solos argilosos

No estudo de Chen, Wu e Chang (2015), geogrelhas foram instaladas em solos argilosos para avaliar seus efeitos na redução de recalques e deformações. A pesquisa envolveu ensaios de laboratório e modelagem numérica para analisar o comportamento mecânico dos solos reforçados com geogrelhas. Os resultados indicaram que a adição de geogrelhas contribuiu para uma distribuição mais uniforme das tensões no solo, minimizando o afundamento diferencial e melhorando a capacidade de carga do solo argiloso.

Segundo Smith, Johnson e Brown (2019), o uso de geogrelhas em solos argilosos tem demonstrado uma significativa melhoria na capacidade de suporte do subleito, minimizando as deformações plásticas características desses solos sob carregamentos cíclicos. A presença das geogrelhas ajuda a distribuir as tensões de forma mais uniforme, reduzindo a concentração de esforços e minimizando o desenvolvimento de fissuras e deformações permanentes.

Além disso, as geogrelhas podem proporcionar uma melhoria na coesão aparente do solo argiloso, contribuindo para o aumento da resistência ao cisalhamento e, conseqüentemente, para a estabilidade global da estrutura. Isso foi destacado por Lee e Wang (2020) em um estudo sobre a aplicação de geogrelhas em solos argilosos de uma

área de aterro.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O solo desse estudo é classificado como Solo Argiloso, característico desta região. Aproximadamente 100 kg (com profundidade de 1 m) de amostras de solo foram coletadas de seu local de origem e do mesmo foram retiradas as amostras necessárias para determinação da umidade natural, o solo foi espalhado em lonas para devida secagem ao ar e alcance da umidade higroscópica segundo NBR 6457 (ABNT, 2016). Estando o mesmo na umidade higroscópica, procedeu o destorroamento do mesmo a quantidade necessária para os ensaios subsequentes de caracterização e compactação de acordo com os normativos vigentes.

As amostras de solo coletadas foram encaminhadas para o Laboratório da Instituição de Ensino Superior para a caracterização do solo e algumas análises foram feitas no laboratório da Empresa Samp Construtora de Obras. Ao final foram feitos os seguintes ensaios de caracterização da matriz de solo, conforme ilustrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Tipos de ensaios.

Ensaio	Normas
Determinação do limite de plasticidade	ABNT NBR 7180/2016
Determinação do limite de liquidez	ABNT NBR 6459/2017
Determinação da massa específica	ABNT NBR 6508/1984
Análise granulométrica	ABNT NBR 7181/2016
ISC	ABNT NBR 9895:2016

Fonte: O autor (2023).

Caracterização do solo

Foram realizados ensaios de caracterização das camadas de solo, por meio dos ensaios de consistência de Atterberg e da massa específica dos grãos de acordo com as normas vigentes. Na Tabela 1 são apresentados os dados obtidos de maneira resumida.

Tabela 1 – características das camadas do perfil estudado.

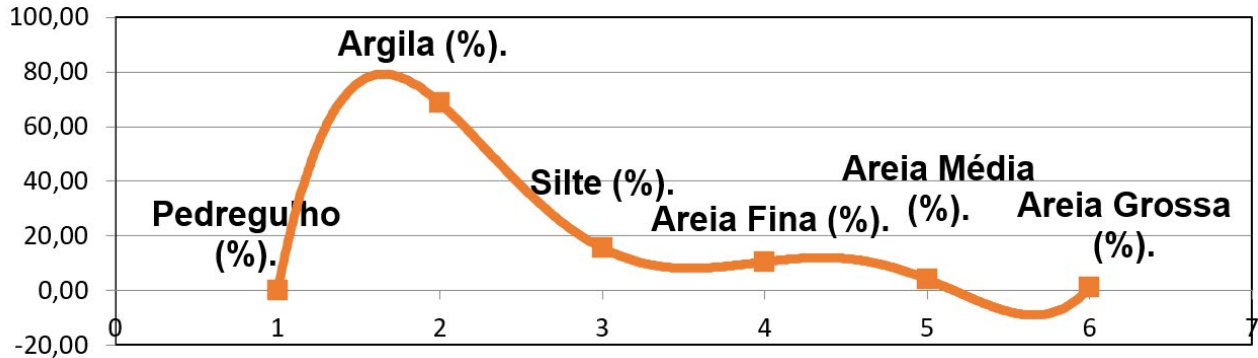
CARACTERÍSTICA	CAMADA
LL (%)	57,2
LP (%)	32,8
IP (%)	24,4
ISC (%)	14,9
GRANULOMETRIA	
PEDREGULHO (%)	0,1
AREIA GROSSA (%)	1,2
AREIA MÉDIA (%)	4,1
AREIA FINA (%)	10,5
SILTE (%)	15,51
ARGILA (%)	68,58

Fonte: O autor (2023).

Granulometria

A partir dos testes preliminares de peneiramento e sedimentação realizados no laboratório, foram determinados o tamanho médio dos grãos presentes nas amostras de solo que foram coletadas e encaminhadas para os ensaios conforme o Gráfico 1.

Gráfico 1 – Curva granulométrica do solo.



Fonte: O autor (2023).

Com base na curva granulométrica do solo coletado é possível constatar uma predominância de argila na sua composição. A maior composição é de argila em relação aos outros materiais 68,58%, e a menor composição é de pedregulho, somente 0,1%, o que já era esperado pelas características do solo residual basáltico.

Geogrelha

A geogrelha plástica esticada biaxialmente é produzida a partir de um polímero de alta massa molecular que passa por um processo de plastificação da folha extrudada. Após isso, são realizados procedimentos de perfuração, aquecimento e estiramento tanto longitudinal quanto transversalmente. A geogrelha resultante possui uma elevada resistência à tração tanto nas direções longitudinal quanto transversal, o que lhe confere a capacidade de oferecer um suporte efetivo em solos macios, transformando-se em um sistema de intertravamento integrado.

A geogrelha esticada biaxialmente encontra aplicações adequadas no reforço de ferrovias, rodovias, fundações de solos macios e no reforço de grandes áreas de fundações permanentes, entre outros campos da engenharia. (MACCAFERRI, 2023).

A Geogrelha utilizada nesse estudo foi uma GEOGRELHA MACGRID WG 65 x 65 s da empresa Maccaferri, Figura 2.

Figura 2 – Tipo do material.



Fonte: Maccaferri (2023).

As especificações das propriedades mecânicas do material que compõem a referida geogrelha, a partir do método ASTM D6637, estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades mecânicas do material que compõe a geogrelha.

Propriedade	Unidade	Quantidade
Resistência longitudinal última (mín.)	kN/m	65
Resistência transversal última (mín.)	kN/m	65
Alongamento na resistência última	% +/- 1	11
Resistência à 2% de alongamento (mín.)	kN/m	11
Resistência à 6% de alongamento (mín.)	kN/m	31

Fonte: Maccaferri (2023).

A geogrelha denominada MacGrid WG, produzida pela empresa Maccaferri do Brasil, foi adotada para este experimento devido às características propícias se aplicada como reforço de base e sub base de pavimentos, sendo sua tração correspondente à 400 kN/m, de material tecido e produzida a partir de filamentos de poliéster de altíssima tenacidade e com baixos valores de alongamento, de acordo com seu fabricante.

Métodos

Os ensaios tiveram dois resultados, sendo: um dos resultados constando deflexão com a leitura da viga benkelman com aplicação da geogrelha biaxial para reforço e o outro sem nenhuma aplicação de reforço de carga em placas (contraprova). Com relação aos dois resultados, um teve aplicação de carga concentrada com macaco hidráulico através da leitura de extensômetros com precisão de 0,01mm, obtendo um resultado com a aplicação da geogrelha biaxial e o outro resultado sem nenhum tipo de reforço de carga em placas (contraprova).

Foram conduzidos ensaios laboratoriais, como ensaios de resistência à tração das geogrelhas e ensaios de compressão e cisalhamento do solo reforçado. Os resultados desses ensaios foram utilizados para avaliar a capacidade de reforço proporcionada pelas geogrelhas.

Aplicação

Para o estudo foram utilizadas duas áreas de respectivamente 10 m de comprimento e 3 m de largura e um aterro de aproximadamente 15 cm de altura. Após a preparação das áreas, uma foi destinada para aplicação da geogrelha e a outra, sem nenhum tipo de aplicação de reforço, com isso para leitura da deflexão em duas áreas uma respectivamente com o reforço e outra como contraprova (sem nenhum reforço de carga em placas), onde foi utilizado a viga benkelman e um caminhão Mercedes, onde obteve-se dois resultados comparativos em relação as duas áreas.

Para os resultados de deflexão foi utilizado um caminhão Mercedes Benz de 143 cv, modelo 1214, ano 1997, com caçamba basculante de aproximadamente 8,2 m³ contendo carga, conforme ilustrado na Figura 3.

Para os resultados de aplicação de carga em placas foi utilizado um caminhão

Volvo FM 460 cv, ano 2012, com caçamba basculante.

Já as outras duas áreas foram destinadas para aplicação de carga concentrada, onde em uma área teve a aplicação da geogrelha biaxial e a outra área como contraprova (sem nenhum reforço), para se ter a comparação dos resultados aplicou-se cargas em placas de aproximadamente 0,5 m² com a leitura do extensômetro de precisão, e a carga aplicada foi a do caminhão Mercedes descrito anteriormente, onde o tempo de aplicação para leitura foi de 10 min, 30 min, 60 min, 90 min e 120 min obtendo dois resultados comparativos em relação aplicação de cargas concentradas.

Figura 3 – Caminhão basculante com viga.



Fonte: O autor (2023).

Prova de carga em placa

O ensaio de prova de carga em placa é um ensaio estático de campo, empregado na superfície do terreno ou em baixas profundidades, tendo como principais finalidades a investigação do comportamento do solo sujeito a um determinado carregamento, a partir da determinação de parâmetros de deformabilidade e pela avaliação de parâmetros de resistência. Esse ensaio faz uma simulação do comportamento solo-fundação de forma direta (ALMEIDA, 2018).

Alonso (1991) explica que os resultados obtidos nos ensaios de prova de carga em placa podem ser extrapolados para a fundação real desde que o perfil do solo seja conhecido, garantindo que a região do bulbo de pressão da fundação real tem as mesmas características do bulbo da placa.

De acordo com Barata (1984), o ensaio de prova de carga em placa possui maior aplicabilidade em terrenos cuja deformabilidade é praticamente imediata à ação das cargas, necessitando ser primeiramente empregados em terrenos pedregulhosos, arenosos e silte arenosos em qualquer grau de saturação e em segundo lugar, em terrenos argilosos e silte argilosos, com baixo grau de saturação.

Todos os resultados alcançados nesse estudo encontram-se na ordem da metodologia apresentada.

Leitura de deflexão através da viga Benkelman

Foi considerado o caso do solo natural sem reforço na primeira análise de tensões, representado na Figura 5, para obter os resultados sobre como o solo se comporta inicialmente sem reforço ao ser solicitado devido uma tensão externa. O solo é composto basicamente por dois tipos de solo, o silte arenoso e a argila arenosa, e o perfil estudado considera a profundidade até 4 m.

Figura 5 – Solo no estado natural para análise de tensões.



Fonte: O autor (2023).

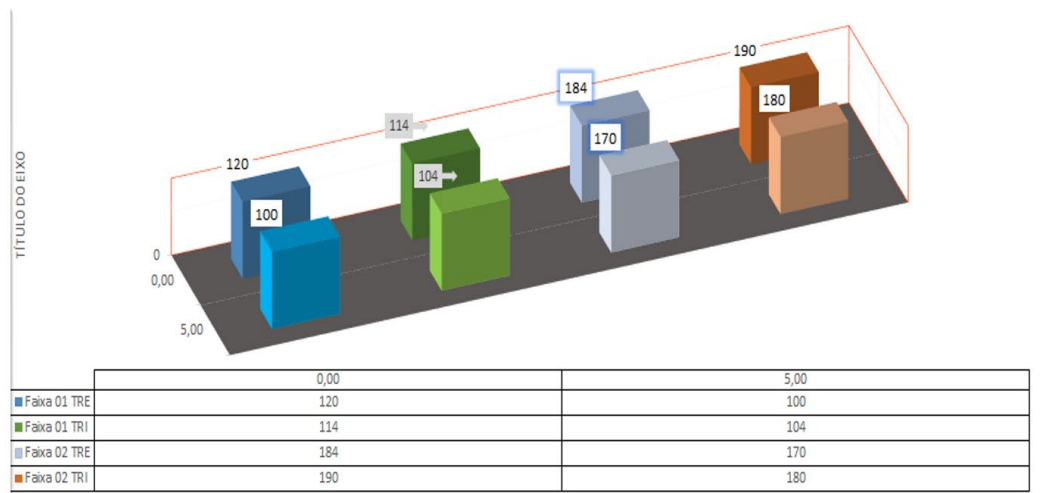
Avaliando as tensões no solo utilizando métodos numéricos, BASTOS *et al.* (2012) demonstraram que as tensões na superfície do solo têm a tendência de se concentrar ao redor do eixo vertical e abaixo do centro de aplicação da carga.

Todas as deflexões foram levantadas de estaca em estaca, em ambos lados da via, em que todas as leituras de deflexão foram interpretadas em centésimos de milímetros, sendo as leituras iniciais de cada ponto igual a 500×10^{-2} mm. O equipamento utilizado tem uma constante igual a 1,963, que foi utilizada nos cálculos de acordo com a norma DNER-ME 024/94. Para o ensaio (Figura 6), o caminhão utilizado atendia todas as exigências da norma DNER-ME 024/94, onde sua posição referente ao bordo ficou a 0,75 metros, de acordo com a largura da via de aproximadamente 3,3 metros.

Figura 6 – Ensaio com a viga benkelman.

Fonte: O autor (2023).

Na Figura 7 são mostradas as leituras das deflexões em ambos os lados da via.

Figura 7 – Leituras das deflexões em ambos os lados da via.

Fonte: O autor (2023).

Os ensaios foram realizados no mês de novembro, num período muito chuvoso, algo que é comum para o Município de Medianeira, oeste do Paraná.

As análises das deflexões de ambas faixas de rolamento de uma via devem ser interpretadas como se fossem de apenas uma, mas, dependendo do que for levantado pelo projetista no estudo de avaliação estrutural de acordo com os demais itens da norma DNER-PRO 011/79, elas podem ser consideradas por cada faixa de rolamento, se assim for mais viável, onde cada um teria seu estudo de tráfego, inclusive. Para esse estudo, o

valor N já foi considerado para ambas faixas de rolamento da pista simples projetada para a marginal, e os valores de cálculo de reforço se manterão por faixa para melhor visualizar o objetivo do estudo.

Prova de carga em placas

As provas de carga se constituem em ensaios realizados em protótipos das fundações executadas em verdadeira grandeza (Prova de Carga em Estacas) e nas suas condições de serviço ou modelos de fundações em escala reduzida (Prova de Carga em placas, Figura 8).

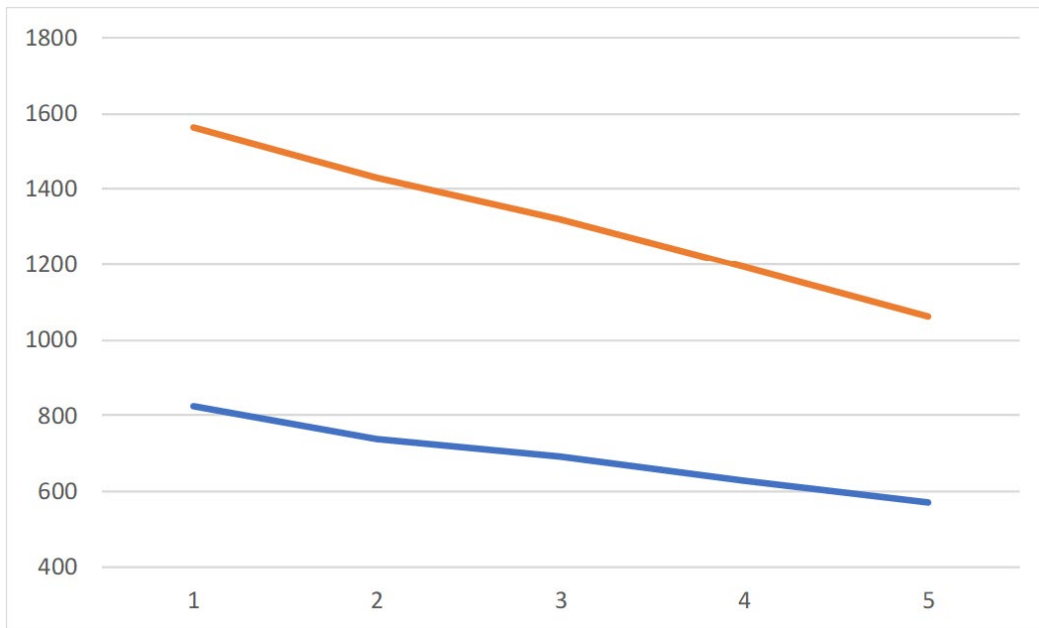
Figura 8 – Prova de carga em placas.



Fonte: O autor (2023).

Nas provas de carga, a fundação é carregada progressivamente medindo-se os deslocamentos verticais correspondentes a cada incremento de carga, sendo o seu principal objetivo, a determinação da curva carga-recalque da estaca e sua correspondente capacidade de carga, conforme Figura 9 e Figura 10.

Na Figura 9 pode-se visualizar a curva carga-recalque na trilha de rodas externa.

Figura 9 – Curva carga-recalque na trilha de rodas externa.

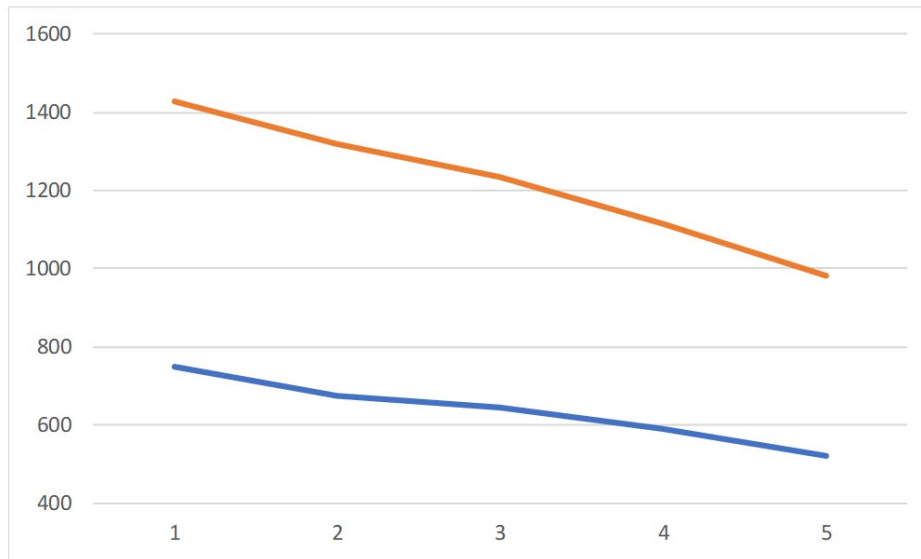
Fonte: O autor (2023).

Na Figura 10 pode-se visualizar a curva carga-recalque na trilha de rodas interna.

Analisando-se as Figuras 9 e 10 e comparando o desenvolvimento das deflexões, observa-se que os padrões de variação para as condições sem reforço e com o reforço, a partir dos quais o uso da geogrelha (Figura 11) conduz a uma pequena redução das deflexões.

Os resultados evidenciam que a inserção da geogrelha como elemento de reforço melhora a resposta do pavimento, principalmente por diminuir as tensões verticais na camada em que está inserida e conseqüentemente a deformação permanente, o que resulta no aumento da vida útil do pavimento.

De acordo com Serafim e Zampieri (2021), a partir de conhecimentos geotécnicos gerais, é possível afirmar que esse comportamento ocorre devido a maneira como as tensões se distribuem no solo, favorecendo a acomodação dos grãos quando realizada de forma gradual.

Figura 10 – Curva carga-recalque na trilha de rodas interna.

Fonte: O autor (2023).

Pereira, Oliveira e Aguiar (2017), ao realizar um estudo com o objetivo de descrever o comportamento mecânico das camadas de solo reforçadas com geogrelha, disposta em camadas distintas do pavimento, concluíram que os resultados obtidos do solo reforçado apresentaram comportamentos mecânicos melhores que os sem reforço, levando em conta a distribuição de tensões. As capacidades de suporte sofrem alterações nas aplicações do reforço com a geogrelha, acomodando resultados satisfatórios na inclusão da geogrelha, proporcionando maior suporte de carga ao solo.

Figura 11 – Instalação da geogrelha.

Fonte: O autor (2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de geossintéticos, principalmente geogrelhas, para reforço de vias pavimentadas e não pavimentadas, tem se mostrado uma técnica de elevada eficácia na melhoria da capacidade de suporte, no aumento de sua vida útil, na possibilidade de redução de consumo de materiais mais nobres no pavimento, na redução de custos e manutenção, proporcionando curto prazo de execução.

A utilização de geogrelha no reforço da camada de base proporciona a redução de deformações elásticas e permanentes observadas na superfície da seção ensaiada. Em geral, o posicionamento da geogrelha na interface com o subleito é o que mais contribui para a redução das deformações. Acredita-se que o fato seja decorrente das tensões horizontais ali observadas serem de tração, condição para a mobilização do reforço e ainda a sua contribuição ao evitar o cravamento do agregado no subleito.

As reduções relativas das deformações elásticas e plásticas decorrentes do uso do reforço determinadas na pesquisa são compatíveis com as relatadas na bibliografia.

REFERÊNCIAS

_____. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 2016.

_____. **NBR 6489**: Prova de carga direta sobre terreno de fundação – Procedimento. 2019.

ALMEIDA, M. M. da R. **Avaliação de métodos de estimativa da capacidade de carga de fundações diretas em solos não saturados**. Fortaleza, 2018. Disponível em: < <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/29818?locale=en>>. Acesso em: 07 ago. 2023.

ALONSO, U. R. **Previsão e controle das fundações**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1991.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica**. São Paulo, Oficina de Textos, 2007.

BARATA, F. E. **Uma introdução ao projeto de fundações**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1984.

BASTOS, J.B.S.; HOLANDA, A.S.; BARROSO, S.H.A. **A influência da variação da umidade na análise de pavimentos da região metropolitana de Fortaleza**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 16., 2012, Porto de Galinhas. Anais... Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG, 2012. v.1.

BONIFÁCIO, Guilherme Alves. **Propriedades geotécnicas de um solo residual de basalto na região de Guarapuava-PR**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

BORGES, Bruno da Silva. **Estudo da interação solo-geogrelha pelo método dos elementos discretos**. Brasília- DF. 2012.

CAMPOS, H. **Estatística aplicada à experimentação com cana-de-açúcar**. 1984. Piracicaba, FEALQ. 292p.

- CARMO, Cássio Alberto Teoro do; PEREIRA, Gêssica; SILVA, Taciano. **Modelos para o dimensionamento de pavimentos reforçados com geogrelhas**. Brasília, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/338924562_MODELOS_PARA_O_DIMENSIONAMENTO_DE_PAVIMENTOS_REFORCADOS_COM_GEOGRELHAS>. Acesso em: 06 ago. 2023.
- CAVARSAN, Maria Paula Guillen. **Análise dos efeitos da adição de cal e de cimento para estabilização de solos**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- CHEN, J. H; WU, J. T; Chang, Y. C. (2015). **Geogrid Reinforcement Effect on Clayey Soil Settlement**. Geotextiles and Geomembranes, 43(1), 47-54.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Boletim de logística – A importância do modo rodoviário para o Brasil**. 2022. Disponível em: <<https://ontl.epl.gov.br/wp-content/uploads/2022/10/A-Importancia-do-Modo-Rodoviario-para-o-Brasil.pdf>>. Acesso em: 03 ago. 2023.
- GIROUD, J. P; HAN, J. 2004. **Método de projeto para estradas não pavimentadas reforçadas com geogrelha**. II: Calibração e aplicações. J. Geotech. Geoambiente.
- HAN, Sang Won; KIM, Young-Jae; AHN, Seong Hwan; SEO, Woo-Keun. **Effects of triflusal and clopidogrel on the secondary prevention of stroke based on cytochrome P450 2C19 genotyping**. 2017 Sep;19(3):356-364.doi: 10.5853/jos.2017.01249. Epub 2017 Sep 29. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29037010/>>. Acesso em: 31 ago. 2023.
- KOERNER. Robert M. **Designing with Geosynthetics**. 6 ed, 2012.
- LEE, K. W; WANG, H. (2020). **Stabilization of clayey subgrade using geogrid**. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 146(2), 04019106.
- MACCAFERRI. **Geogrelhas Biaxiais**. Disponível em: <<https://www.maccafferri.com/br/>>. Acesso em: 05 maio. 2023.
- MAGALHÃES, Diogo Fellipe Vênus. **Dimensionamento de geossintético para reforço de um aterro sobre solo mole**. Pernambuco, 2019/. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/43773/7/MAGALHAES%2C%20Diogo%20Fellipe%20V%C3%AAnus.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2023.
- MARTINS, Cleber Guimarães; FORTES, Rafael Bueno. **Geogrelha como reforço de subleito: estudo de caso em Goiânia – GO**. Goiás, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/209/1/tcc_Cleber%20Martins_Rafael%20Fortes.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2023.
- MITCHELL, J. K; JAMES, R. A. (2015). **Performance of pavement foundations**. Transportation Research Board.
- GOURLEY, C. **Geogrid Installation for Optimal Subgrade Reinforcement**. Geotechnical Solutions for Soil Improvement, Rapid Embankment Construction, and Slope Stabilization. 2017. (pp. 189-213). Springer.
- PEIXOTO, Isabella. **Ensaios de caracterização em solos**. 2019. Disponível em: <<http://igeologico.com.br/ensaios-de-caracterizacao-em-solos/>>. Acesso em: 03 ago. 2023.

PEREIRA, I. de. L; OLIVEIRA, F. H. L. de; AGUIAR, M. F. P. de. **Estudo da aplicação de geogrelha em reforço de camadas granulares de pavimentos rodoviários**. XIX CILA – Congresso Ibero-Latino americano de Asfalto, Medellín.

RESENDE, Paula Tannús. **Dimensionamento geotécnico de cortina em estacas**. Minas Gerais, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/26650/13/DimensionamentoGeot%C3%A9cnicoCortina.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2023.

SANTOS, Lígia Raquel Rodrigues; SILVA, Leonete Cristina Araújo Ferreira Medeiros. **Aplicações de geossintéticos na geotecnia ambiental: análise de publicações brasileiras nos últimos 20 anos (1999 – 2018)**. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/2968/2/LIGIARRS_ART.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2023.

SANTOS, Caio Daniel Siqueira dos; DIAS, Elvis Paulo; OLIVEIRA, Fabio Raimundo Resende de; PAIVA, Mateus Darilho da Silva; COSTA, Wylgner Silva. **Determinação do tipo de fundação com base na sondagem SPT**. 2022. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/27587/1/DETERMINA%C3%87%C3%83O%20DO%20TIPO%20DE%20FUNDA%C3%87%C3%83O%20COM%20BASE%20NA%20SONDAGEM%20SPT.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2023.

SERAFIM, L; ZAMPIERI, L. Q. **Determinação do comportamento carga-recalque em solo residual fino**. Conhecimento em Construção, Joaçaba, v. 8, p. 93-118, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.unoesc.edu.br/conheconstr/article/download/27185/16177>>. Acesso em: 16 nov. 2023.

SMITH, J. R; JOHNSON, A. F; BROWN, R. S. (2019). **Geosynthetic-reinforced soil in clay soils: A review**. Geotextiles and Geomembranes, 47(5), 614-625.

Restauração e recuperação estrutural e arquitetônica de uma capela na cidade de Araraquara - SP

Caio Roberto Raymundo

Curso de Engenharia Civil 2023 da Universidade de Araraquara - UNIARA . Araraquara - SP

José Eduardo Quaresma

Curso de Engenharia Civil 2023 da Universidade de Araraquara UNIARA . Araraquara - SP

Gerson de Marco

Curso de Engenharia Civil 2023 da Universidade de Araraquara - UNIARA . Araraquara - SP

RESUMO

Este trabalho apresenta o acompanhamento desenvolvimento de projetos arquitetônicos e estruturais, da reforma da capela localizada na Santa Casa de Araraquara-SP. Para a realização deste trabalho foi necessário um processo de restauração, mantendo-se todos os meios necessários para garantir que fique o mais fiel possível a obra original, preservando toda sua história e arte.

Palavras-chave: Araraquara. arquitetônico. capela. história. projeto. restauro.

ABSTRACT

This work presents the monitoring of the development of architectural and structural projects for the renovation of the chapel located in Santa Casa de Araraquara-SP. To carry out this work, a restoration process was necessary, maintaining all the necessary means to ensure that the original work remains as faithful as possible, preserving all its history and art.

Keywords: Araraquara. architectural. chapel. history. project. restoration.

INTRODUÇÃO

O objetivo do trabalho é acompanhar o processo de uma obra de restauração da Capela da Santa Casa de Araraquara-SP. A capela fundada no ano de 1929 sofreu a ação dos anos e acabou se deteriorando. Por se



tratar de um patrimônio histórico da cidade, a Universidade de Araraquara - Uniara, em parceria com a Santa Casa, optou pela não demolição do patrimônio tão importante para a história da cidade, traça então um planejamento que envolve a preservação com projetos estruturais e arquitetônicos.

O planejamento estrutural de uma reforma envolve avaliação da estrutura existente, definição de objetivos, desenvolvimento de projetos, análise de cargas, escolha de materiais, obtenção de licenças, orçamento, cronograma, contratação de profissionais qualificados e gerenciamento de riscos. Durante a execução, inspeções regulares são realizadas para garantir conformidade com o projeto e normas, assegurando uma reforma eficaz e segura.

O planejamento arquitetônico de uma reforma compreende a análise da estrutura existente, a definição de objetivos estéticos e funcionais, o desenvolvimento de projetos arquitetônicos detalhados, a escolha de materiais e acabamentos, a consideração de aspectos de sustentabilidade, a obtenção de aprovações e licenças, a elaboração de orçamentos e cronogramas, a contratação de profissionais especializados, e a realização de inspeções periódicas durante a execução da obra. Esse processo visa garantir que as modificações estejam alinhadas com a visão estética desejada, promovam a funcionalidade adequada dos espaços e estejam em conformidade com regulamentos locais, resultando em uma reforma arquitetônica bem-sucedida.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Preservação de elementos arquitetônicos

O objetivo principal de ser restaurar uma construção, parte do princípio de conservação dos seus principais elementos que trazem características únicas, reunindo história e conceitos.

A Carta de Veneza (1964) esclarece o conceito de restauração:

Art. 9º. A restauração é uma operação que deve ter caráter excepcional. Tem por objetivo conservar e revelar os valores estéticos e históricos do monumento e fundamenta-se no respeito ao material original e aos documentos autênticos. Termina onde começa a hipótese; no plano das reconstituições conjecturais, todo trabalho complementar reconhecido como indispensável por razões estéticas ou técnicas destacar-se-á da composição arquitetônica e deverá ostentar a marca do nosso tempo. A restauração será sempre precedida e acompanhada de um estudo arqueológico e histórico do monumento

Carta do Restauo (1972) complementa o conceito de restauro em seu quarto artigo:

Art. 4. Entende-se por salvaguarda qualquer medida de conservação que não implique a intervenção direta sobre a obra; entende-se por restauração qualquer intervenção destinada a manter em funcionamento, a facilitar a leitura e a transmitir integralmente ao futuro as obras e os objetos definidos nos artigos precedentes.

Temos como objetivo principal de uma restauração o respeito ao patrimônio deve ser ressaltado, afinal, os edifício históricos são verdadeiras caixas de conhecimento, e a motivação da preservação consiste exatamente em manter esses documentos únicos, com suas qualidades próprias, consagradas pela história (SOARES *et al.*, 2013)

Análise estrutural

Cada tipo de estrutura exige um tipo de cuidado diferente, no Brasil lá desde construções indígenas feitas com os materiais disponíveis na natureza como folhas, madeira e barro, como construções de concreto que são construídas em cidades.

As anomalias de estruturas podem ser endógenas, quando se originam da própria edificação (projeto, materiais e execução) e exógena, quando relacionada a fatores externos, como fatores naturais, que são provenientes de degradação (DAVID, 2021). Na situação atual notamos que temos os dois tipos de degradação da edificação, o que torna necessário uma mistura de soluções, para que seja realizado o processo de recuperação.

Existem diversas técnicas para recuperar uma estrutura, no caso do concreto armado, existe o encamisamento da peça, que é a adição do concreto com ou sem armadura, às faces danificadas do pilar. (MARQUES, 2014). Isso será necessário para garantir melhor estabilidade e duração dos pilares já atingidos pela degradação.

Já no caso das fissuras, é necessário fazer sua classificação de acordo com o tamanho (comprimento e largura) das mesmas, antes da tomada de decisões para correção do problema. As fissuras são as aberturas com menos de 0,5 mm, as trincas são as fissuras evoluídas, com mais de 0,5 mm e as rachaduras, aberturas mais graves e preocupantes, são aquelas com mais de 1 mm (ANOINI, 2022)

Norma técnica para restauração

É essencial que sigamos as normas para que o processo de restauração ocorra dentro dos parâmetros impostos pela lei e para que o projeto siga fiel e siga como uma restauração, então de acordo com a NBR 16280 - Reformas de edificações e sistemas de gestão de reformas e requisitos, iremos seguir com diversos parâmetros apontados a seguir.

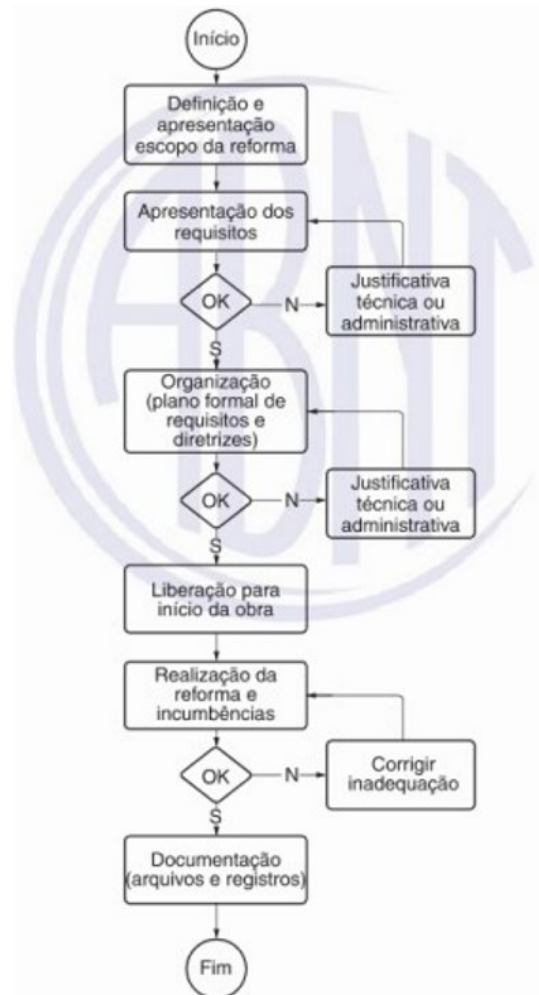
Primeiro faz-se necessário o levantamento fotográfico, como citado anteriormente neste trabalho, análise da segurança do local, e respaldo técnico para execução. Seguindo a análise de todos os pontos necessários com exigências de bombeiros, para que a reforma se enquadre nas normas de segurança atuais, já que se trata de um local que receberá muitos pessoas.

Devemos então elaborar um cronograma de reforma e planejamento de descarte dos resíduos que serão gerados, evitando problemas ao redor, já que a mesma fica presente no mesmo terreno do hospital Santa Casa.

Figura 1 - Hospital Santa Casa de Araraquara.

Fonte: internet (2023).

Juntamente com o cronograma, deve-se providenciar toda documentação necessária para que seja iniciada a obra, como contratos e documentos assinados pela prefeitura e engenheiros, aprovando a obra, e suas intervenções, nesta etapa o fluxograma e projetos, devem estar prontos para que o andamento da obra ocorra de maneira assertiva e organizada.

Figura 2 – Fluxograma de gestão de obras de reformas de edificações.

Fonte: (ABNT, 2015; NBR - 16.280).

Segundo Tirello (2020), deve-se fazer o mapa de danos que são os documentos

gráficos que trarão o real estado de conservação geral e alterações sofridas ao longo do tempo para melhor diagnóstico da situação.

É de extrema importância seguir à risca todo projeto de planejamento de obra, para garantir que sejam realizadas todas as medidas de conservação e segurança, pois, durante a concepção, pode haver equívocos nos projetos e planejamento ou erros de dimensionamento e detalhamento (REZENDE, 2018) o que impactaria negativamente em toda a estrutura da obra.

Métodos de restaurações estruturais

Devem-se levar em consideração que as estruturas não são eternas e como tempo precisam de cuidados para que não venham a deteriorar, e ruir.

Voltando para o foco da reforma da capela que foi construída no ano de 1920, temos uma construção que não possui uma fundação profunda e foi levantada com tijolos de barro, e um cimento específico da época que Segundo Sindicato Nacional do Cimento era uma mistura, calcinada em proporções certas e definidas de calcário e argila, que juntamente com a água, formava o cimento que vemos nas paredes da capela.

Na estrutura da capela, lá dois problemas bem visíveis que estão causando esse tipo de patologia, que é a movimentação do solo, devido a uma estrutura de fundação inadequada e o peso do telhado, que está sendo excessivo sobre o modelo atual da estrutura. Para que seja realizado o tratamento das mesmas, estando elas ativas, torna-se necessário o escoramento da parede e reforço de suas fundações mediante alargamento da base dos alicerces, emprego de estacas auxiliares, consolidação do solo ou outro meio (PIANCA, 2018; ANONI, 2022)

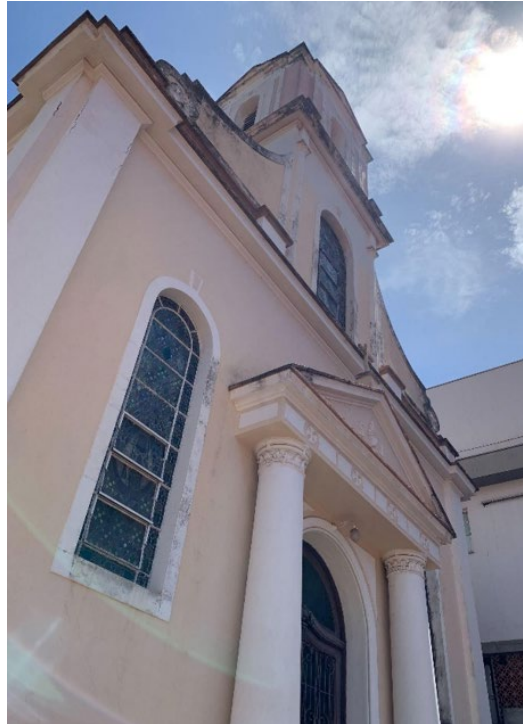
ESTUDO DA RESTAURAÇÃO E RECUPERAÇÃO ARQUITETÔNICA DE UMA CAPELA

Foi realizada uma perícia visual e de medição para início das atividades de restauro da capela, um levantamento fotográfico foi importante para ajudar a identificar locais comprometidos pela ação do tempo e verificar as próximas etapas nesse processo.

As fotografias são importantes, pois é possível compará-las com outras, mais antigas, para que assim seja notado algumas alterações mais recentes na estrutura, e o restauro se torne mais fiel à obra original.

A figura 3 ilustra a perícia visual da fachada da capela

Figura 3 – Fachada Capela Santa Casa.



Fonte – Própria (2023)

Foi notado que no interior da capela, há muitas rachaduras nas paredes e no chão o que indica que pode haver um problema na fundação, que terá que ser estudado para ser feito um reforço inicial, antes do início da restauração, garantindo segurança e longevidade à construção, e evitando novas patologias.

Segundo Schneider (2020) a análise dos parâmetros de recalque é de extrema importância para projetos de fundações, pois analisam diversos fatores que precisam ser considerados em uma fundação de edificação.

Figura 4 – Interior Capela Santa Casa.



Fonte – Própria (2023)

Nota-se que houve um comprometimento do telhado da capela, tendo uma grande perda da estrutura e da proteção que o mesmo trazia, fazendo com que as escadas e o telhado interno, em grande parte construídos em madeira, foram se deteriorando com a ação das águas e do tempo, fazendo com que insetos como cupins também se instalassem nas madeiras, causando grandes estragos em alguns pontos da construção original, que devem ser substituídas por novos componentes, respeitando a formação original.

Os cupins, insetos da ordem Isoptera, são um problema muito encontrado em edificações antigas, e um problema sério para as mesmas, podem atacar áreas com alvenaria de pedras e tijolos e suas estruturas de madeira em um modo geral. (PAIVA, 1998).

Figura 5 - Interior Capela Santa Casa.



Fonte – Própria (2023)

Inicia-se então o processo de levantamento das medidas e desenvolvimento da planta baixa para que seja realizado com precisão e avaliação das NRs que são exigidas no processo de restauro, para que tudo esteja dentro dos parâmetros corretos e seja aprovado para início das obras.

ESTUDO DA RESTAURAÇÃO E RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE UMA CAPELA

Quanto a metodologia de escoramento de paredes, será usada como referência um trabalho de restauração de igreja realizado por Ana Clara dos Anjos Torres, Thiago Bomjardim Porto, Antônio Pires Azevedo Junior e Romero Cesar: “restauração de estrutura em madeira da igreja nossa senhora do carmo em diamantina – mg: estudo de caso” (TORRES *et al.*, 2018). No referido trabalho, foi realizado uma restauração utilizando escoramento de paredes com relativa semelhança a obra em questão.

Para realizar tal intervenção, utilizando o trabalho de Torre *et al.* (2018), como

referência, os seguintes passos deverão ser tomados:

1. Identificação da área a ser reconstituída

A delimitação da área de intervenção na parede pode ser feita utilizando giz ou gesso e deve ser feita de modo que seja a menor área possível para a execução da intervenção

2. Corte de alvenaria

Realizar o corte da alvenaria utilizando o método disponível

3. Montagem do sistema de escoramento

Após o corte, deverá ser montado um sistema composto por duas pranchas paralelas com seção 5x15cm: devem ser posicionadas em sentido perpendicular a alvenaria; parafusadas aos esteios; apoiadas em suas extremidades por pilaretes de madeira.

4. Corte da região deteriorada

A base deteriorada do esteio deve ser transversalmente cortada e o sistema de escoramento estar posicionado a, no mínimo, um metro da região deteriorada.

5. Escavação para o bloco de fundação

Após isso, deverá ser realizada uma escavação para a concretagem de modo que haja espaço para posicionar formas de madeira que irão conservar o concreto de possíveis contaminação oriundas do solo

6. Concretagem do bloco e pescoço

Após a instalação das formas, a fundação de concreto deverá ser feita junto ao pescoço e à altura de 50 cm do piso, conforme a NBR 6122

7. Execução de corte e furos no esteio

A porção não deteriorada dos esteios deverá ser cortada e perfurada para receber a nova peça de madeira

8. Inserção da nova muleta

A parte não deteriorada do esteio deverá ser integrada ao pescoço de concreto utilizando chapas de aço resistente à corrosão.

9. Recomposição da alvenaria

Após a colocação das peças de madeira, o escoramento deverá ser retirado e após isso a alvenaria será recomposta.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresenta sugestões para a intervenção, com objetivo de restauração da referida Igreja. Essas sugestões foram levantadas através da análise do

método mais eficiente para ser utilizado na referida igreja, isso pois o referido método estrutural usado não irá causar danos arquitetônicos e tão pouco modificar a estrutura da igreja, porém, irá reforçar a atual estrutura com técnicas que não existiam na época.

Por fim, o referido trabalho deverá permanecerá como um guia para auxiliar na restauração da igreja e na manutenção do valor histórico, cultural e social da construção, contribuindo, assim, para a permanência da identidade sociocultural local.

REFERÊNCIAS

ANONI, Lara Guizi, *et al.* 2022, **manual sobre diagnóstico de fissuras em edificações residenciais**. Disponível em: <https://intranet.cbt.ifsp.edu.br/qualif/volume10/artigo8.pdf> < acessado em 31/05/2023>

BARBOSA, Lucas Jordano de Melo. 2022, **Persuasive Strategies of Baroque Architecture and its Particularities in a Mexican Facade Composition**, disponível em: <https://www.scielo.br/j/anaismp/a/tMLZkmmxsZnRdSk493Jgkg/?lang=pt> <acessado em 12/04/2023>

CRUZ, Talita. 2018. **A história da arquitetura no Brasil mais completa que você já viu! Dos povos indígenas até aos dias de hoje**, disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/arquitetura-no-brasil/><acessado em 10/05/2023>

DAVID, Daniel Melo. *et al.* 2021. **Principais métodos de Restauração em Estruturas de Concreto**, disponível em: e <acessado em 25/05/2023>

IPHAN. **Carta de Veneza**. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Veneza%201964.pdf> , <acessado em 31/05/2023>

IPHAN. **Carta de restauro**. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20do%20Restauro%201972.pdf> <acessado em 31/05/2023>

MARQUES, Marília Gonçalves. 2014. **Análise do comportamento de pilares de concreto armado reforçados com chumbadores e concreto auto adensável**. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/4248><acessado em 31/05/2023>

REVISTA Arte e Artistas - **O estilo barroco**. 2018 disponível em: <https://arteeartistas.com.br/o-estilo-barroco/> <acessado em 12/04/2023>

REVISTA LaArt - Arquitetura Neoclássica no Brasil: historia, Características e Obras Famosas. 2019 disponível em : <https://laart.art.br/blog/arquitetura-neoclassica-no-brasil/> <acessado em 13/04/2023>

REZENDE, Guilherme Andrade. 2018. **Recuperação de Estrutura de Concreto Armado Técnicas e Materiais para Prolongar a Vida Útil**. Disponível em: <https://www.nppg.org.br/patorreb/files/artigos/79329.pdf> ,<acessado em 14/05/2023>

SCHNEIDER, Nelson. 2020. **Recalque em Fundações**. Disponível em: <https://nelsoschneider.com.br/recalque-em-fundacoes/> <acessado em 13/04/2023>

SNIC - **Primeiras Iniciativas de Cimento Portland no Brasil**, disponível em: <http://snic.org.br/historia.php#:~:text=No%20Brasil%2C%20as%20primeiras%20iniciativas,de%20>

Cimento Portland em Perus. <acessado em 20/05/2023>

SOARES, I. S. R., & Oliveira, C. T. de A. (2013). **Preservação arquitetônica: teoria, legislação e prática**. *Revista CPC*, (15), 137-162. <https://doi.org/10.11606/issn.1980-4466.v0i15p137-162>

PAIVA, Celso Lago , 1998; **Cupins e o Patrimônio Histórico Edificado**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/313883459_Cupins_e_o_patrimonio_historico_edificado_excerto_do_capitulo <acessado em 13/04/2023>

TIRELLO, Regina Andrade. *et al.* **Sistema Normativo para Mapa de Danos de Edifícios Históricos Aplicados à Lidgerwood Manufacturing Company de Campinas**. Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/VI_coloquio_t1_sistema_normativo_mapa.pdf <acessado em 11/05/2023>

TORRES, A. C. dos A. *et al.* **Restauração de estrutura em madeira da Igreja Nossa Senhora do Carmo em Diamantina** – MG: estudo de caso. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, v. 15, n. 1, p. 85-98, jan./jun. 2019. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/49322>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

Análise numérica de vigas de concreto armado reforçadas com barras de GFRP: relação da altura útil no comportamento à flexão

Karel Alexandre Wassmer
Dayana Ruth Bola Oliveira

RESUMO

O GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*) em barras é um material compósito que apresenta vantagens, como a alta resistência à tração, baixa densidade e resistência à agentes agressivos. Essas características fazem do GFRP uma opção promissora para melhorar a durabilidade de estruturas em concreto armado. No entanto, devido ao seu baixo módulo de elasticidade, o GFRP apresenta um comportamento mecânico distinto do aço. Este estudo investiga a relação da altura útil no comportamento à flexão da estrutura. O *software* de elementos finitos ABAQUS foi utilizado para modelar 6 vigas de concreto armadas com barras de GFRP, variando a altura transversal das peças. Os resultados indicam uma relação inversamente proporcional ($r=-0,989$; $p=0,000$) entre a altura útil e a deflexão, e diretamente proporcional ($r=0,943$; $p=0,005$) com a capacidade resistente. Os valores obtidos do modelo foram comparados com estudos disponíveis na literatura e com os cálculos analíticos da norma ACI 440.1R (2015). O modelo mostrou boa concordância com os resultados experimentais e valores superiores para capacidade resistiva em relação aos cálculos analíticos. Isso sugere que a norma é conservadora em seu dimensionamento, principalmente para as vigas dimensionadas para ruptura por esmagamento do concreto, e que o modelo desenvolvido pode ser usado para reproduzir testes com fidelidade. Em conclusão, para uma mesma taxa de reforço e classe de concreto, o incremento da altura útil leva a capacidades resistentes maiores e deflexões menores, comportamento que pode ser atribuído a maior rigidez a peça, e aumento do uso da capacidade resistente do GFRP.

Palavras-chave: GFRP. concreto armado. altura útil. elementos finitos. comportamento mecânico.

ABSTRACT

GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) bars are a composite material that offers several advantages, such as high tensile strength, low density



and resistance to aggressive agents. These characteristics make GFRP a promising option to improve the durability of reinforced concrete structures. However, due to its low modulus of elasticity, GFRP exhibits distinct mechanical behavior from steel. This study investigates the relationship between effective depth and flexural behavior of the structure. The finite element *software* ABAQUS was used to model 6 concrete beams reinforced with GFRP bars, varying the transverse height of the pieces. The results indicate a linearly inversely proportional relationship ($r=-0.989$; $p=0.000$) between useful height and deflection, and directly proportional ($r=0.943$; $p=0.005$) with maximum resistant moment and rupture load. The values obtained from the finite element model were compared with studies available in the literature and with the analytical calculations of the ACI 440.1R (2015) standard. The model showed good agreement with experimental results and superior values for resistive capacity compared to analytical calculations. This suggests that the standard is conservative in its design, mainly for beams designed for concrete crushing failure, and that the developed model can be used to reproduce tests with fidelity. In conclusion, for the same reinforcement rate and concrete class, the increase in effective depth leads to higher resistive capacities and lower deflections, a behavior that can be attributed to greater stiffness of the piece and increased use of the resistive capacity of GFRP.

Keywords: GFRP. reinforced concrete. effective depth. finite elements. mechanical behavior.

INTRODUÇÃO

A construção civil é responsável por fornecer à sociedade a infraestrutura adequada para seu desenvolvimento, de acordo com suas necessidades específicas. No Brasil, o concreto armado é o método construtivo mais empregado, e por muito tempo acreditou-se que este possuía alta durabilidade, devido à falta de conhecimento em relação aos mecanismos de degradação atuantes. No entanto, com o avanço tecnológico e a precariedade observada na infraestrutura nacional, torna-se uma exigência o aumento da vida útil das estruturas, por meio do desenvolvimento de sistemas com maior durabilidade (DALFRÉ *et al.*, 2021).

A durabilidade de estruturas em concreto armado é um fator importante e deve ser abordado de forma holística, incluindo esforços de todas as partes envolvidas, da concepção até o usuário final. A durabilidade pode ser definida como a habilidade do sistema em resistir à seu ambiente de projeto durante sua vida útil, sem perder seu desempenho ou necessitar de reparos adicionais (ALEXANDER E BEUSHAUSEN, 2019).

Segundo Helene (2004), o principal fundamento para se determinar a vida útil de estruturas em concreto armado é compreender os mecanismos de degradação atuantes para classificação correta do grau de agressividade do ambiente, que deve então ser comparado diretamente com a capacidade resistiva do elemento em questão. Mazzú (2020) afirma que o principal problema de durabilidade em sistemas de concreto armado é a corrosão da armadura metálica, seja devido aos agentes agressivos à armadura, ou aos agentes agressivos ao concreto, que quando deteriorado, perde sua função de cobertura e proteção da armadura. Portanto, o desenvolvimento de sistemas alternativos ao concreto armado convencional é uma alternativa interessante, visto que hoje existem materiais que apresentam propriedades mecânicas adequadas para uso estrutural, e vantagens em

relação à durabilidade em frente à agentes agressivos (WEIBULL; BASTOS; OLIVEIRA, 2020).

Segundo a ACI 440.1R-15 (2015), os materiais compósitos conhecidos como polímeros reforçados com fibras (FRPs) são fibras contínuas envoltas em uma matriz de resina polimérica, apresentando características mecânicas desejáveis, ao mesmo tempo que podem evitar os problemas relativos à corrosão e interferência magnética.

De acordo com a ACI 440.R-07 (2007), a aplicação de barras de FRPs como reforço estrutural não deve ser restrita à mera substituição das barras de aço. É imperativo o desenvolvimento de novas configurações de dimensionamento que aproveitem ao máximo as características distintas de cada material, culminando em estruturas otimizadas. As estruturas reforçadas com GFRP, devido ao seu baixo módulo de elasticidade e comportamento elástico-linear, tendem a apresentar deflexões significativas e um modo de ruptura frágil. Consequentemente, o dimensionamento dessas estruturas é muitas vezes limitado por suas condições de serviço. Uma solução potencial para melhorar seu desempenho à flexão, é aumentar a rigidez das peças através do incremento da altura útil.

REVISÃO DE LITERATURA

GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*)

De acordo com Melo, Teixeira e Carneiro (2018), os materiais compósitos ou polímeros reforçados com fibras são compostos por uma combinação de elementos não solúveis entre si. Esses materiais consistem em um componente de reforço, como fibras de vidro, carbono, aramida ou basalto, e uma matriz polimérica que envolve o reforço. As fibras desempenham um papel crucial ao conferir rigidez e resistência ao compósito, enquanto a matriz tem a função de proteger as fibras contra umidade e ambientes agressivos, evitar a flambagem e permitir a transferência de carga entre elas.

De acordo com ACI 440.R (2007), o interesse principal da indústria da construção no uso de barras de polímero reforçado com fibras como reforço está relacionado à sua durabilidade, uma vez que essas barras não apresentam problemas de corrosão, como ocorre com o aço utilizado no concreto armado. Além disso, substituir as barras de aço convencionais por barras de GFRP resulta em uma redução de 25% no peso das barras. Isso pode tornar as estruturas mais leves, reduzindo as cargas permanentes, otimizando os processos logísticos e manuseio de elementos pré-fabricados de concreto.

Durabilidade em estruturas de concreto armado

A durabilidade pode ser definida como a capacidade de uma estrutura em manter níveis adequados de serviço e integridade estrutural sem que haja necessidade de intervenções, mesmo quando submetida a ambientes agressivos, durante sua vida útil de projeto. Os problemas de segurança e alto custo de manutenção estão ligados às estruturas que, devido à durabilidade inadequada, não atingem o final de seu tempo de serviço (PAUL; ZIJL; ŠAVIJA, 2020).

Alexander e Beushausen (2019) afirmam que mesmo estruturas bem projetadas e bem executadas se degradam, e em uma realidade onde há expectativas para estruturas que tenham vida útil cada vez maiores, a durabilidade tende a se tornar um desafio e parâmetro dominante para o projeto e execução de estruturas de concreto armado. Os autores ainda afirmam que a principal ameaça à durabilidade das estruturas em concreto armado é a despassivação da armadura de aço, que conseqüentemente leva ao comprometimento em termos de segurança, estabilidade e estética, assim como altos custos com reparos ou substituições do sistema por completo. Os mecanismos de degradação atuantes nas estruturas de concreto armado são diversos, podendo ser relativos ao concreto, à armadura ou a estrutura como um todo. Dentre estes mecanismos, destaca-se a despassivação da armadura de aço, que é a ruptura da camada de óxidos que se forma ao redor da armadura, pela ação de agentes agressivos (MAZZÚ, 2020).

Dimensionamento à flexão de vigas armadas com barras de GFRP

Em estruturas de concreto armado convencional, o dimensionamento ideal se dá quando ocorre o escoamento da barra de aço, garantindo o uso de sua capacidade resistiva e ductilidade da estrutura para fornecer segurança aos usuários. A estrutura é considerada subarmada quando a armadura utiliza toda sua capacidade resistente, e superarmada quando as tensões resultantes são muito inferiores, ocorrendo a ruína pelo esmagamento do concreto. Já nas estruturas de GFRP, a ruína é governada pela taxa de armadura balanceada, e pode acontecer pela ruptura da barra de GFRP, esmagamento do concreto na fibra mais comprimida, ou pela ação conjunta dos dois mecanismos.

Segundo Carneiro, Silva e Teixeira (2021), as barras de GFRP não apresentam patamar de escoamento, pois seu comportamento é caracterizado como elástico linear até a ruptura, portanto, ao dimensionar um elemento estrutural utilizando barras de GFRP como armadura, não se leva em consideração o escoamento das barras. A abordagem mais adequada para o dimensionamento é considerar a falha do elemento por esmagamento do concreto na região mais comprimida, pois assim a estrutura apresentará uma certa ductilidade devido à plastificação do concreto.

Para o dimensionamento à flexão de uma estrutura, é feita a majoração das ações solicitantes e minoração da capacidade resistente do material, de forma a se obter um dimensionamento mais seguro para reforços de GFRP. O tipo de ruína que governa a estrutura é dado pela taxa de armadura (ρ_f) e pela taxa de armadura balanceada (ρ_{fb}).

Quando a taxa de armadura é menor ou igual a taxa de armadura balanceada, a ruína é dada pela ruptura da barra de GFRP, de forma abrupta e frágil. Se a taxa de armadura é maior ou igual a $1,4 \rho_{fb}$, a ruína é governada pelo esmagamento do concreto na fibra mais comprimida. Caso a taxa de armadura se encontre entre estes valores de taxa de armadura balanceada, a ruína ocorre pela ruptura da barra e esmagamento do concreto, conhecida como zona de transição.

Análises experimentais com vigas de concreto armadas com barras de GFRP

Barris *et al.* (2009) realizaram um estudo experimental em 12 vigas de concreto reforçadas com barras de GFRP submetidas ao ensaio de flexão em 4 pontos. O objetivo

do trabalho foi avaliar o comportamento à flexão de curto prazo, variando a configuração de reforço e a relação altura útil por altura da peça. Foram analisadas as deformações e abertura de fissuras no Estado Limite de Serviço, e a capacidade resistiva e modo de ruptura no Estado Limite Último. Os resultados obtidos foram comparados com os cálculos analíticos provenientes das normas ACI 440.1R (2006) e Eurocode 2 (2004). Os autores encontraram que as normativas preveem razoavelmente bem o comportamento até a carga de serviço, no entanto, no estado limite último, a capacidade de carga é subestimada. Todas as amostras se comportaram de maneira linear até a fissuração e, quase linearmente entre a fissuração e a falha, com uma inclinação bastante reduzida, porém a falha ocorreu em deslocamentos expressivos. A carga experimental final é 51% e 17% maior do que o esperado de acordo com as previsões do ACI 440.1R (2006) e Eurocode 2 (2004), respectivamente.

No estudo conduzido por Carneiro, Silva e Teixeira (2021), seis vigas de concreto armado, reforçadas com barras de aço ou GFRP, foram submetidas a testes de flexão, com variação na taxa de armadura longitudinal. Os resultados indicam que as equações da norma ABNT NBR 6118 (2014) apresentaram valores teóricos da carga de ruptura mais precisos para as vigas reforçadas com GFRP, quando comparadas às formulações do guia ACI 440.1R-15 (2015). Foi observado que as vigas com barras longitudinais de GFRP apresentaram maiores aberturas de fissuras e menor rigidez à flexão do que as vigas com barras de aço, atribuído ao menor módulo de elasticidade.

Os estudos de Sá (2018) e Santos (2022), exploraram o uso de fibras de polipropileno em elementos de concreto armado reforçados com barras de GFRP. No estudo de Sá (2018), ensaios de flexão em quatro pontos foram realizados para investigar o desenvolvimento da deflexão com o carregamento, o padrão de fissuração e o comportamento momento-curvatura dos espécimes. Os resultados indicaram uma redução significativa na abertura de fissuras e melhor comportamento de múltipla fissuração nos espécimes com adição de 1% de fibras, assim como um pequeno aumento de rigidez. Santos (2022) avaliou o comportamento à flexão de vigas de concreto armado reforçadas com barras longitudinais de GFRP, com e sem a adição de macrofibras de polipropileno e armadura de confinamento. Os resultados mostraram que a adição de 1% de macrofibras de polipropileno e armadura de confinamento melhorou a capacidade de carga e conferiu maior ductilidade às vigas, além de contribuir para a diminuição da deflexão e abertura de fissuras.

Análises numéricas de vigas de concreto armado com barras de GFRP

Tejaswini e Raju (2015) desenvolveram um modelo de elementos finitos para realizar a comparação com dados experimentais de vigas de concreto com seções sem reforço, sub-reforçadas, balanceadas e super-reforçadas. As deflexões e tensões na linha central, assim como a fissuração inicial e progressiva do modelo, se comparam bem aos dados experimentais. O mecanismo de falha é modelado de forma bastante precisa e a carga de falha prevista é muito próxima da carga de falha medida durante os testes experimentais. A partir da investigação analítica, observou-se que a proporção sub-reforçada é o melhor tipo de reforço entre os outros, pois mostra a maior zona de aviso antes da falha.

No estudo conduzido por Alam e Hussein (2019), foi realizada uma análise

de elementos finitos em vigas de concreto reforçadas com GFRP, utilizando o *software* ABAQUS. O objetivo era prever a capacidade de cisalhamento de membros com diferentes valores de relação a/d , reforçadas apenas longitudinalmente. Os resultados do modelo foram então comparados com os resultados dos testes experimentais e analisados considerando o comportamento de carga-deslocamento, padrões de fissuração e cargas máximas. A comparação revelou que o modelo prevê com precisão razoável o comportamento de vigas de concreto reforçadas com GFRP. Para a viga com a proporção a/d igual a 1,5, o modelo de elementos finitos subestimou tanto a carga máxima quanto o deslocamento, o que foi atribuído à ação de arco da viga.

Mohammed e Said (2022) realizaram um estudo com o *software* ABAQUS, em que analisaram oito modelos de vigas com variáveis como espaçamento entre estribos, resistência à compressão do concreto, número de camadas de reforço e tipo de barra de reforço. Os resultados indicam que a viga GFRP, apesar de apresentar maior número e largura de fissuras, possui uma capacidade de carga final superior à viga reforçada com aço, e menor capacidade de serviço.

MATERIAL E MÉTODOS

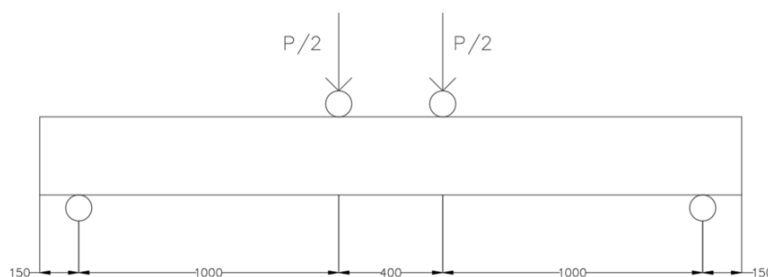
A metodologia deste trabalho foi dividida em duas etapas: a análise teórica das vigas, baseada na norma ACI 440.1R (2015), e o programa experimental, que consiste na modelagem das vigas no *software* de elementos finitos ABAQUS *Learning Edition*.

A aplicação do dimensionamento à flexão foi realizada a partir de uma planilha elaborada no *software Excel*. O objetivo era de se determinar uma seção transversal inicial que, ao realizar incrementos de altura, abrangesse diferentes valores das relações vão de corte/altura útil (a/d) e altura útil/altura (d/h), mas que também alterassem o modo de ruptura da estrutura, mantendo os outros parâmetros do ensaio constantes.

Ensaio de *stuttgart*

O ensaio de *Stuttgart*, mais conhecido como ensaio de flexão em 4 pontos, é a aplicação de duas cargas concentradas simétricas, em uma viga bi apoiada. O carregamento gradativo permite o desenvolvimento de duas zonas bem definidas de flexão pura (sem cisalhamento) e flexão simples (com cisalhamento). A figura 1 apresenta o modelo do ensaio utilizado para todas as vigas modeladas.

Figura 1 - Ensaio de 4 pontos.



Fonte: Autor (2023)

Dimensionamento à flexão

Tendo em vista o objetivo geral do trabalho, foram dimensionadas 6 vigas bi apoiadas com vão livre de 240 cm, vão de corte de 100 cm, e seção inicial de 23 x 25 cm, realizando incrementos de 5 cm na altura das peças. Foi considerado recobrimento de 38 mm, referente à condição de exposição interior, e considerado concreto com resistência à compressão de 20 MPa.

Para a configuração do reforço longitudinal, foram adotadas 3 barras de 13mm do tipo Aslan 100. O reforço transversal foi dimensionado de forma que garantisse que a falha não se daria por cisalhamento, sendo utilizadas barras de GFRP de 10mm espaçadas a cada 10 cm, também do tipo Aslan 100. As características destas barras são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades barras de Aslan 100.

Diâmetro nominal (mm)	Área nominal (mm ²)	Resistência há tração (MPa)	Resistência há tração de projeto (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Deformação máxima (%)
10	71,26	827	661,6	46	1,79
13	126,7	758	606,4	46	1,64

Fonte: Adaptado de Aslan (2019)

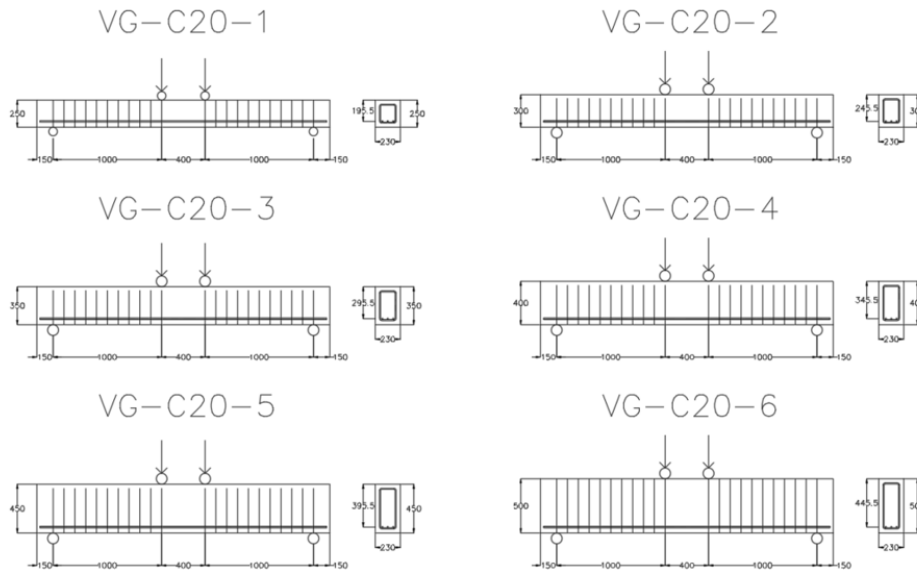
A tabela 2 apresenta os parâmetros para cada uma das vigas propostas, para as resistências de compressão do concreto de 20 MPa.

Tabela 2 - Parâmetros das vigas propostas.

	Altura, h (mm)	Altura Útil, d (mm)	Vão de corte/Altura útil (a/d)	Altura Útil/Altura (d/h)	pf	pf/pfb
VG-C20-1	250	195,5	5,1	0,78	0,008	1,914
VG-C20-2	300	245,5	4,1	0,82	0,007	1,524
VG-C20-3	350	295,5	3,4	0,84	0,006	1,266
VG-C20-4	400	345,5	2,9	0,86	0,005	1,083
VG-C20-5	450	395,5	2,5	0,88	0,004	0,946
VG-C20-6	500	445,5	2,2	0,89	0,004	0,840

Fonte: Autor (2023)

Podem ser observados os 3 tipos de ruptura, sendo as 2 seções iniciais consideradas superarmadas, 2 intermediárias em transição e as 2 finais subarmadas. As seções transversais e longitudinais escolhidas são apresentadas na Figura 2.

Figura 2 - Seções transversais e longitudinais.

Fonte: Autor (2023)

Modelagem por elementos finitos

O *software ABAQUS Learning Edition* é capaz de realizar diversos tipos de análises, como análise estática (linear ou não linear), modal, dinâmica, harmônica, entre outras. Neste estudo, foi optado pela análise estática não linear, para incluir os efeitos de plasticidade do concreto. O método de elementos finitos pode ser dividido em 2 etapas: pré-processamento e pós-processamento. Na etapa de pré-processamento, são definidas as variáveis de entrada, como a geometria e tipos dos elementos, condições de contorno e características dos materiais. Na etapa de pós-processamento são obtidos os resultados provenientes da resolução do sistema de equações que definem o comportamento da estrutura. Neste trabalho, serão somente obtidos os valores de deflexão máxima e carga no momento de ruptura. As recomendações para modelagem apresentadas no estudo de Naser, Hawileh e Abdalla (2021) foram seguidas para o desenvolvimento do modelo.

Os 3 elementos básicos no modelo de elementos finitos são a viga de concreto, o reforço de GFRP e os apoios e aplicadores de carga. Cada um destes elementos deve ser modelado utilizando os tipos apropriados que representem suas características mecânicas. A viga de concreto foi modelada utilizando o tipo de elemento denominado C3D8, composto por um cubo de 8 nós, cada um com 3 graus de liberdade. Este tipo elemento é capaz de simular a fissuração em 3 direções, esmagamento, e deformação plástica, e representa materiais com comportamento de “rocha”. O reforço longitudinal e transversal foi modelado utilizando o tipo de elementos denominado T3D2, composto por um “fio” de 2 nós com 3 graus de liberdade cada. Este tipo de elemento é capaz de transferir forças no sentido axial e simular condições não lineares como plasticidade, deflexões expressivas, fadiga e endurecimento por tensão. Os suportes e aplicadores de carga foram modelados utilizando um elemento analítico rígido, com função de transferir as condições de contorno de forma apropriada para a estrutura.

Para a definição das propriedades mecânicas do concreto, o modelo de dano

plástico (CDPM) fornecido pelo *software* ABAQUS foi utilizado. Este modelo é comumente utilizado pela comunidade científica para representar o comportamento não linear do concreto armado. Foram obtidos dados do concreto de resistência a compressão de 20 MPa do estudo de Hafezolghorani *et al.* (2017).

Os suportes foram modelados como suportes simples, um rígido e um móvel, e o carregamento foi aplicado por meio de um deslocamento vertical pontual nos aplicadores de carga.

Comparação do modelo com trabalhos experimentais

Foram selecionadas da literatura 3 vigas reforçadas com barras de GFRP (MAZZÚ, 2020; SÁ, 2018; SANTOS, 2022) com condições de ensaio similares, para que pudesse se realizar uma comparação dos resultados experimentais com o modelo de elementos finitos desenvolvido. Os dados inseridos no *software* foram os mesmos do modelo, alterando apenas as características dos materiais. Os parâmetros dos ensaios e características dos materiais utilizados estão presentes nas tabelas 3 e 4:

Tabela 3 - Parâmetros dos ensaios.

	b (mm)	h (mm)	d (mm)	a/d	d/h	pf
VG-SF-SC	150	300	253,20	3,0	0,84	0,91
VG-P1-S	150	150	118,75	3,4	0,79	2,07
VG_GFRP_45d	120	200	175	6,6	0,87	0,74

Fonte: Autor (2023)

Tabela 4 - Características dos materiais.

	f_c (MPa)	f_{fu} (MPa)	E_f (GPa)
VG-SF-SC	42,5	997,11	51,7
VG-P1-S	48,5	899,5	46,2
VG_GFRP_45d	32,8	1747,0	48

Fonte: Autor (2023)

Análise de dados

A comparação entre os resultados obtidos pelo modelo de elementos finitos com o modelo de cálculo da norma e ensaios experimentais foi calculada através do coeficiente de variação. A distribuição dos dados obtidos do modelo de elementos finitos foi testada usando o teste de *Shapiro Wilk*. Foi feita correlação entre altura útil e deflexão, momento e força. Para os dados paramétricos (deflexão), foi utilizado a correlação de Pearson. Já para os dados não paramétricos (momento e força), a correlação de *Spearman* foi utilizada. O nível de significância adotado foi de $p \leq 0,05$. Os dados foram tratados através do *software Statistical Package for Social Sciences* (IBM® SPSS 20.0®).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparação do modelo com resultados experimentais

A comparação entre os dados obtidos do modelo de elementos finitos e os dados obtidos experimentalmente estão apresentados na tabela 5.

Tabela 5 - Comparação entre dados experimentais e modelo de elementos finitos.

	Experimental			Elementos Finitos			Experimental/Elementos Finitos		
	P (kN)	M _n (kN.m)	Δ (mm)	P (kN)	M _n (kN.m)	Δ (mm)	P (kN)	M _n (kN.m)	Δ (mm)
VG-SF-SC	158,65	60,29	32,38	171,35	65,11	31,5	0,93	0,93	1,03
VG-P1-S	88,9	17,78	35,5	93,34	18,67	35,05	0,95	0,95	1,01
VG_GFRP_45d	35,6	40,94	65,8	38,57	44,35	64,5	0,92	0,92	1,02
Média							0,93	0,93	1,02
Desvio Padrão							0,02	0,02	0,01
C.V.							0,02	0,02	0,01

Fonte: Autor (2023)

Os valores de capacidade resistente superiores obtidos pela análise numérica podem ser explicados pela micro fissuração das vigas experimentais, comportamento que não é reproduzido no modelo. Apesar disto, a comparação apresentou boa conformidade, com coeficiente de variância de 0,02 para a capacidade resistente e 0,01 para a deflexão. Isso sugere que o modelo de elementos finitos pode ser utilizado para reproduzir condições de ensaios experimentais com fiabilidade.

Resultados do ensaio de Stuttgart

Os valores obtidos através da norma ACI 440.1R (2015) e os valores obtidos pelo modelo de elementos finitos para momento máximo, força máxima e deflexão, são comparados na tabela 6.

Tabela 6 - Comparação entre ACI 440.1R (2015) e modelo de elementos finitos.

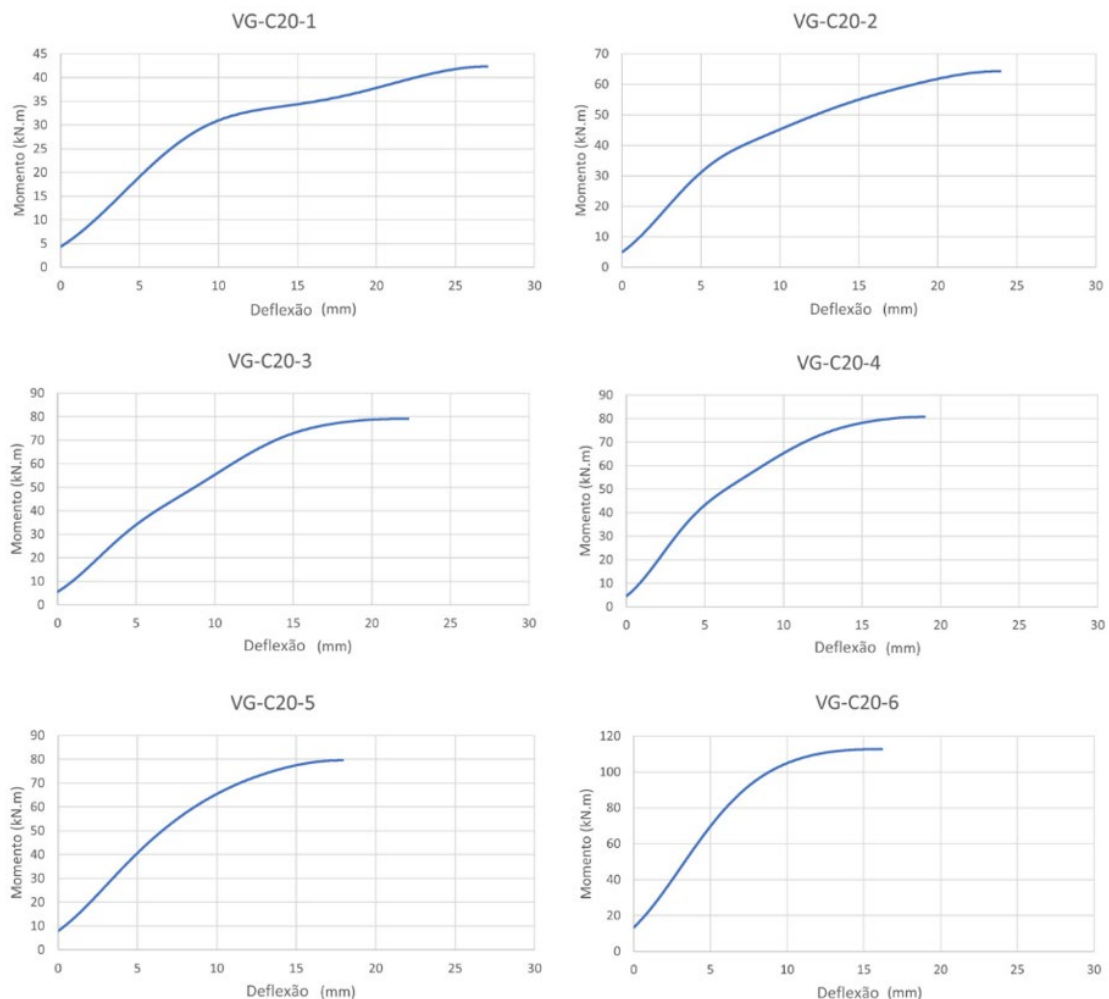
	ACI 440.1R (2015)			Elementos Finitos			Experimental/ Elementos Finitos		
	M _n (kN.m)	P (kN)	Δ (mm)	M _n (kN.m)	P (kN)	Δ (mm)	M _n (kN.m)	P (kN)	Δ (mm)
VG-C20-1	28,03	56,07	27,81	42,33	84,66	26,93	1,51	1,51	0,97
VG-C20-2	40,49	80,99	24,66	64,25	128,50	23,72	1,59	1,59	0,96
VG-C20-3	49,56	99,12	19,94	79,18	158,36	21,98	1,60	1,60	1,10
VG-C20-4	67,75	135,50	19,80	80,81	161,63	18,99	1,19	1,19	0,96
VG-C20-5	83,98	167,96	18,41	79,57	159,15	17,82	0,95	0,95	0,97
VG-C20-6	94,59	189,19	15,83	112,79	225,57	16,17	1,19	1,19	1,02
Média							1,34	1,34	1,00
Desvio Padrão							0,27	0,27	0,06
C.V.							0,20	0,20	0,06

Fonte: Autor (2023)

Percebe-se que os valores provenientes do modelo de elementos finitos para momento máximo e carga máxima são superiores aos valores obtidos pelos cálculos analíticos da norma, cerca de 55% para as vigas dimensionadas para o esmagamento do concreto, 40% para as vigas dimensionadas para ruptura balanceada, e 7% para as vigas dimensionadas para ruptura das barras de GFRP. Isso condiz com os estudos de Barris *et al.* (2009) e Carneiro, Silva e Teixeira (2021), que encontraram médias de 51% e 57%, respectivamente. Para as vigas com relação a/d menores, Alam e Hussein (2019) encontraram que o modelo de elementos finitos subestima a capacidade resistente e deflexão das vigas, devido ao efeito de arco no concreto. Isto pode explicar o resultado de capacidade resistente menor apresentado pela viga VG-C20-5, apesar da capacidade resistente superior apresentada pela VG-C20-6. As deflexões apresentaram boa concordância com a norma, o que foi também observado por Toutanji e Deng (2003).

As figuras 3 apresentam as curvas de momento-deflexão das vigas ensaiadas, obtidas do *software* ABAQUS *Learning Edition*.

Figura 3 - Curvas momento-deflexão.



Fonte: Autor (2023)

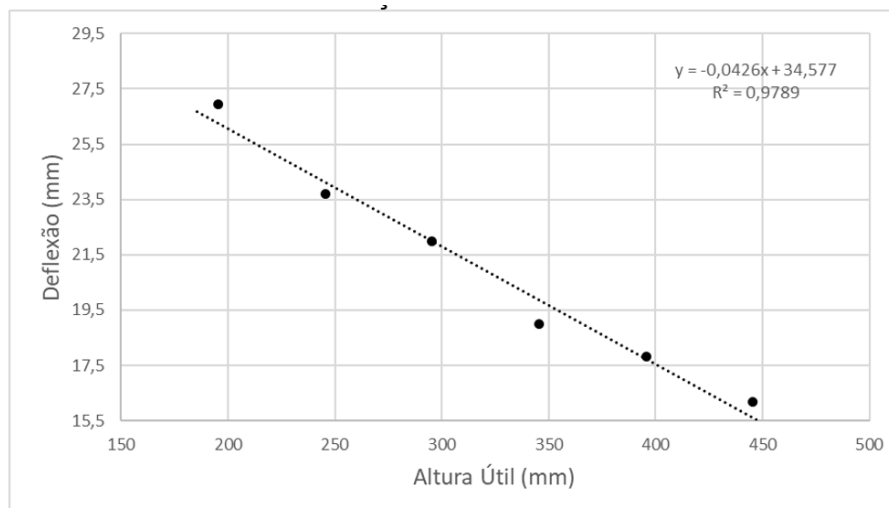
A partir da análise das curvas, nota-se que as vigas de concreto armadas com barras de GFRP apresentam 2 estágios bem definidos: o primeiro com o concreto não fissurado em regime elástico até a fissuração, e o segundo com o concreto fissurado e armadura em regime linear até a ruptura. No primeiro estágio, o concreto é o principal

responsável pela resistência aos esforços solicitantes, já no segundo estágio, a resistência é governada pela armadura de GFRP. Este comportamento é usual e foi observado nos outros trabalhos apresentados na revisão de literatura. Também pode ser observado que, à medida que a altura útil aumenta, a deflexão máxima diminui, em uma média de 10% de redução a cada 5 cm, e percebe-se um comportamento mais “dúctil”. Isto condiz com os estudos de Tejaswini e Raju (2015) e Carneiro, Silva Teixeira (2021), que encontraram que seções com menor taxa de reforço apresentam maior aviso antes da falha e maior índice de ductilidade, porém é contrário a recomendação da ACI 440.1R (2015), que afirma que a ruptura mais desejável para o material é a ruptura por esmagamento do concreto, devido a sua plastificação.

RELAÇÃO DA ALTURA ÚTIL NO COMPORTAMENTO À FLEXÃO

Os valores de deflexão, momento resistente e carga máxima foram correlacionados com a altura útil, para se entender a relação da variável nesses parâmetros. Foi encontrada correlação entre a altura útil da viga e sua respectiva deflexão ($r = -0,989$; $p = 0,000$). O Gráfico 1 apresenta a distribuição desses dados.

Gráfico 1 - Correlação entre Altura Útil e Deflexão.



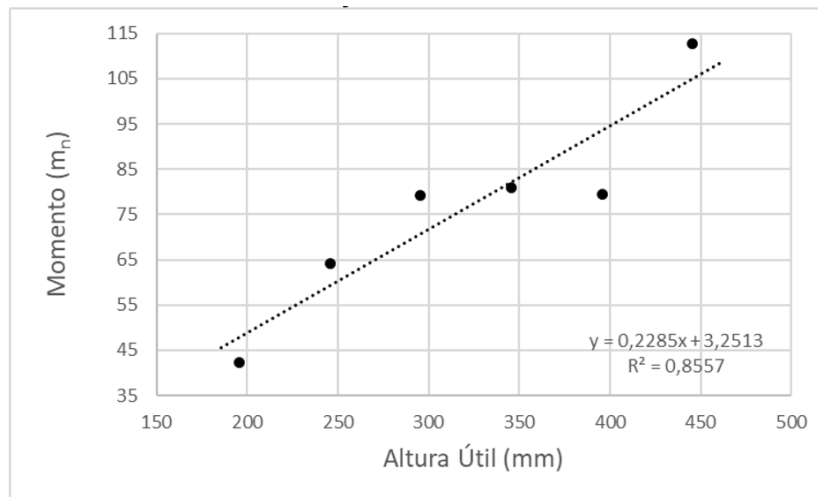
Fonte: Autor (2023)

Isso mostra que a altura útil tem uma relação inversamente proporcional com a deflexão máxima da viga, que pode ser explicado pelo aumento de rigidez da peça. Para uma mesma taxa de armadura, o incremento da altura útil leva a deflexões menores, resultado também encontrado por Barbosa *et al.* (2023). Dessa forma, o uso de seções transversais com maior altura é uma opção para reduzir as deflexões computadas, de forma a cumprir os requisitos de Estado Limite de Serviço. Sá (2018) afirma que a adição de 1% de macro fibras de polipropileno causou um aumento de rigidez da ordem de 13%, resultado também encontrado por Santos (2022) ao adicionar 1% de macro fibras e uso de armadura de confinamento. Os autores buscaram melhorar o comportamento à flexão sobre cargas de serviço, e uma solução interessante pode ser a utilização das duas metodologias em conjunto.

Também foi encontrada correlação entre a variável altura útil e as variáveis momento

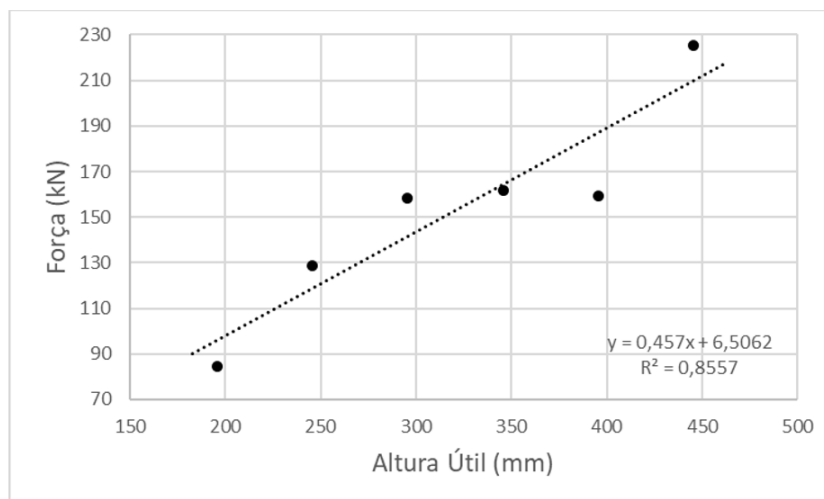
($r = 0,943$; $p = 0,005$) e força ($r = 0,943$; $p = 0,005$) apresentados nos gráficos a seguir:

Gráfico 2 - Correlação entre Altura Útil e Momento.



Fonte: Autor (2023)

Gráfico 3 - Correlação entre Altura Útil e Força.



Fonte: Autor (2023)

Pela análise dos gráficos, percebe-se que a altura útil tem relação diretamente proporcional com o momento máximo e força máxima resistidos pela viga. O resultado da viga VG-C20-5 apresentou o único valor subestimado em relação a norma, que pode ser atribuído ao efeito de arco que ocorre em vigas com relação a/d menos do que 2,5, porém não explica o valor superestimado da VG-C20-6, que possui relação a/d ainda menor. Estes efeitos foram observados por Stoner (2015) e Alam e Hussein (2019). Para uma mesma taxa de reforço, o aumento da altura útil da peça leva a maiores capacidades resistentes, o que condiz com o estudo de Barbosa *et al.* (2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do trabalho era de investigar a relação entre a altura útil no comportamento à flexão em vigas de concreto armado reforçadas com GFRP, com intuito de melhorar seu desempenho pelo aumento da rigidez da peça. Para isso, foi desenvolvido um modelo de elementos finitos que representasse fielmente as condições de ensaio, a fim de simular vigas com diferentes alturas úteis.

Foram avaliados a carga máxima, momento máximo e deflexão máxima. Todas as vigas apresentaram comportamento bi linear até a falha, sendo dois estágios bem definidos. O primeiro estágio é do concreto não fissurado em regime elástico linear até a fissuração, onde se dá início o segundo estágio, no qual o reforço de GFRP é responsável por resistir aos esforços solicitantes, também em regime linear até a ruptura. Os modos de falha previstos variam da ruína por compressão do concreto, para a viga de seção transversal inicial, até a ruína por ruptura da barra, para a viga com altura máxima.

Conclui-se que o modelo de elementos finitos desenvolvido pode ser utilizado para reproduzir ensaios experimentais, e que os modelos de cálculo propostos pela norma ACI 440.1R (2015) apresentam valores subestimados para a capacidade resistente (cerca de 34%), principalmente para as vigas dimensionadas para a ruptura por esmagamento do concreto (cerca de 55%). Além disso, observa-se que para uma mesma taxa de reforço e resistência à compressão do concreto, o aumento da altura útil leva a capacidades resistentes maiores e menores deflexões. Esta relação pode ser atribuída a maior utilização da capacidade resistente do GFRP e do aumento de rigidez da peça.

Trabalhos futuros com GFRP podem investigar o incremento da altura útil, aliados ao uso de concretos mais resistentes, armadura de confinamento e adição de 1% macrofibras de polipropileno, de forma a melhorar substancialmente o comportamento à flexão no Estado Limite de Serviço.

REFERÊNCIAS

_____. ACI COMMITTEE 440.R. **Report on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures**. 2007.

_____. ACI COMMITTEE 440.1R. **Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars**. 2015.

ALAM, Md S.; HUSSEIN, A. 3D-Finite Element Analysis (FEA) of Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Reinforced Concrete Members. *In*: 2019 8th International Conference on Modeling Simulation and Applied Optimization (ICMSAO). IEEE, 2019. p. 1-4.

ALEXANDER, M., & BEUSHAUSEN, H. Durability, service life prediction, and modelling for reinforced concrete structures – review and critique. **Cement and Concrete Research**, v. 122, p. 17–29, 2019.

ALI, N. K. S.; MAHFOUZ, S. Y.; ARMER, N. H. Flexural Response of Concrete Beams Reinforced with Steel and Fiber Reinforced Polymers. **Buildings**, v. 13, n. 2, p. 374-392, 2023.

BARBOSA, F. A. S. *et al.* Flexural design of concrete beams reinforced with FRP rebars. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 16, no. 4, e16403, 2023.

BARRIS, C. *et al.* An experimental study of the flexural behaviour of GFRP RC beams and comparison with prediction models. **Composite Structures**, v. 91, n. 3, p. 286-295, 2009.

CARNEIRO, L. A. V.; SILVA, R. C. B.; TEIXEIRA, A. M. A. J. Comportamento de vigas de concreto armadas com barras de GFRP. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.3, p.207-223, 2021.

DALFRÉ, *et al.* Analysis of the bond stress when using GFRP bars. **Holos**, v. 5, p. 1-17, 2021.

DALFRÉ, G. M.; FERREIRA, F. G. S.; MAZZÚ, A. D. E. Dimensionamento de vigas de concreto armadas à flexão com barras não metálicas. **CONCRETO & Construções**, Ed. 98, p 72-78, 2020.

HAFEZOLGHORANI, M. *et al.* Simplified damage plasticity model for concrete. **Structural engineering international**, v. 27, n. 1, p. 68-78, 2017.

HELENE, P. (2004). **A NOVA NB1/2003 (NBR6118) E A VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO** (Vol. 170).

MELO, R. H.; TEIXEIRA, A. M. A. J.; CARNEIRO, L. A. V.. Vigas de concreto armado reforçadas à flexão com barras de aço e FRP no cobrimento do concreto. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n.3, p. 234-250, 2018.

MAZZÚ, A. D. E. **Estudo sobre a substituição de armadura metálica por barras de GFRP em vigas de concreto armadas à flexão quando submetidas ao ataque**

acelerado de íons cloreto. 2020. 190 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.

MOHAMMED, S. A.; SAID, A. I. Analysis of concrete beams reinforced by GFRP bars with varying parameters. **Journal of the Mechanical Behavior of Materials**, v. 31, n. 1, p. 767-774, 2022.

NASER, M. Z.; HAWILEH, R. A.; ABDALLA, J. Modeling Strategies of Finite Element Simulation of Reinforced Concrete Beams Strengthened with FRP: A Review. **Journal of Composites Science**, v. 5, n. 19, p 1-15, jan. 2021.

PAUL, S. C., VAN ZIJL, G. P. A. G., & ŠAVIJA, B. Effect of fibers on durability of concrete: A practical review. **Materials**, v. 13, n. 20, p. 1–26, 2020.

SÁ, F. R. G. de. **Influência da adição de fibras de polipropileno no comportamento de elementos estruturais de concreto armado com barras de GFRP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2018.

SANTOS, J. D. d. **Estudo do comportamento à flexão de vigas de concreto com fibras sintéticas armadas com barras de polímero reforçado com fibras de vidro**. 2022. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) – Programa De Pós-Graduação Stricto Sensu Em Sistemas De Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2022.

STONER, J. G. **Finite Element Modelling of GFRP Reinforced Concrete Beams**. Thesis (Master of Applied Science in Civil Engineering) - University of Waterloo, Waterloo, 2015.

TEJASWINI, T.; RAJU, DR. M. V. R. Analysis of RCC Beams using ABAQUS. **International Journal of Innovations in Engineering and Technology (IJJET)**, v. 5, n. 3, p. 248-255, jun. 2015.

TOUTANJI, H.; DENG, Y. Deflection and crack-width prediction of concrete beams reinforced with glass FRP rods. **Construction and Building Materials**, v. 17, n. 1, p. 69-74, 2003.

WEIBULL, J. K.; BASTOS, C. C. D. O.; OLIVEIRA, L. O. S. B. DIMENSIONAMENTO DE UMA PASSARELA UTILIZANDO CONCRETO COM ARMADURA NÃO METÁLICA. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, v. 3, n. 3, p. 16-37, 2020.

Utilização de equipamentos de proteção individual (EPI's) na construção civil

Use of personal protective equipment (PPE) in civil construction

Alan Felipe Costa Comin

orcid.org/0000-0002-9341-0417

Daniel Gobato Röhm

orcid.org/0000-0002-4412-6356

Fabiana Florian

orcid.org/0009-0003-3763-2634

RESUMO

Os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) tem a finalidade de trazer a proteção dos trabalhadores em relação aos possíveis riscos à sua saúde e segurança individual, eles devem ser empregados quando não há impossibilidade de um controle mais efetivo que levaria à eliminação de riscos de acidentes de trabalho. Nos canteiros de obra observa-se que a falta de utilização dos EPIs permanece sendo uma das principais causas com maior índice de gravidade aos acidentes de trabalho na construção civil, embora exista inúmeros riscos vinculados e esse ambiente de trabalho. O estudo buscou exaltar a importância do uso de equipamentos de proteção individual durante a execução das atividades e a aplicação das normas de segurança que devem ser seguidas no cotidiano no setor da construção civil. Conclui-se, que apesar da disponibilização de informações, treinamentos e capacitações ainda há resistência por parte de alguns profissionais quanto ao uso do EPIs, portando cabe a empresa fiscalizar e conscientizar cada vez mais esse uso.

Palavras-chave: conscientização. EPI's. construção civil.

ABSTRACT

Personal Protective Equipment (PPE) has the purpose of protecting workers in relation to possible risks to their individual health and safety, they should be used when there is no impossibility of a more effective



control that would lead to the elimination of risks of work accidents. On construction sites, it is observed that the lack of use of PPE remains one of the main causes with the highest severity of occupational accidents in civil construction, although there are numerous risks linked to this work environment. It is concluded that despite the availability of information, training and qualifications, there is still resistance on the part of some professionals regarding the use of PPE, so it is up to the company to increasingly monitor and raise awareness of this use.

Keywords: Awareness. PPE's. civil construction.

INTRODUÇÃO

Desde os primórdios até os dias de hoje a indústria da construção civil é uma das áreas fundamentais para a economia do Brasil, pois emprega um volume significativo de trabalhadores, em suas mais diversas atividades e especificidades. Se tratando de saúde e segurança do trabalho, se apresenta como um dos setores mais perigosos para seus trabalhadores, podemos observar isto analisando a Anuário estatístico de acidentes de Trabalho (2017 p.15) onde em 2017 foram registrados 98.791 casos com CAT aberta, isto se dá porque oferece baixas condições de segurança e apresenta diversos tipos de riscos aos colaboradores no dia-a-dia.

A quinta lei criada no Brasil para tratar de acidentes no trabalho foi a Lei nº 5.316, promulgada em 14 de setembro de 1967. Esta restringiu o conceito de doença do trabalho, excluindo as doenças degenerativas e as inerentes a grupos etários. O Novo Regulamento do Seguro de Acidentes do Trabalho foi aprovado pelo Decreto nº. 61.784, em 28 de novembro de 1967. No mesmo ano, ocorreram 16 alterações importantes na legislação de acidentes de trabalho no Brasil. Uma dessas alterações foi a transferência da responsabilidade do SAT para a Previdência social, tornando-o um requisito estatal e reforçando sua obrigatoriedade para as empresas. Anteriormente, o SAT era responsabilidade das seguradoras privadas. Além disso, o novo regulamento introduziu o conceito de acidente de trajeto e enfatizou a importância da prevenção de acidentes e reabilitações profissionais (BRAGA & PAULA, ANDRADE, 2001).

Considerando que as condições reais dos canteiros de obra já se mostram como riscos para o trabalhador, a baixa qualificação dos trabalhadores, a falta de treinamentos e o uso inadequado dos equipamentos de proteção individual (EPI) são fatores que contribuem para o problema de segurança nas obras. (ARAÚJO; JÚNIOR, 2018).

Este trabalho busca despertar a importância da segurança do trabalho na construção civil, almejando à politização das organizações acerca do tema, mostrando que a prevenção por meio do uso de (EPI) representa qualidade e segurança nos trabalhos realizados, constituíram as principais motivações para a elaboração deste projeto.

Os dados apresentados sugerem que sempre a segurança do trabalho é tida como prioridade, expondo os colaboradores a riscos que podem causar acidentes, neste contexto a questão da pesquisa visa responder: Como o uso de EPI'S na construção civil impacta na

qualidade e segurança dos trabalhos?

O objetivo geral do trabalho é apresentar a importância da utilização de EPI'S na construção civil, os objetivos específicos são: descrever os EPI'S na indústria de construção civil que contribuem efetivamente para o bom andamento do labor no canteiro da obra civil.

Foi realizada pesquisa bibliográfica sobre o tema EPI'S por meio das bases de dados SCIELO e Google Acadêmico no período de 2018 a 2022.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os operários da indústria da construção civil estão expostos a variados tipos de acidentes. Caso não haja o devido cuidado, tais acidentes ocasionais podem pôr em risco a segurança dos trabalhadores. Um dos principais motivos para isso ocorrer é o fato de os operários não utilizarem os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), seja por desconforto, falta de treinamento, condutas inadequadas ou falta de consciência acerca da sua importância.

Segundo a Confederação Nacional dos Trabalhadores na Indústria da Construção e do Mobiliário (Contricon), os números de acidentes de trabalho na área de construção civil são alarmantes e são resultado da falta de treinamento e do uso de equipamentos de proteção nas obras. Além disso, é importante ressaltar que a maioria das tarefas executadas durante uma obra envolve atividades potencialmente arriscadas, como trabalho em altura e manipulação de equipamentos e substâncias químicas, demandando assim uma atenção redobrada em sua utilização.

O Decreto de Lei nº 5452 de 1º de maio de 1943, incluído na Consolidação das Leis do Trabalho publicado na qual o Capítulo V fala sobre a Segurança e a Medicina do Trabalho, mais especificamente no Art. 60 rege a obrigatoriedade do empregador fornecer o EPI ao empregado. (BRASIL, 1943)

Quando é necessário controlar o risco no trabalhador, isso é feito utilizando-se os equipamentos de proteção individual: (EPI). Neste caso o trabalhador é obrigado a utilizá-lo, conforme especifica a Norma Regulamentadora (NR) de número 6 – Equipamento de Proteção Individual - EPI (BRASIL, 2018).

Para Moterle (2014) o setor da construção civil é apontado como o responsável por inúmeros acidentes de Devido à constante exposição dos trabalhadores a diversos fatores de risco, o ambiente de trabalho precisa ser repensado no que diz respeito à segurança e prevenção de acidentes. Medidas preventivas devem ser implantadas, acompanhadas por um profissional de segurança, para garantir o bem-estar dos trabalhadores. Conforme o artigo 19 da Lei no 8.213, de 24 de julho de 1991, define-se como acidente de trabalho aquele que ocorre enquanto o indivíduo está exercendo suas funções para uma empresa, empregador doméstico ou como segurado especial, resultando em lesão corporal ou perturbação funcional, temporária ou permanente. Os efeitos deste tipo de acidente podem variar desde um simples afastamento até a perda ou redução da capacidade de trabalho, podendo até mesmo levar à morte do segurado (ANUÁRIO DE ACIDENTES, 2017).

Foram registrados cinco milhões de acidentes de trabalho no Brasil entre 2007 e 2013, segundo o Anuário Estatístico da Previdência social. Os dados também mostraram que a construção civil é o quinto setor econômico com o maior número de acidentes e o segundo mais letal aos trabalhadores.

A participação da construção no total de acidentes de trabalho fatais no país passou de 10% em 2007 para 16% em 2013, Se referindo por uma média de 450 mortes por ano, ou seja, cerca de uma por dia.

O principal preceito da Segurança do Trabalho é a prevenção. Ao analisar com antecedências os possíveis riscos ambientais, pode-se prevenir contra riscos já conhecidos e, através da implementação de alguns recursos técnicos, materiais e humanos, estruturar a atividade de forma a reduzir os impactos degenerantes que ambas as partes podem sofrer (SESI, 2008). Para ser possível atingir os chamados níveis ideais de segurança no trabalho, tem-se que seguir as exigências apresentadas nas normas regulamentadoras.

A secretaria do trabalho (antigo MTE) mede as Normas Regulamentadoras de segurança e saúde do trabalho, visando à regulamentação e a definição de parâmetros de observância obrigatória, no que tange o trabalhador e o ambiente de trabalho.

A saúde e segurança ocupacional podem ser definidas como um conjunto de medidas que visam prevenir diversas doenças e acidentes de trabalho (MELO, 2001), onde podem ser utilizadas para identificar e reduzir riscos relacionados ao ambiente de trabalho e ao meio ambiente. Processo, incluindo equipamentos, métodos de processamento e materiais apropriados.

Bozza (2010) explica que a segurança ocupacional é responsabilidade do setor corporativo, pois as organizações buscam cada vez mais reduzir os riscos potenciais aos quais seus funcionários podem estar expostos, mesmo quando há progresso. onde podem ser usados para identificar e mitigar riscos associados ao ambiente de trabalho e ao processo de produção, incluindo equipamentos, métodos de manuseio e materiais adequados.

Os EPI's garantem quem os trabalhadores executem suas atividades de uma forma mais segura. A melhoria na segurança do trabalho, além de aumentar a produtividade, diminui possíveis custos com interrupções do processo e acidentes e/ou doenças ocupacionais. Portanto, quando utilizados corretamente, equipamentos de proteção individual mais confortáveis aumentam a segurança desses profissionais.

Existem vários motivos pelos quais os trabalhadores da construção civil não utilizam equipamentos de proteção. Porque acham os aparelhos desconfortáveis, difíceis de usar e/ou muito quentes (CIZS, 2015). Atividades que podem reduzir a produtividade e, assim, aumentar o risco de acidentes de trabalho.

Pelloso e Zandonadi (2012) argumentam que alguns dos motivos de resistência ao uso de EPIs são a insatisfação com o desconforto, como capacetes que aquecem a cabeça e cintos de segurança que restringem os trabalhadores no trabalho em altura e restringem a movimentação Pontos de fixação durante as atividades, a baixa sensibilidade das mãos devido ao uso de luvas, etc. são alguns dos motivos que levam à retirada dos equipamentos durante as atividades. Esses hábitos de trabalho podem prejudicar a produtividade, aumentando assim o risco de acidentes de trabalho (CIZS, 2015).

Segundo Klöckner *et al.* (2000), as empresas investem pesadamente na compra de EPI, mas segundo os autores, existe uma lacuna: a maioria dos funcionários não utiliza EPI e, mesmo que o façam, fazem uso inadequado. De acordo com Takahashi *et al.* (2012, p. 985) “Os trabalhadores da construção civil têm sido tradicionalmente vistos como pertencentes a um grupo de trabalho resistente às normas de segurança e com forte aversão ao uso de equipamentos de proteção individual. São fatores que tornam os trabalhadores mais vulneráveis a acidentes.

DESENVOLVIMENTO

Com os EPI's disponíveis para o trabalhador torna-se mais fácil a prática de atividades e execução do trabalho de maneira mais segura. Por mais rudimentar que seja o uso dos itens acima, é inegável que em um ambiente com tantas pessoas, como um canteiro de obras, é difícil garantir que todos estejam fazendo o trabalho corretamente.

Segundo Junior (2022), “Ruído, vibração, poeira e contato com substâncias químicas são combatidos, via de regra com equipamentos de proteção individual (EPI'S).” Por isso é importante capacitar todos os profissionais, garantindo que cada um deles utilize corretamente os equipamentos de proteção individual, mas também compreenda a sua importância. (GOULART, 2017)

A tabela 1 abaixo, traz os principais EPI's a serem utilizados e seus grupos de proteção:

GRUPOS	EQUIPAMENTOS
A - PROTEÇÃO DA CABEÇA	Capacete Capuz
B - PROTEÇÃO DOS OLHOS E FACE	Óculos, Protetor facial Máscara de Solda
C - PROTEÇÃO AUDITIVA	Protetor auditivo
D - PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA	Respiradores
E - PROTEÇÃO DO TRONCO	Vestimentas de segurança
F - PROTEÇÃO DOS MEMBROS SUPERIORES	Luva, Creme protetor, Manga Braçadeira, Dedeira
G - PROTEÇÃO DOS MEMBROS INFERIORES	Calçado, Meia Perneira, Calça
H - PROTEÇÃO DO CORPO INTEIRO	Macacão, Conjunto Vestimenta de corpo inteiro
I - PROTEÇÃO CONTRA QUEDAS COM DIFERENÇA DE NÍVEL	Dispositivo trava-queda Cinturão

Fonte: Google Imagens.

Os Equipamentos de Proteção Individual devem ser fornecidos gratuitamente por qualquer empresa. De acordo com o item 6.6.1 da norma NR 06, o Os Equipamentos de Proteção Individual devem ser fornecidos gratuitamente por qualquer empresa. De acordo com o item 6.6.1 da norma NR 06, o O empregador pode e deve exigir que seus empregados utilizem equipamentos de proteção individual se os equipamentos de proteção.

RESULTADOS

Conhecendo sobre as normas regulamentadoras de EPI's e da importância do seu uso, abaixo será apresentado os EPI's a serem utilizados e seus benefícios.

As Luvas de látex (figura 1) são equipamentos utilizados para proteger as mãos de agentes cortantes e perfurantes e são muito importantes para os trabalhadores da construção civil. As luvas são utilizadas para proteger a saúde de serralheiros, carpinteiros, pedreiros e demais profissionais expostos. Existe uma luva adequada para cada ocasião; O não cumprimento desta recomendação pode resultar em úlceras, reações alérgicas simples ou até queimaduras mais graves nas mãos. Porém, a escolha depende do risco ao qual o colaborador está exposto.

Figura 1 - Luva de látex.



Fonte: Google imagens

Para operários, como carregadores, serralheiro e ajudante, por exemplo, seriam recomendadas luvas de vaqueta (figura 2), também conhecidas como luvas de couro, que é um EPI indicado, também para trabalhos com carregamento de mercadorias, que é o caso dos vergalhões individual forem compatíveis com os riscos associados a cada atividade. Você tem o direito de solicitá-lo e o funcionário tem o dever de utilizá-lo.

Segundo a NR 06, intitulada como Equipamento de Proteção Individual, entende-se por EPI quaisquer equipamentos ou produtos destinados ao uso pessoal do colaborador e destinados à proteção contra perigos que possam pôr em perigo a sua saúde e segurança no ambiente de trabalho,. Em relação ao uso de EPI, é a NR 06 que versa as situações em que as empresas precisam fornecê-lo.

Compete ao empregador fornecer aos trabalhadores equipamentos de proteção individual adequados ao risco, em perfeito estado e funcionamento nas seguintes circunstâncias: sempre que as medidas gerais não garantam proteção completa contra o risco de acidente de trabalho ou de doença profissional e de trabalho; na implementação de medidas de proteção coletiva; e responder a situações de crise (ALVES, 2013)

Figura 2 - Luva de Vaqueta.

Fonte: Google imagens

A luva de raspa (figura 3) também é muito durável, e por ser mais grossa que a anterior, é utilizada para proteger as mãos de assados, cortes, substâncias abrasivas, e na movimentação de cargas, marcenaria, todo tipo de trabalho onde possa estar em perigo, nas mãos, luvas de raspar são usadas.

Figura 3 - Luva de Raspa.

Fonte: Google imagens

Segundo Zaneli (2016), tanto a luva de vaqueta quanto a luva de raspa são luvas onde ambos os materiais são feitos de couro de vaca.

A diferença entre eles é que a raspa é a parte interna da pele e a vaqueta, a externa. Elas são separadas através de tratamento químico. No caso da finalidade, a raspa é usada quando o equipamento, não importa qual seja, pede um acabamento mais aveludado, mais áspero.

Já a vaqueta confere à peça um acabamento mais nobre, sua propriedade também é mais durável que a casca, embora mais espessa, pois suas fibras são mais entrelaçadas que a casca. O cinto de segurança é a principal ferramenta para evitar quedas de altura e, ao utilizá-lo com corda, deve ser obtido e utilizado de forma regulada para não incomodar ou ferir o usuário, permitindo que o cinto de segurança dure muito tempo. época (SOUZA, 2017).

Figura 4 - Cinto de segurança.

Fonte: Google imagens.

O cinto de segurança (figura 4) é o principal meio de prevenção de quedas de altura, deve ser utilizado em conjunto com o talabarte (figura 5), ao utilizá-lo com corda deve ser obtido e utilizado de forma regulamentada para não incomodar ou ferir o usuário, permitindo que o cinto de segurança seja utilizado por um muito tempo. tempo época (SOUZA, 2017).

Figura 5 - Talabarte.

Fonte: Google imagens

Para os trabalhadores que trabalham em altura, a proteção contra quedas é fundamental. Isso porque, como o nome sugere, o aparelho é utilizado para prevenir acidentes que podem resultar em ferimentos graves ou até mesmo em morte.

O equipamento de proteção contra quedas (figura 6) é uma proteção pessoal essencial para qualquer pessoa exposta a alto risco. O nome explica a função deste dispositivo de travamento mecânico. Ele é o responsável por conectar o cinto de segurança e o ponto de ancoragem para que o trabalhador não caia.

De acordo com a NR 6, a empresa tem obrigação de entregar material de excelente qualidade. Afinal, nesses casos, qualquer descuido pode ser fatal. O mecanismo de travamento deste equipamento de proteção individual facilita o trabalho e garante a proteção dos trabalhadores, pois deve ser utilizado a uma altura de dois metros do solo.

Portanto, atividades como limpeza e pintura externa de edifícios, manutenção de torres de sinalização e telhados, ou qualquer trabalho que exija a parada do trabalhador, devem utilizar equipamentos anti-queda.

Figura 6 - Trava quedas.

Fonte: Google imagens

O capacete (figura 7) é uma ferramenta básica de segurança em todos os trabalhos, é utilizado para proteger a cabeça ou partes dela de impactos e penetrações, deve possuir fendas laterais para fixar a proteção auditiva e facial, e deve ter alta resistência à penetração e boa ventilação, de forma que proporcione conforto ao usuário. (GOUVÊA, 2018).

Estes capacetes deverão possuir as características definidas pelo INMETRO conforme Portaria nº 73/2006 do INMETRO.

Figura 7 - Capacete.

Fonte: Google imagens

Os olhos são uma das partes do corpo mais afetadas pelas lesões ocupacionais, sendo 39,5% das lesões resultantes da penetração de corpo estranho na conjuntiva (CISZ, 2015).

Segundo relatório publicado pela Segurança Social em 2016, a área dos olhos é responsável por 1,9 por cento dos acidentes de trabalho. O uso de óculos de segurança é obrigatório em atividades que possam causar ao trabalhador algum perigo físico, químico ou biológico. Certas profissões, como soldadores, carpinteiros ou profissionais que trabalham com produtos químicos e biológicos, devem estar atentos ao modelo de vidro adequado para garantir a saúde e segurança ocupacional.

Além de proteger os olhos de objetos voadores, os óculos de segurança (figura 8) também oferecem proteção contra os raios solares. Todos os óculos com certificado de homologação garantem proteção aos olhos do trabalhador contra os raios UVA e UVB, filtrando 99,9%.

Portanto, ao adquirir equipamentos de proteção individual, verifique se o aparelho contém CA. De acordo com a NR 6, é obrigatória a presença do CA em todos os equipamentos de proteção individual (CISZ 2015).

Figura 8 - Óculos de proteção.

Fonte: Google imagens

Os protetores auditivos (figura 9) vêm em vários tipos de equipamentos de proteção individual, mas geralmente todos se parecem com fones de ouvido. São bastante semelhantes aos utilizados nos telefones, mas em vez de transmitir som, sua função é impedir sua entrada.

Para muitos, a capacidade do som de machucar é algo bastante abstrato, afinal raramente é a causa imediata da surdez, mas requer uma exposição significativa. O ouvido **é uma parte muito sensível do corpo e deve ser protegido.**

O ruído é um dos riscos ambientais mais importantes em locais de trabalho como estaleiros de construção, aeroportos e portos marítimos. Não é apenas considerada uma doença profissional evitável, mas cabe à empresa realizar uma análise de risco e determinar o nível de perigo, caso em que são obtidos os equipamentos de proteção individual necessários para que os colaboradores possam exercer as suas atividades. e controlar o uso de equipamento.

Figura 9 - Protetor auricular.

Fonte: Google imagens.

Para combater os riscos, existem no mercado vários tipos de calçado de segurança que protegem os trabalhadores quando trabalham em zonas muito húmidas, em pisos irregulares ou escorregadios, contra impactos ou choques contra objectos, quando trabalham com objectos pesados ou pontiagudos, e contra o contacto com produtos químicos. , calor excessivo, frio extremo, radiação e riscos elétricos.

Os calçados de seguranças conhecidos como botinas (figura 10) são específicos para cada atividade, por isso é importante que o usuário entenda as necessidades e os riscos que precisa eliminar.

A escolha do calçado de segurança adequado tem impacto direto na produtividade dos trabalhadores. O calçado deve respirar, ser confortável, durável e ter boa absorção de choques. Não esquecendo que os calçados de segurança necessitam de certificado de homologação do Ministério do Trabalho (PROMETALEPIS, 2018).

Figura 10 - Botina de segurança.

Fonte: Google imagens

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No desenvolvimento deste trabalho pretendemos descrever os equipamentos de proteção individual mais utilizados para reduzir o risco de acidentes relacionados ao trabalho no canteiro de obras e garantir maior conforto aos trabalhadores na utilização dos equipamentos de proteção individual, pois a indústria da construção é a causa de muitos acidentes no trabalho porque a natureza desta atividade expõe os trabalhadores a fatores de risco como calor, altura, ruído e estresse repetitivo.

De acordo com muitas abordagens, fica claro que nem sempre os trabalhadores utilizam os EPIs fornecidos e, quando o fazem, muitas vezes os retiram durante o trabalho por desconforto, hábito, consciência inicial ou mesmo falta de supervisão. Como equipamentos de proteção individual, os capacetes para aquecimento da cabeça e as luvas antiderrapantes são habitualmente mencionados nas reclamações apresentadas a diversos autores.

Futuramente, propõe-se analisar a implementação dos equipamentos de proteção individual apresentados, especialmente as melhorias nos capacetes de segurança, utilizando simulações computacionais e protótipos para testes e devida certificação de acordo com as normas regulamentadoras custos de implementação e aumentando assim o risco de acidentes de trabalho (CIZS, 2015).

Segundo Klöckner *et al.* (2000) há um grande investimento por parte das empresas na aquisição de equipamentos de proteção individual, mas aqui, segundo o autor, há uma contradição: a maioria dos funcionários não utiliza equipamentos de proteção individual, e se o fazem, o fazem inapropriadamente.

De acordo com Takahashi *et al.* (2012, p. 985) “[...] Os trabalhadores da construção civil são tradicionalmente considerados uma categoria de ocupações que aderem às normas de segurança e se opõem ao uso de equipamentos de proteção individual.” A sustentabilidade das normas de segurança e a utilização de equipamentos de proteção individual são fatores que tornam os trabalhadores mais vulneráveis a acidentes.

REFERÊNCIAS

ALVES; T.C. **Manual de equipamento de proteção individual**. 2013. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/94767/1/Documentos111.pdf>> Acesso em 15/10/2023

ARAUJO, P. M.; D. JÚNIOR, L. R. P. **Segurança do Trabalho na Construção Civil: Medidas de Proteção em Canteiro de Obras.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, São Paulo, v. 11, p. 68-80, 2018.

BOZZA, André Francisco. **Segurança do trabalho na construção civil.** 2010. 34 f. Tese (Mestrado em Construção de Obras Públicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

BRAGA, P. M. B.; ANDRADE, A.F. **Seguro de acidentes do trabalho na Previdência Social.** 2001.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 6 – Equipamentos de proteção individual – EPI. 492 Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego,** 2018. Disponível em: < 493 https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-06.pdf >. Acesso em: 15/03/2320

BRASIL. Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943. **Aprova a Consolidação das Leis do Trabalho.** Brasília, DF: Casa Civil, 1943. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decretolei/del5452.htm. Acesso em: 20 mar. 2023.

BRASIL. **Ministério da Fazenda.** Secretária de Previdência. Anuário Estatístico de Acidentes de Trabalho - AEAT 2017, Brasília, v.1, 2017. 997 p. Disponível em: <http://sa.previdencia.gov.br/site/2018/09/AEAT-2017.pdf>. Acesso em: 17/03/2023.

CISZ, C. R. **Conscientização do uso de EPI'S, quanto à segurança pessoal e coletiva.** 2015. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

GOULART, A.K. **A importância da implantação da segurança do trabalho da segurança do trabalho em obras da construção civil de pequeno porte.** 2017. Disponível em < <http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/143>> Acesso em 17/11/2023

GOUVEA, S.A. **A importância do uso correto do capacete de segurança na construção civil.** 2018. Disponível em < <http://repositorio.unitau.br/jspui/handle/20.500.11874/1299>> Acesso em 15/10/2023

JUNIOR, J. E. **Gestão de segurança do trabalho.** P. 77, 2022.

KLÖCKNER, W. J. *et al.* Equipamentos de proteção individual (EPI'S): Por que tanta resistência? 509 Akrópolis – **Revista de Ciências Humanas da Unipar.** Umuarama, v. 8, n. 2, p. 114-120, 510 abril/junho 2000.

MELO, M. B. F. V. **Influência da cultura organizacional no sistema de gestão da segurança e saúde no trabalho em empresas construtoras.** Dissertação (Doutorado em Engenharia de Produção) - Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

MOTERLE, Neodimar. **A importância da segurança no trabalho na construção civil: um estudo de caso em um canteiro de obra na cidade de Pato Branco – PR.** 2014. 44 f. Monografia (Pós Graduação em Engenharia de Segurança no Trabalho) – Universidade Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

PELLOSO, E. F.; ZANDONADI, F. B. **Causas da Resistência ao Uso do Equipamento de Proteção Individual (EPI),** Cuiabá, 2012.

PROMETAL. **Calçados de segurança: Tudo o que você precisa saber**. Disponível em < Calçados de Segurança: tudo que você precisa saber! » Prometal EPs> Acesso em 22/10/23

SESI. Serviço Social da Indústria – **Segurança e Saúde na Indústria da Construção no Brasil, Diagnóstico e Recomendações dos Acidentes de Trabalho**, 2008.

SOUZA, A.O. **Trabalho em altura na construção civil e as medidas preventivas de segurança do trabalho**, 2017. Disponível em < <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/40638>> Acesso em 20/02/2023

TAKAHASHI, M. A. B. C. *et al.* **Precarização do Trabalho e Risco de Acidentes na construção civil**: um estudo com base na Análise Coletiva do Trabalho (ACT). **Saúde e Sociedade**. São Paulo, v.21, 542 n.4, p.976-988, 2012.

ZANELI, Fernando. **O que é e como realizar uma Gestão Eficiente**. 2017. Disponível em: SST: O que é e como realizar uma gestão eficiente (zanel.com.br) . Acesso em: 10 abr. 2023

**Estudo do custo da não
compatibilização de projetos
de infraestrutura dos sistemas
de abastecimento de água,
rede coletora de esgoto e
drenagem pluvial para uma
obra condominial padrão médio
em Porto Velho - RO**

***Study of the cost of non-
compatibility of infrastructure
projects of water supply, sewage
collection network and storm
drainage systems for a medium
standard condominium work in
Porto Velho – RO***

Samuel Silva Santos

Instituto Federal de Rondônia, Departamento de Engenharia Civil, Porto Velho, Brasil

Nicolý Tháís Araújo dos Santos

Instituto Federal de Rondônia, Departamento de Engenharia Civil, Porto Velho, Brasil

Larissa Sousa Almeida

Instituto Federal de Rondônia, Departamento de Engenharia Civil, Porto Velho, Brasil

Nilton Ricardo Lucas Pereira

Instituto Federal de Rondônia, Departamento de Engenharia Civil, Porto Velho, Brasil

Rafael Pereira Louzada

Instituto Federal de Rondônia, Departamento de Engenharia Civil, Porto Velho, Brasil

RESUMO

No ramo da construção civil muitas vezes enfrenta desafios devido à falta de compatibilização dos projetos, o que pode resultar em problemas du-

Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos - Vol. 9

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.10



rante a execução. Apenas uma parcela das obras consegue manter o projeto original, indicando que as alterações geram impactos no prazo e nos custos, influenciando a logística e a execução das atividades. A negligência na compatibilização acarreta em aumento de custos, atrasos na obra e ineficiência operacional. Este estudo foca no impacto financeiro da falta de compatibilização de projetos em infraestrutura. Foram identificadas incompatibilidades nos projetos de água, esgoto e drenagem em um condomínio em Porto Velho, RO por meio do software *AutoCad*. As tabelas e figuras apresentadas detalham as inconsistências encontradas, as correções realizadas e os custos envolvidos. A falta de comunicação entre equipes resultou em retrabalho, atrasos e custos adicionais, evidenciando a importância da compatibilização de projetos desde a fase de projeto até a execução.

Palavras-chave: compatibilização. plataforma CAD. sistema de abastecimento de água. drenagem pluvial. esgoto.

ABSTRACT

The construction industry often faces challenges due to the lack of project compatibility, leading to issues during execution. Only a fraction of projects manages to maintain the original plan, indicating that alterations impact both deadlines and costs, influencing logistics and task execution. Neglecting compatibility results in increased costs, project delays, and operational inefficiency. This study focuses on the financial impact of project incompatibility in infrastructure. Incompatibilities in water, sewage, and drainage projects were identified in a condominium in Porto Velho, RO, using AutoCAD software. The tables and figures presented detail the inconsistencies found, the corrections made, and the associated costs. Lack of communication among teams resulted in rework, delays, and additional expenses, underscoring the importance of project compatibility from the planning phase through execution.

Keywords: Coordination. CAD platform. Water supply system. stormwater drainage. sewage.

INTRODUÇÃO

No ramo da construção civil a maioria dos projetos construtivos ainda são elaborados de forma individualizada, gerando grandes transtornos no momento da execução. Dependendo da amplitude das interferências encontradas pode-se resultar na desconstrução de algum serviço ou etapa. Parafraseando Nascimento (2014) decisões indevidas durante a fase de projeto impactam diretamente na efetividade do produto final.

Não obstante, uma série de fatores são elencados em decorrência da execução de serviço sem prévia análise de projeto. Dentre eles, o retrabalho, aumento do prazo na entrega final do produto, perda de material e de mão de obra. Tais interferências, segundo Fabrício (2002), tendem a se tornar mais caras à medida que o tempo passa.

Além disso, dados do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia reiteram que apenas 61% das obras iniciadas conseguem manter o projeto original. Este dado indica que outros 39% tiveram alterações e geraram impacto direto no prazo necessário

para alteração destes projetos, sofrendo com influências no custo envolvendo as alterações necessárias em logística e programação das atividades de execução que obrigatoriamente aguardaram as revisões no projeto (IBAPE, 2017).

Dessa forma, uma alternativa para minimizar os problemas de construtibilidade inadequada é a compatibilização de projetos. Segundo Graziano (2003) a compatibilidade é definida como atributo do projeto cujos componentes dos sistemas ocupam espaços que não conflitam entre si.

Segundo a NBR 5670 (ABNT, 1977) o projeto define-se pela qualificação quantitativa e qualitativa de atributos técnicos, econômicos e financeiros de um serviço ou obra de engenharia e arquitetura, com base em dados, elementos, informações, estudos, discriminações técnicas, cálculos, desenhos, normas, projeções e disposições especiais.

Neste assunto, as ferramentas de desenho computacional - CAD (Projeto Assistido por Computador) podem ser usadas em projetos de engenharia, arquitetura, entre outros, pois trata-se de um ambiente onde os projetos podem ser criados, salvos, editados e arquivados em uma pasta de trabalho. Martins (2002) aponta vantagem com relação ao uso da plataforma em poder analisar projetos do ponto de vista da qualidade. Esta ferramenta pode ser base para o estudo da compatibilização de projetos.

Entretanto, é importante informar o que é o software (CAD) ou desenho auxiliado por computador. É uma ferramenta para design e documentação técnica que substituiu o desenho manual pelo processo automatizado, e por meio de suas ferramentas permite construir projetos em duas e três dimensões. Tem por finalidade auxiliar na elaboração e documentação da construção, explorar ideias de projetos e visualizar conceitos por meio de renderizações fotorealistas e simular o funcionamento real de um projeto (AUTODESK, 2023).

Outro dado importante referente ao uso da plataforma CAD, segundo a Sienge (2022), afirma que no Brasil 54,4% da informação é produzida com desenhos CAD 2D e 3D. Os arquivos de projetos são compartilhados digitalmente e não há um modelo unificado para o gerenciamento de informações.

O método de desenho em duas dimensões - 2D - se baseia na representação gráfica bidimensional e envolve a elaboração de plantas, cortes e elevações, como recurso para análise. O diferencial desta tecnologia é a possibilidade de automação de tarefas repetitivas, bem como o recurso de visualização dinâmica do uso do zoom, mesmo sendo limitada a um ponto de vista isolado. Por outro lado, o método em 3D é baseado na representação tridimensional e desenvolvido de três formas: modelo de arestas, composição de superfície e sólidos. O primeiro modelo, pode ser construído no espaço através de elementos bidimensionais, como linhas, polígonos círculos elipses e suas composições. O segundo modelo usa composição de faces planas. Para criação de superfícies curvas usa-se faces de dimensões pequenas. Este tipo de representação permite esconder o contorno do objeto. O terceiro modelo utiliza a modelagem de sólidos, uma das características é que apresenta todo o volume do objeto. Vale ressaltar que modelos sólidos são mais completos e precisos (AUTODESK, 1995).

Mesmo assim, com todo avanço tecnológico, a comunicação entre os profissionais de engenharia e arquitetura ainda é um dos grandes desafios na idealização e execução de uma obra. Tal comportamento incide diretamente na permanência de projetos executivos incompatíveis em obras de construção civil. Sabe-se o quanto os projetos executivos são

fundamentais para a realização de uma obra, sendo que inconsistências podem inviabilizar a construção (LACHI, 2016).

Dessa forma, perante tantos desafios, surgiu um novo conceito capaz de nortear soluções, conforme explica Passos e Lima (2021): a compatibilização parte do princípio de que partes de alguma coisa devem ocupar o mesmo lugar em harmonia e sem conflito, otimizando custo, qualidade e redução de tempo.

Além disso, para o SEBRAE (1995), compatibilização define-se como uma atividade de gerenciar e integrar projetos correlatos, visando ao perfeito ajuste entre os mesmos e conduzindo para a obtenção dos padrões de controle de qualidade total de determinada obra.

Assim, à medida que a qualidade aumenta, a incompatibilidade conseqüentemente é reduzida na obra. De acordo com Picchi (1993) a compatibilização de projetos compreende a atividade de sobrepor os vários projetos e identificar as interferências, bem como programar reuniões entre os diversos projetistas e a coordenação com o objetivo de resolver interferências que tenham sido detectadas.

Portanto, evidencia-se as opiniões de Picchi (1993) e Melhado (2005) na compatibilização: todos os projetos são sobrepostos para averiguar a intercessão entre eles, e os problemas são destacados para que a coordenação possa providenciar a melhor solução.

Para reforçar o assunto, os métodos devem ser estruturados e seguem um critério conforme esclarece Rodríguez e Heineck (2001) a compatibilização deve acontecer em cada uma das seguintes etapas do projeto: estudos preliminares, anteprojeto, projetos legais e projeto executivo, indo de uma integração geral das soluções até as verificações de interferências geométricas.

Em suma, os benefícios da compatibilização de projetos são perceptíveis no cronograma físico-financeiro da obra. Nascimento (2014) afirma que através da compatibilização é possível a redução dos custos, resolução dos problemas, otimização das equipes de trabalho, assim como a diminuição do consumo de insumos.

Assim, negligenciar a compatibilização de projetos pode acarretar consequências econômicas significativas, tais como aumento dos custos de construção e manutenção, atrasos na conclusão da obra e ineficiência operacional. Estes impactos adversos demonstram a importância que se deve dar ao assunto. Para Liu *et al.* (2019) a negligência na hora da compatibilização provoca inúmeras perdas à construção, direcionando-se principalmente ao desperdício de materiais.

Diante dos reveses apresentados anteriormente pela incompatibilidade de projetos, a temática teve como objeto de investigação a problemática referente ao impacto financeiro causado pela não compatibilização de projetos em infraestrutura, pois é sabido que o saneamento básico é um tema de grande relevância no Brasil e que influencia diretamente na qualidade de vida e saúde da população.

Apesar dos avanços recentes, o país ainda enfrenta desafios significativos nesta área. Dentre eles, segundo dados do sistema nacional de informações sobre saneamento

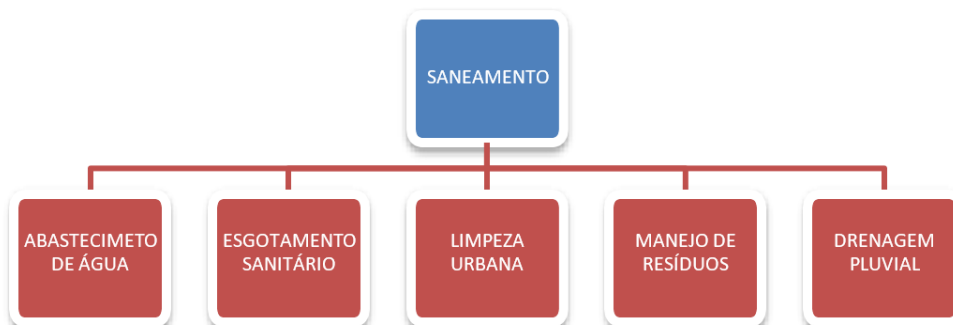
cerca de 30 milhões de brasileiros ainda não possuem acesso a água potável e mais de 100 milhões não possuem coleta de esgoto. Para tanto, as regiões que mais sofrem com a falta de saneamento estão localizadas na região Norte e Nordeste (SNIS, 2019).

Além disso, a falta desses serviços ocasionam impactos diretos na saúde da população. A contaminação da água por esgoto inadequadamente tratado é uma das principais causas de doenças transmitidas pela água, como diarreia, hepatite A e a leptospirose. Desta forma verifica-se que a ausência da coleta de esgoto pode levar à poluição de rios, lagos e oceanos, prejudicando os ecossistemas e comprometendo os recursos hídricos (OMS, 2021).

Visando melhorar a situação deplorável, em 2020, foi aprovado o novo marco legal do saneamento básico, uma lei que busca estimular a participação do setor privado, estabelecer metas de universalização e facilitar a entrada de novos investimentos, (LEI N° 14.026/2020). A expectativa é que essa medida contribua para acelerar o avanço do saneamento básico no país.

A Figura 1 ilustra as diferentes etapas envolvidas no sistema de saneamento básico no Brasil, representada hierarquicamente por meio de um organograma com 5 fases distintas. Elas compreendem desde o fornecimento de água até a gestão da drenagem e manejo de águas pluviais.

Figura 1 - Fluxograma sobre o Saneamento no Brasil.



Fonte: Autores (2023).

No entanto, este estudo limita-se, apenas, ao modelo de saneamento dos sistemas de abastecimento de água, esgoto e drenagem pluvial, conforme sugere o tema da pesquisa.

Com base nesta problemática buscou-se subsídio para estudar, dentro de uma contextualização ampla, sobre o impacto econômico em razão da não compatibilização de projetos em redes de infraestrutura. Desta forma, tem-se por objetivo investigar o valor onerado pela falta de compatibilização dos projetos de infraestrutura hidráulica devido às adaptações técnicas para uma obra condominal padrão médio na cidade de Porto Velho – RO.

Em suma, este estudo justifica-se ao investigar o impacto financeiro pela falta de compatibilização de projetos na área de infraestrutura. Através do levantamento dos custos orçados, foi possível mensurar valores e perceber o quanto o planejamento da obra e o gerenciamento das tarefas é de suma importância tendo em vista o monitoramento de todas as etapas do projeto, haja vista a necessidade de antever falhas que poderão causar

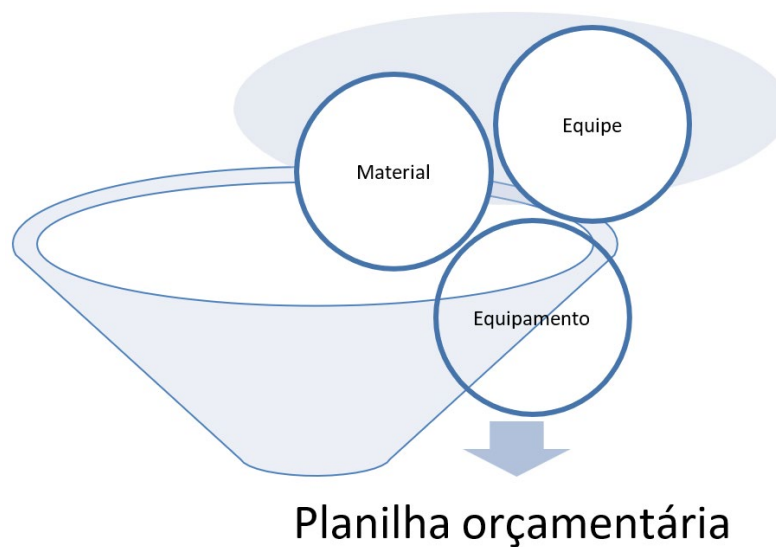
interrupções no desenvolvimento do processo e refletir em seu custo final, principalmente aquelas relacionadas a incompatibilidade de projetos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo ilustrado na Figura 2 mostra as principais fases da pesquisa que incluem o levantamento das equipes, dos materiais, equipamentos e o percentual onerado consequente da não compatibilização de projeto de infraestrutura.

Além disso, o custo cada uma destas etapas será mostrada de forma detalhada posteriormente por meio de Tabelas, oferecendo um detalhamento mais amplo dos serviços incompatíveis.

Figura 2 - Fases metodológicas da pesquisa.



Fonte: Autores (2023).

O projeto de infraestrutura foi executado no bairro Planalto, em um condomínio residencial de padrão médio no município de Porto Velho - RO. A rede de tubulação de água contempla cerca de 3.000 metros, enquanto a rede de tubulação de esgoto possui cerca de 2.000 metros. Além disso, o sistema de drenagem abrange uma extensão de aproximadamente 2.500 metros.

Para tanto, o estudo foi conduzido baseado nos projetos executivos e a partir de pesquisas no manual do usuário Autodesk, em normas ABNT e artigos sobre infraestrutura e sua compatibilização, com foco nas redes de abastecimento de água, esgoto e rede de águas pluviais. O método utilizado foi quali-quantitativo, buscando uma análise aprofundada das questões envolvidas.

Por outro lado, as plataformas Mendeley e Google acadêmico foram utilizadas como fonte de dados de pesquisa, juntamente com os conectivos and, or e palavras-chave como compatibilização, sistemas de abastecimento de água, esgoto, drenagem e plataforma CAD para auxiliar na busca de informações relevantes.

Para detectar possíveis intercorrências entre os itens dos sistemas hidráulicos, foi utilizada a ferramenta *AutoCAD* 2D. Ao passo que a técnica de sobreposição de projetos

foi aplicada para mapear os pontos críticos e fazer as alterações antes da execução do trabalho em campo.

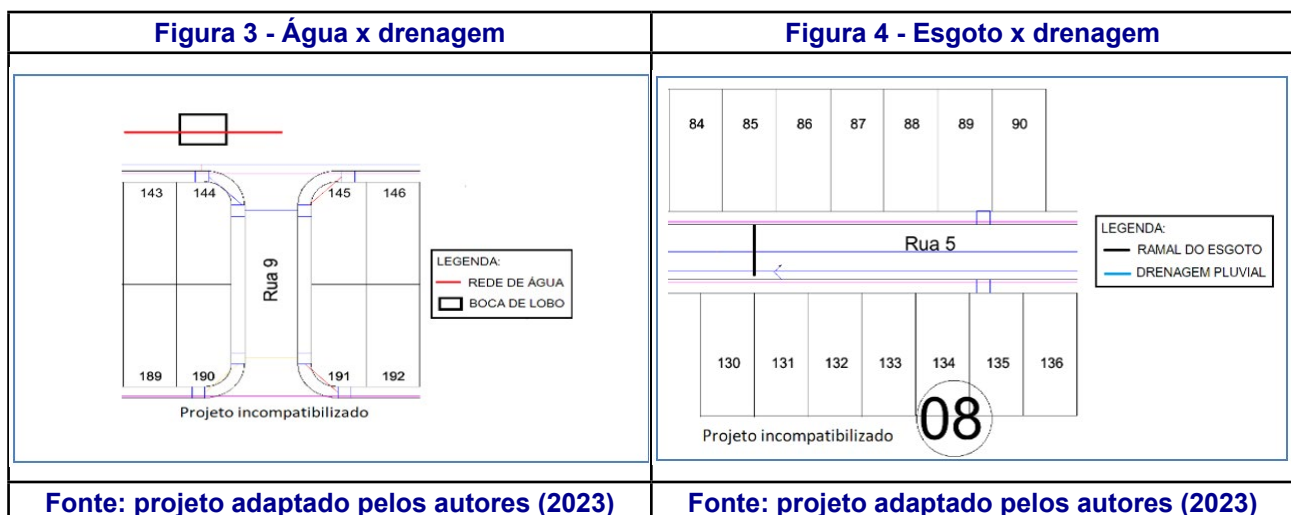
É importante perceber que os projetos abordados neste estudo contemplam a incompatibilidade das redes de abastecimento de água com a rede de drenagem e da rede de drenagem com a rede de esgoto. Consistiu-se, portanto, na sobreposição dos projetos e percepção das incompatibilidades, seguida da melhor proposta de adequação e do levantamento dos custos de retrabalho.

Observa-se que, o trabalho de compatibilização dos projetos executivos se deu apenas quando da ocorrência do choque das instalações em campo após implantado/executado todo o projeto da rede de drenagem. Ressalta-se que a compatibilização deveria ter vindo do escritório para o campo, eliminando a culpa de seus executores que receberam pranchas distintas para cada serviço.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a ocorrência da primeira incompatibilidade houve a sobreposição dos projetos e a necessidade de compatibilização. Durante a análise, constatou-se que 48 bocas de lobo estavam posicionadas na mesma direção do sistema de abastecimento de água e drenagem em todas as etapas do projeto. Além disso, foi constatado uma situação semelhante de colisão entre o ramal de passagem do esgoto e a drenagem na travessia da rua 05.

Aqui, é apresentado um recorte adaptado do projeto de infraestrutura, com um exemplo de uma caixa de boca de lobo em formato ampliado que está em colisão com a rede de abastecimento de água na Figura 3. Além disso, na Figura 4 é apontada a incompatibilidade entre a rede de esgoto e a rede de drenagem, evidenciada pelo cruzamento das linhas de cor preta e azul.



A Tabela 1 apresenta a síntese das inconsistências identificadas durante o mapeamento dos canais sobrepostos em projeto. Portanto, foram descritos os itens referentes aos sistemas de infraestrutura envolvidos e os problemas encontrados. As incompatibilidades entre os traçados das redes de infraestrutura foram exemplificadas na Quadra 08, Lote 85 (Tabela 1).

Tabela 1 - Incompatibilidades.

Item	Projetos	Problema
1	Rede de água x Drenagem	Conflito entre caixas de boca de lobo e o sistema de abastecimento de água em todas as etapas do projeto.
2	Esgoto x Drenagem	Colisão entre ramal de passagem do esgoto e o sistema de drenagem pluvial na rua 05.

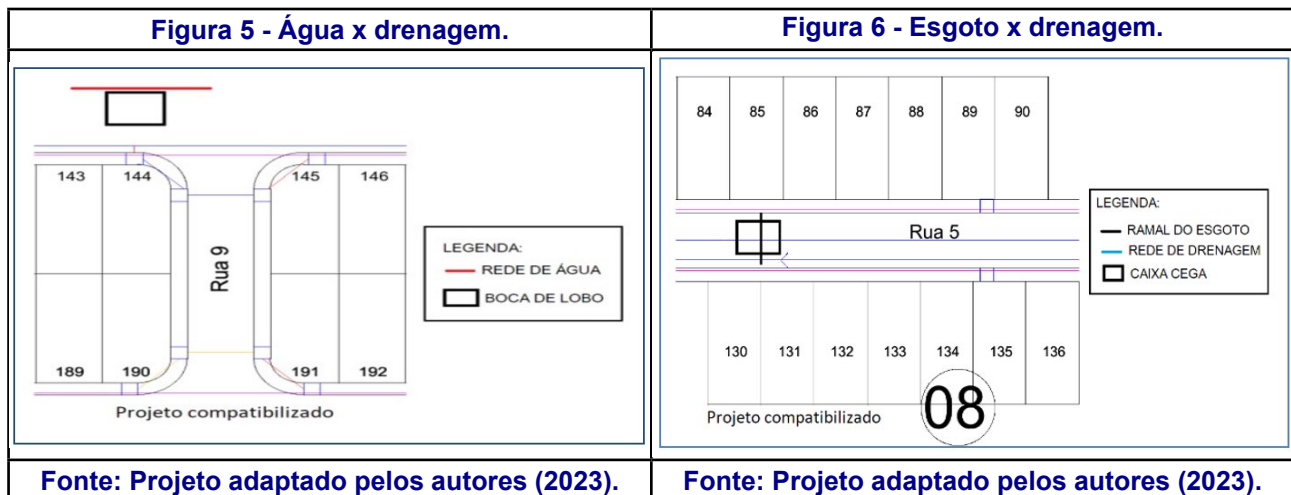
Fonte: Autores (2023).

Baseados na NBR ISO 9001 (ABNT, 2015) a empresa deve determinar e selecionar oportunidades para melhoria e implementar ações necessárias para atender a requisitos do cliente. Elas devem incluir: melhoraria dos serviços e produtos; corrigir, prevenir ou reduzir efeitos indesejados. Em outro ponto a mesma norma afirma que ao ocorrer uma não conformidade a empresa deve reagir à não conformidade e tomar ação para controlá-la e corrigi-la.

Assim, foram implementadas as alterações essenciais no projeto, visando corrigir todos os pontos críticos identificados na etapa inicial de análise. Essas modificações foram realizadas com o intuito de reduzir erros, custos e o prazo de entrega do produto final.

A Figura 5 mostra um recorte do projeto adaptado, fornecendo um exemplo de uma caixa de boca de lobo em formato ampliado. Esta ilustração exemplifica a correção que foi realizada para resolver um dos problemas identificados.

Na Figura 6 é possível visualizar a correção realizada na interseção entre a rede de esgoto e a rede de drenagem, evidenciada pelo cruzamento das linhas de cor preta e azul. Essas medidas foram implementadas devido a um erro de execução não previsto na compatibilização dos projetos.



A Tabela 2, apresenta os resultados da análise compatibilizada, realizada durante a fase de verificação. Nela foi descrito os sistemas de infraestrutura envolvidos e detalhadas as soluções adotadas para correção.

Tabela 2 - Síntese das análises compatibilizadas.

Item	Projetos	Ação corretiva
1	Rede de água x Drenagem	Realizou-se um deslocamento da rede de abastecimento de água, posicionando-a na face externa da caixa para evitar o conflito.
2	Esgoto x Drenagem	Foi construída uma caixa cega em alvenaria utilizando blocos de concreto para solucionar o problema identificado.

Fonte: Autores (2023).

A partir desta etapa, realizou-se a quantificação das equipes, dos materiais, dos equipamentos e do tempo decorrente necessário para a execução do serviço. A Tabela 3 apresenta as atividades envolvidas e os custos para realização operacional da tarefa. Assim como o quantitativo de profissionais necessário que chegou a um total de 17 pessoas envolvidas no processo.

Tabela 3 - Equipes.

DESCRIÇÃO	QUANTITATIVO DA EQUIPE					TOTAL EQP	UNIDADE	V. HORA TRAB.		SUBTOTAL		CUSTO TOTAL
TOPOGRÁFO				1		17	H	R\$	35,29	R\$ 282,32		R\$ 1.510,31
AUX. DE TOPOGRAFIA				1				R\$	6,85	R\$	54,80	
AJUDANTE				1				R\$	6,85	R\$	54,80	
OP.ESCAVADEIRA			1					R\$	9,84	R\$	78,73	
PEDREIRO	1							R\$	8,56	R\$	68,47	
SERVENTE DE OBRA	1							R\$	6,85	R\$	54,80	
OP.CAM.BETONEIRA		1						R\$	17,65	R\$ 141,20		
OP.USINA DE CONCRETO		1						R\$	18,81	R\$ 150,48		
OP. PÁ CARREGADEIRA		1						R\$	9,84	R\$	78,73	
SERVENTE DE OBRA		2						R\$	6,85	R\$ 109,60		
MOTORISTA				1				R\$	8,56	R\$	68,47	
ENC. DE SETOR DE CONC.					1			R\$	16,88	R\$ 135,04		
SERVENTE DE OBRA					3			R\$	6,85	R\$ 164,40		
AUX. ALMOXARIFADO				1				R\$	8,56	R\$	68,47	

Fonte: Autores (2023).

É relevante identificar as equipes, materiais e equipamentos adequados para a execução do serviço, pois permite otimizar o tempo e acompanhar o planejamento da obra de forma eficiente. Dessa forma, é possível evitar atrasos e garantir o cumprimento do prazo estabelecido pelo planejador.

É importante ressaltar que cada equipe possuía a quantidade de pessoas necessária para cumprir a demanda operacional durante o desenvolvimento da atividade. No caso de um aumento na demanda de serviço, equipes adicionais eram alocadas de outras frentes para suprir a necessidade. Essa flexibilidade na alocação de equipes garantia uma execução eficiente.

Vale informar, também, que os valores salariais das equipes foram orçados com base em 8 horas de duração, o equivalente a uma jornada diária de trabalho. Conforme, a Constituição da República, em seu artigo 7º, inciso XIII, inclui, entre os direitos dos trabalhadores, a duração do trabalho normal não superior a oito horas e quarenta e quatro

semanais, facultada a compensação de horários e a redução da jornada, mediante acordo ou convenção coletiva de trabalho.

Além das equipes apresentadas anteriormente, na Tabela 4 é mostrada uma lista detalhada dos insumos orçados necessários para a construção da caixa em alvenaria, solução apontada para a compatibilização da rede de drenagem já executada e a rede de esgoto passante por ali. Esta lista abrange todos os itens essenciais que foram selecionados e estimados para garantir o levantamento do suprimento adequado.

Tabela 4 - Material.

ORÇAMENTO DOS MATERIAIS						
ITEM	DESCRIÇÃO	UN	QTDE	V.UNITÁRIO	SUBTOTAL	CUSTO TOTAL
1	AREIA FINA	M ³	1	R\$ 128,90	R\$ 128,90	R\$ 3.059,51
2	AREIA GROSSA	M ³	1	R\$ 130,58	R\$ 130,58	
3	PEDRA BRITADA N.1	M ³	1	R\$ 119,84	R\$ 119,84	
4	CAL HIDRATADA	KG	1	R\$ 1,82	R\$ 1,82	
5	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	KG	350	R\$ 1,05	R\$ 367,50	
6	COMBUSTÍVEL - DIESEL	LT	200	R\$ 6,87	R\$1.374,00	
7	TELA SOLDADA NERV. CA-60, Q-92 - 2,45 M	M ²	1	R\$ 16,38	R\$ 16,38	
8	SARRAFO 2,5x5x400	M	2	R\$ 3,97	R\$ 7,94	
9	BLOCO DE CONC. ESTRUTURAL 14X19X39	-	61	R\$ 9,91	R\$ 604,51	
10	TUBO DE CONCRETO ARMADO 400 MM	M	3	R\$ 102,68	R\$ 308,04	

Fonte: Autores (2023).

Na Tabela 5 encontra-se uma lista detalhada dos equipamentos orçados necessários para a execução da caixa. É importante destacar que os valores dos equipamentos foram orçados considerando a duração de 8 horas.

Nesta fase final do levantamento, buscou-se verificar o impacto financeiro causado pela incompatibilidade dos projetos executados na obra, por meio da análise de dados. Em virtude desta ocorrência não ter sido identificada previamente antes da execução do projeto.

Tabela 5 - Equipamentos.

ORÇAMENTO DOS EQUIPAMENTOS						
CÓDIGO	DESCRIÇÃO	QTDE	UND.	VALOR UNITÁRIO	SUBTOTAL	CUSTO TOTAL
1	CAMINHÃO BETONEIRA	1	H	R\$ 54,55	R\$ 436,36	R\$ 7.327,72
2	F-4000 COM CARROCERIA	1	H	R\$ 45,00	R\$ 360,00	
3	PÁ CARREGADEIRA 197 HP	1	H	R\$ 271,16	R\$2.169,28	
4	ESCAVADEIRA 160 HP	1	H	R\$ 292,85	R\$2.342,80	
5	ESTAÇÃO TOTAL DE TOPOGRAFIA	1	H	R\$ 10,00	R\$ 80,00	
6	COMPACTADOR DE SOLO	1	H	R\$ 29,05	R\$ 232,40	
7	USINA DE CONCRETO	1	M ³	R\$ 213,36	R\$1.706,88	

Fonte: Autores (2023).

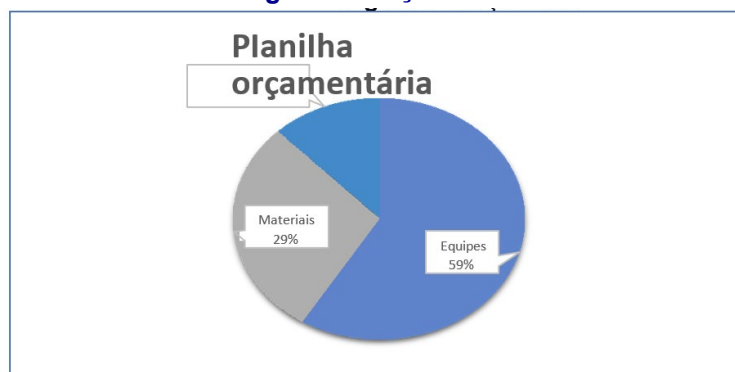
Na Tabela 6 é apresentada a duração das atividades envolvidas na construção da caixa de drenagem, incluindo informações detalhadas sobre cada etapa do serviço e o tempo necessário, que totaliza seis dias e meio. É importante ressaltar que esse prazo considera também o tempo de cura necessário para garantir o melhor desempenho dos materiais utilizados.

Tabela 6 - Duração das atividades.

INFRAESTRUTURA - DRENAGEM PLUVIAL									
ELEMENTO CONSTRUTIVO: CAIXA CEGA									
CÓDIGO	ATIVIDADE	TEMPO (H)	DURAÇÃO (MIN)	MINUTOS	HORAS	DIAS			
A	LOCAÇÃO	0,5 h	30	9.420	157,00	6,5			
B	ESCAVAÇÃO	0,5 h	30						
C	REGULARIZAÇÃO/LIMPEZA/APILOAMENTO	1 h	60						
D	MONTAGEM DO GABARITO	0,5 h	30						
E	MONTAGEM DE TELA (AÇO)	0,5 h	30						
F	CONCRETAGEM DO BERÇO	0,5 h	30						
G	SARRAFEAMENTO	0,5 h	30						
H	TEMPO DE CURA	72 h	4320						
ESTRUTURA									
I	ALVENARIA	3 h	180						
J	TEMPO DE CURA	72 h	4320						
L	ASSENTAMENTO DO TUBO	0,5 h	30						
ACABAMENTO									
M	REBOCO INTERNO DA CAIXA	1,5 h	90						
N	REJUNTE DO TUBO	0,5 h	30						
O	REATERRO	1,5 h	90						
P	APILOAMENTO	1,5 h	90						
Q	TAMPA DA CAIXA CEGA	0,5 h	30						

Fonte: Autores (2023).

Em suma, na Figura 8 são apresentados os dados em relação as intercorrências identificadas por meio da análise em situação de incompatibilidade. Para tanto, foi orçado o valor onerado, das equipes, materiais e equipamentos.

Figura 7 - Orçamento.

Fonte: Autores (2023).

Durante a análise, foi observado que os equipamentos representaram um impacto de 12%, enquanto os custos com materiais corresponderam a 29%. Além disso, as equipes apresentaram um percentual de 59% em relação ao custo total. Esses valores refletem diretamente no cronograma físico-financeiro aumentando o custo em decorrência da execução de uma caixa cega na rede de drenagem não prevista no projeto. Então, comprovou-se, a elevação do custo pela falta da não compatibilização na etapa adequada no valor de R\$ 11.897, 55 (onze mil oitocentos e noventa e sete reais e cinquenta e cinco centavos), gastos a mais para execução do serviço.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o intuito de investigar o valor onerado pela falta de compatibilização dos projetos de infraestrutura hidráulica devido às adaptações técnicas para uma obra condominial padrão médio na cidade de Porto Velho – RO, foram identificadas inconsistências nos

projetos executivos de infraestrutura condominal e atribuída a culpa à falta de comunicação entre as equipes responsáveis pelo projeto e também à equipe encarregada da execução.

Essa falta de comunicação resultou em conflitos diversos que causaram interferências negativas. Algumas dessas provocaram o aumento do prazo de entrega do produto, aumento do consumo dos insumos, aumento nos gastos com mão de obra com retrabalho até a possível perda de qualidade da instalação.

Além disso, essas interferências geraram um grande número de não conformidades no processo construtivo, deixando o programa financeiro fragilizado. Essas interferências foram causadas pela falta de compatibilização dos projetos de infraestrutura. Assim, chegou-se ao custo de R\$ 11.897, 55 (onze mil oitocentos e noventa e sete reais e cinquenta e cinco centavos), gastos a mais para execução do serviço, comprometendo o orçamento da obra e sobrecarregando o contratante naquilo que poderia ser facilmente evitado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO brasileira de normas técnicas. **ABNT NBR 5670**: Seleção e contratação de serviços e obras de engenharia e arquitetura de natureza privada. Rio de Janeiro: ABNT, 1977.

ASSOCIAÇÃO brasileira de normas técnicas. **ABNT NBR ISO 9001**: Sistemas de gestão da qualidade - requisitos. Rio de Janeiro, 2015.

AUTOCAD release 13. **Manual do usuário**.USA: Autodesk, Inc., 1995

CHIAVENATO, I. **Introdução à Teoria Geral da Administração**. S. Paulo: Mc GrawHill, 3ª edição, 1983.

FABRÍCIO, Márcio Minto. **O Projeto Simultâneo na Construção de Edifícios**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

GONZAGA JÚNIOR, J. E.; MAGALHÃES, T. C. **Compatibilização de projetos na engenharia civil**. Journal of Innovation and Science: research and application, v. 1, n. 1, 2021.

GRAZIANO, F. P. **Compatibilização de Projetos**. Instituto de Pesquisa Tecnológica – IPT (Mestrado Profissionalizante), São Paulo, 2003.

GRUPO de **Pesquisa Gestão em Projetos de Arquitetura (GEPARQ)**. Apostila. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007. Parte superior do formulário

INFORMAÇÕES **sobre saneamento**. SNIS. Brasília, DF, 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamen-to-brasil/web/>. Acesso em: 4 nov. 2021.

INSTITUTO **Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia**. Patologia da Construção Civil: Principais Causas. <http://ibape-rs.org.br>. Acesso em: março de 2017.

Jornada de Trabalho - TST. Disponível em: <https://www.tst.jus.br/jornada-de-trabalho>. Acesso em: 8 jun. 2023.

LACHI, D. K. M. **Implantação da modelagem da informação da construção (Building**

Information Modeling) para elaboração de projetos básicos de obras e serviços de engenharia na UFGD (Dissertação de mestrado). 2016. Universidade Federal da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul.

LEI Nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Estabelece o novo marco legal do saneamento básico**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 jul. 2020.

Liu, Z., Lu, Y., Peh, L. C. (2019). **A Review and Scientometric Analysis of Global Building Information Modeling (BIM) Research in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry**. Buildings, 9. 210. 10.3390/buildings9100210.

MARTINS, Petronio G; LAUGENI, Fernando P. - **Administração da Produção**. – São Paulo - Saraiva - 2002.

MELHADO, S. B. *et al.* **Coordenação de projetos de edificações**. São Paulo. O Nomeda Rosa, 2005.

NASCIMENTO, José. **A importância da compatibilização de projetos como fator de redução de custos na construção civil**. 2014. Revista Especialize On-line IPOG, Goiânia, nº 7 v..01, 2014.

ORGANIZAÇÃO mundial da saúde. **Diretrizes para a qualidade da água potável**. Genebra: OMS, 2021. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>. Acesso em: 4 nov. 2021.

PASSOS, Paulo Rafael de Sousa; LIMA, Izabel Maria Almeida. **O uso da plataforma BIM na compatibilização de projetos da construção civil**. TECNO-LÓGICA, Santa Cruz do Sul, v.25, n.2, p.09-17, jul./dez.2021. Disponível em: <https://www.mendeley.com/catalogue/6211a2d0-3ce8-3df0-a319-8d449eb8d7ce>. Acesso em: 22 abr 2023.

PICCHI, F. A. Entrevista. **Revista Técnica**. São Paulo, mar. / abr. 1993 SALGADO, Mônica Santos. **Gestão do Processo de Projeto na Construção do Edifício – revisão**

PROJETOS NA ENGENHARIA CIVIL. Journal of Innovation and Science: research and application, v. 1, n. 1, 2021.

RODRÍGUEZ, M. A. A; HEINECK, L. F. M. **Coordenação de projetos: uma experiência de 10 anos dentro de empresas construtoras de médio porte**. In: Simpósio Brasileiro de Gestão da Qualidade e Organização do Trabalho no Ambiente Construído, 2., Fortaleza, 2001. Anais... Fortaleza, 2001.

SANVICENTE, A. Z. SANTOS, C. C. **Orçamento na administração de empresas**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

SEBRAE/ SINDUSCON – PR (**Serviço Brasileiro de Apoio às Pequenas e Micro Empresas do Paraná**) Diretrizes Gerais para Compatibilização de Projetos, Curitiba, 1995, 120p.

SIENGE. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/?s=bim>. Acesso em: 8 jun. 2023.

SISTEMA nacional de informações sobre saneamento. Painel de Software CAD| Projetos 2D e 3D em CAD|Autodesk. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/solutions/cad-software>. Acesso em: 4 jun. 2023.

TIFFANY, P; PETERSON, S. D. **Planejamento estratégico: o melhor roteiro para um planejamento estratégico eficaz**. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

Análise da argamassa de revestimento com substituição parcial de agregado natural por vermiculita e poliestireno expandido (EPS)

Jefferson Baron Lang

Acadêmico de Engenharia Civil da Faculdade Educacional de Medianeira – UDC Medianeira

Dayana Ruth Bola Oliveira

Profª. Dra. de Engenharia Civil da Faculdade Educacional de Medianeira – UDC Medianeira

RESUMO

A cada dia surgem novos métodos construtivos ou materiais que auxiliam a construção civil a se desenvolver, dessa forma, atualmente, as alvenarias de vedações convencionais não contam com bom desempenho térmico, apresentando problemas como a formação de fissuras, além de promoverem carga extra as estruturas, pensando nisso há a necessidade de se utilizar materiais que melhorem essas características quando incorporados as argamassas, que é o caso do uso da vermiculita expandida (VERM) e o poliestireno expandido (EPS). Este trabalho tem por objetivo verificar a influência que estes materiais possuem sobre as argamassas de revestimento de paredes, para analisar se sua utilização como elemento de vedação é viável, e ao fim, definir um traço ideal para a incorporação de EPS e VERM dos mesmos como substituição parcial dos agregados miúdos (areia). A fim de se comprovar as características proporcionadas pela mistura, foi realizado alguns ensaios, dentre eles, resistência de aderência a tração, resistência a compressão axial, desempenho térmico e acústico por meio de ensaios empíricos para o estado endurecido da mistura e para o estado fresco, foi realizado, o ensaio de índice de consistência. No estudo foram confeccionados 5 traços diferentes para cada ensaio, um servindo como base e referência, seguindo o método convencional de proporção nas misturas (1:3, cimento; areia), e os demais com mesmo volume, porém com substituição parcial de areia por vermiculita e EPS nas seguintes porcentagens 10 e 20%. Com a realização do estudo verificou-se que todos os tratamentos alcançaram as resistências mínimas estipuladas pelas normas e alguns ensaios obtiveram resultados divergentes dos esperados, por fim cada material ou mistura se comportou de maneira diferente aos ensaios, sendo assim, conforme a qualidade desejada ao produto final, deve-se optar por um específico material.

Palavras-chave: análise. desempenho. resistência.



INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil está presente em quase todos os lugares, além de estar em constante crescimento, por se tratar de uma área ampla, há dificuldades em se garantir o alto desempenho e qualidade, em específico das edificações.

Um dos meios de assegurar estes aspectos é seguir a Norma Regulamentadora Brasileira NBR 15.575 (ABNT, 2021), que define as exigências mínimas para o desempenho das habitações.

Parte dos sistemas construtivos das edificações são as alvenarias de vedação compostas pelos revestimentos argamassados, que devem garantir as características térmicas, acústicas, de estanqueidade ao ar e a água, que segundo Fontenelle (2012) estão diretamente ligadas a habitabilidade das edificações.

Segundo o IBRACON, Carasek (2017), a argamassa de revestimento é utilizada em paredes, muros e tetos e no geral recebem acabamentos como pintura, revestimentos cerâmicos, laminados, etc. Onde tem como função proteger a alvenaria e a estrutura do intemperismo, garantindo segurança ao fogo, resistência à desgaste e abalos superficiais, além de também auxiliar no isolamento térmico acústico e estanqueidade da água. Para que haja o bom desempenho das argamassas de revestimento, é necessário se atentar as propriedades de trabalhabilidade, consistência e adesão inicial no estado fresco das argamassas e, retração, aderência, permeabilidade, capacidade de absorver deformações e resistência mecânica no estado endurecido.

De acordo com Kaya e Kar (2016), para melhorar o conforto térmico nas edificações, é necessário a utilização de materiais que garantam essa propriedade às argamassas, podendo ser realizado a substituição parcial ou total dos agregados naturais.

Conforme Farias (2021), um dos materiais que pode ser utilizado na substituição do agregado natural é o EPS, pois este aumenta a eficiência térmica e diminui a densidade das argamassas, resultando em argamassas leves.

Oliveira e Ugarte (2004), descrevem que a vermiculita expandida dentro da construção civil possui diversas aplicações, como enchimento de pisos e divisórias, isolamento termo acústico, pode ser utilizado também como placas de parede e empregado como material a prova de fogo.

Segundo Barroca (2013), a inserção de agregados leves às argamassas de revestimento causa a alteração de suas propriedades, esses em muitos casos geram melhorias termo e ou acústicas aos elementos. Porém não basta que essas características sejam atendidas, é necessário também que a mistura atenda a requisitos físicos e mecânicos. Ainda conforme o autor, para entender os resultados da inserção de um material a um produto, é necessário conhecer ao máximo suas as propriedades e características.

DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A intenção deste capítulo é abordar para o leitor as características dos materiais

e seus conceitos, para que assim possa se ter um bom entendimento das análises subsequentes.

Influência do poliestireno expandido e vermiculita em argamassas

Segundo Ambrosi (2009), um dos motivos para o EPS começar a ser utilizado na construção civil é pelo fato de ter sido um material utilizado em grande escala no ramo de embalagens, onde que o descarte era realizado de maneira incorreta, trazendo problemas à sociedade, principalmente poluição de rios e ruas, além de entupimento de esgotos.

A vermiculita de acordo com Bastos e Castro (2021) é um material de baixa densidade, condutividade, não é corrosivo, tóxico ou abrasivo, não se deteriora facilmente e é inodoro.

Para Cintra, Paiva e Baldo (2014), a vermiculita aplicada em argamassas proporciona redução de peso estrutural, aumento de absorção de água além de atuar como ótimo material termo acústico.

Desempenho Mecânico

Conforme Oliveira *et al.* (2019), a capacidade de uma argamassa suportar os esforços mecânicos depende de a argamassa possuir característica de consolidação interna, assim o emprego de materiais de diferentes propriedades resulta em resistências distintas.

De acordo com Ozorio (2016), outro fator que influencia na resistência mecânica é a densidade do material, as argamassas possuem diversos materiais, logo é necessário estudar o comportamento que a adição do EPS causará na tração a flexão, quando utilizado como substituto de agregado miúdo. Ainda segundo o autor, quanto menor a dimensão das pérolas de EPS, menos vazios, caracterizando em aumento de resistência à tração.

Segundo Farias (2021), as misturas de argamassa com substituição parcial de agregado miúdo por EPS em medidas de até 50% apresentam queda de resistência, mas ainda atendem aos requisitos mínimos estipulados por norma, sendo que nas misturas com até 20% de substituição, o material obteve um comportamento à resistência à tração próximo ao traço padrão.

No trabalho realizado de Liu e Chen (2014), foi analisada a resistência a compressão do concreto com EPS, onde concluiu-se que quanto maior a quantidade de EPS menor a resistência à compressão.

Porém para Boita e Beller (2019), houve um acréscimo de resistência a compressão de 30% para as argamassas de substituição de areia por EPS em traços de até 20%, ainda conforme o autor, outros trabalhos citam que, é possível manter a resistência a compressão das argamassas com EPS apenas dosando a quantidade de água na mistura.

Para Martins (2008), a aderência pode ser prejudicada pela absorção de água do substrato, quando há excesso de poros a água é absorvida rapidamente ocorrendo ressecamento, quando houver falta de poros a água não é absorvida, prejudicando a aderência.

A vermiculita possui estrutura porosa e leve, que quando incorporado as argamassas reduzem o peso unitário, a resistência a compressão e fazem com que as mesmas absorvam mais água, outra questão é que a pequena presença de finos nessas misturas podem prejudicar a sua resistência devido à má distribuição das partículas no empacotamento (MO *et al.* 2018, *apud* GUILHERME 2019).

De acordo com Passos e Carasek (2018), dependendo da espessura dos revestimentos as argamassas convencionais auxiliam em 30% no isolamento térmico.

A capacidade de transferência de calor de um material pode ser expressada pelo seu coeficiente de condutibilidade térmica (λ), medido em Watt por metro grau Celsius [$W/m^{\circ}C$] (SILVA 2020). De acordo com Silva (2020), a condutibilidade térmica do EPS depende de sua massa volumétrica e a capacidade térmica de um material é maior conforme o coeficiente de calor é menor.

No estudo de Passos e Carasek (2018), também fora analisado o comportamento térmico das argamassas com EPS, onde segundo os autores a propriedade isolante se dá pelo fato de o material apresentar em sua composição 98% de ar e 2% de poliestireno, conforme já mencionado antes foram realizados 4 traços, um de referência e os outros com substituições de EPS por areia em 80 e 90%, além de um traço de 90% de EPS com fibra de vidro, onde que o traço padrão apresentou uma transmitância térmica $3,33 W/(m^2,K)$ e a mistura com 80% de EPS apresentou $2,29 W/(m^2,K)$ de transmitância, sendo assim o poliestireno se comportou como material isolante, pois os níveis de transmitância foram menores na argamassa com EPS comparado ao traço padrão.

No estudo de Schackow *et al.* (2014), foi determinado que a condutibilidade térmica do concreto leve com o uso de vermiculita em 55 a 65% no volume do mesmo, apresentou condutibilidade térmica de $0,50 W/m.K$ e $0,34 W/m.K$ respectivamente, evidenciando o potencial do material como isolante térmico visto que o concreto com agregado de areia apresenta $3,50 W/m.K$.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para este trabalho foi produzido argamassas de revestimento com a substituição parcial do agregado natural (areia) por EPS e Vermiculita Expandida, cada uma em traços de 10 e 20%. Na etapa de materiais e métodos, a execução foi dividida em coleta dos materiais e caracterização dos mesmos, ensaios de caracterização da argamassa, aderência da argamassa ao substrato e por fim ensaios de desempenho térmico e acústico.

Material

Neste capítulo será abordado o material de estudo (argamassa com Vermiculita e EPS).

Preparação da argamassa

Os ensaios foram realizados no laboratório da Faculdade Educacional de Medianeira, Medianeira, Paraná.

A mistura dos materiais das argamassas foi realizada conforme a NBR 16.541 (ABNT, 2016), seguindo os traços estipulados na introdução do item 3,1.

A argamassa é elaborada realizando a substituição parcial do agregado natural (areia) por traços distintos de Vermiculita e EPS, para análise e comparação de resultados foi desenvolvida também uma argamassa referência em traço padrão (1:3, cimento; areia), conforme a tabela 1 a seguir demonstra:

Tabela 1 – Traços de substituição de EPS em volume da argamassa.

Descrição	Cimento (volume)	Areia natural (volume)	Substituição Agregado Miúdo (volume %)	Relação a/c (massa)
RF	1	3	0	0,6
E10	1	2,7	10	0,6
E20	1	2,4	20	0,6
V10	1	2,7	10	0,6
V20	1	2,4	20	0,6

Fonte: Autor (2022).

Sendo RF (traço referencial) e E10, E20, V10 e V20, os traços com substituições parciais de agregado natural areia por EPS em porcentagem de 10 e 20%.

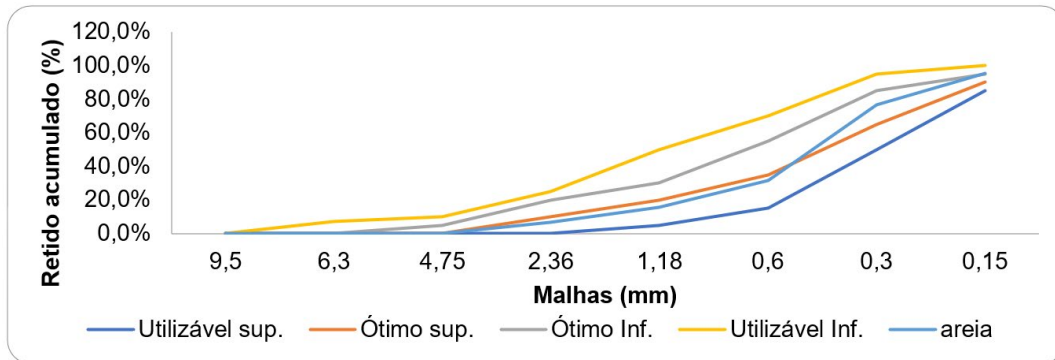
Foram realizados 2 ensaios a compressão, após a verificação das consistências, em um, foi utilizado aditivo plastificante nos traços de RF, V10 e V20 para posteriormente ser analisado a compressão das amostras com o ensaio nas mesmas proporções, porém sem aditivo, sempre mantendo o índice de água/cimento constante.

Insumos

a) Cimento: Para a confecção das placas de argamassa e corpos de prova foi utilizado o Cimento Portland CP Z – 32, cimento todas as obras da Votoran, que é composto de 71 a 94% de clínquer + gesso, de 6 a 14% de pozolana e ainda de 0 – 15 de material carbonático, Este cimento segundo a Votoran é o recomendado para o uso em argamassas de reboco, ou seja, argamassas de revestimento.

b) Areia: O agregado miúdo (areia) utilizado foi adquirido em comércio local, empresa Hildebrando, da cidade de Medianeira, Paraná.

A curva de distribuição granulométrica foi realizada conforme os procedimentos do item 5 da NBR 7211 (ABNT, 2009) e está disposta no GRÁFICO 1.

Gráfico 1 – Granulometria da areia.

Fonte: Autor (2022).

O material retido nas peneiras de 4,75mm foram descartados.

A água utilizada para o preparo de todas as argamassas se refere a água tratada de abastecimento público.

Poliestireno expandido EPS

O material de EPS foi adquirido da empresa ISOART Soluções Térmicas, localizada em Santa Tereza do Oeste, Paraná, possuindo diversas dimensões, possuindo aglomerados de pérolas de EPS que poderiam prejudicar a aplicação da argamassa e manuseio, sendo assim decidiu-se a utilização do moedor de facas para garantir uma uniformidade nas partículas, após o processo de moagem, o material de EPS utilizado em todos os ensaios foi o passante na malha de 2,36mm.

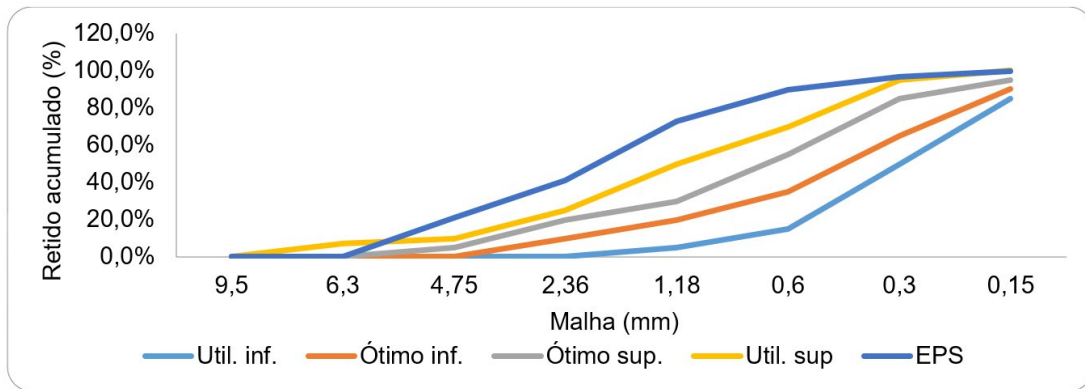
As figuras a seguir mostram a forma do material obtido e após a moagem.

Figura 1 – EPS recebido (esquerda) e triturado (direita).



Fonte: Autor (2022).

O Gráfico 2 a seguir mostra a granulometria adquirida e utilizada do EPS.

Gráfico 2 – Granulometria do EPS.

Fonte: Autor (2022).

O material de EPS utilizado se classifica como sendo de classe intermediária.

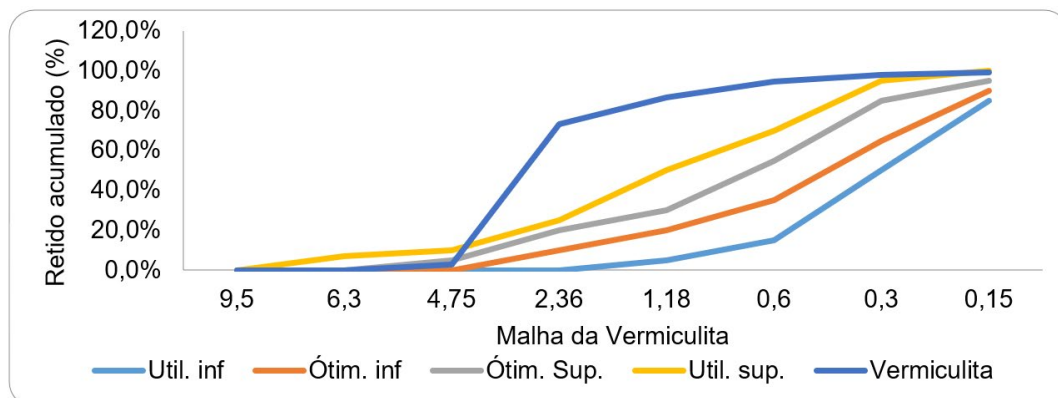
Vermiculita expandida

O material de vermiculita expandida de tamanho médio foi adquirido da empresa Portal da Acústica, localizada em Jacareí, São Paulo, para a utilização no trabalho, fora utilizado o material de granulometria passante em 4,75mm e retido em 0,150mm.

Figura 2 – Vermiculita recebido e peneirada.

Fonte: Autor (2022).

O Gráfico 3 a seguir mostra a granulometria do material de vermiculita adquirido.

Gráfico 3 – Granulometria da vermiculita.

Fonte: Autor (2022).

O material de Vermiculita utilizado é classificado como classe média em relação ao tamanho dos grãos do material.

Métodos

Neste capítulo serão apresentados os métodos para a obtenção das argamassas e realização dos ensaios.

Para a realização dos ensaios de desempenho no estado endurecido da argamassa foram seguidas as normas descritas no Quadro 1:

Quadro 1 – Ensaios para avaliação no estado endurecido.

Ensaio a ser realizado	Norma Utilizada	Tipo de corpo de prova	Dimensão (mm)	Num. de ensaios
Absorção de água, índice de vazios e massa específica	ABNT NBR 9778:2005	cilíndrico	50 x 100	10
Resistência à compressão	ABNT NBR 7215:2019	cilíndrico	50 x100	25
Resistência de aderência ao substrato e superficial	ABNT NBR 13528-1-3:2019	cilíndrico	50	60
Desempenho acústico	Adaptado, ABNT NBR 15575-4:2021	prismático	25 x 300 x 300	5
Desempenho térmico	Adaptado, ABNT NBR 15220:2022	cilíndrico	100 x 200	5
Total de ensaios				105

Fonte: Autor (2022).

Absorção de água, índice de vazios e massa específica

Ensaio realizado seguindo a norma NBR 9778 (ABNT, 2005) – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.

Para o ensaio foram confeccionados 2 corpos de prova para cada traço, onde pós cura esses CP's foram levados a estufa por 72h sendo pesados após esse período, em seguida levados a água onde ficaram por 72h até atingirem a saturação, após esse período foram fervidos por 5 horas, sempre mantendo os CP's submersos, após esse período é feita a pesagem dos corpos de prova submersos, com auxílio de balança hidrostática, em seguida estes são secos com pano e novamente realizada a pesagem e enfim os cálculos.

Figura 3 – Corpos de prova em estufa.



Fonte: Autor (2022).

Resistência à compressão axial

Para a definição da resistência à compressão das argamassas foi necessário seguir a norma NBR 7215 (ABNT, 2019) - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos, preparação das misturas, moldagem dos CP's e rompimento dos mesmos.

O ensaio tem como objetivo verificar a resistência das argamassas, para analisar se estas possuem a resistência mínima exigida. Para cada ensaio foram realizados 5 corpos de prova nas dimensões de 5 x 10 cm (raio x altura) para cada idade de rompimento (28 dias) e traço, totalizando em um número de 25 corpos de prova para o ensaio.

Figura 4 – Corpos de prova para ensaio de compressão.



Fonte: Autor (2022).

Resistência da aderência à tração

O ensaio de resistência da aderência à tração, foi realizado conforme a Norma NBR 13528 (ABNT, 2019), aos 28 dias de cura (argamassa sem presença de cal).

A argamassa foi executada sobre 5 placas de concreto com dimensões de 40cm x 80cm, uma para o traço convencional e outras 4 para o restante, para verificar a capacidade da aderência da argamassa ao substrato e entre o agregado com a pasta cimentícia.

O concreto foi dosado in loco no traço de 1:3:3 (cimento; areia; pedra num,1), com fator água/cimento de 0,6.

O chapisco utilizado para fazer a ponte de aderência do substrato de concreto com a argamassa foi o chapisco colante industrializado da marca Quartzolit.

As argamassas foram aplicadas para cada parcial de substituição de areia por EPS e Vermiculita, 10, 20% e mais o traço de referência 3 dias após a aplicação do chapisco.

Foram realizados 12 corpos de prova para cada traço, totalizando em 60 corpos de prova para ensaio de arrancamento.

Para comprovação da resistência do substrato foi executado 3 corpos de prova para cada placa de concreto resultando em resistência média do concreto de 25Mpa.

Figura 5 – Corpos de prova do substrato.

Fonte: Autor (2022).

Na primeira foto pode-se identificar as placas de concreto executadas (substrato) e seus respectivos corpos de prova, na segunda imagem, o chapisco industrializado aplicado e a aplicação da argamassa, na terceira, uma camada de em média 3 cm de espessura de argamassa aplicada em processo de cura.

Ensaio de aderência sendo executado, sendo 12 corpos de prova por traço de argamassa.

Desempenho acústico

O ensaio foi realizado de modo a atender as especificações mínimas estipuladas na NBR 15575-4 (ABNT, 2021), mas com aplicação de conceitos empíricos.

Para a realização do ensaio de desempenho acústico foi confeccionada uma caixa de madeira forrada com espuma acústica nas dimensões de 30 x 30 x 30 cm (altura, largura, comprimento), para reaproveitamento da caixa, em uma das laterais será feito o encaixe das placas de argamassa, ao todo serão 5 placas encaixáveis, uma para cada traço das misturas, nas dimensões de 30 x 30 cm com espessura de 2,5 centímetros, para reproduzir a espessura tradicional de reboco.

Onde será analisada a pressão atenuada de cada placa, processo semelhante ao ensaio de desempenho térmico, no centro da caixa vai ficar uma fonte de ruído, caixa de som, e no outro lado das placas foi posicionado o aparelho para captação de ruído (decibelímetro).

Figura 6 – Caixa acústica.

Fonte: Autor (2022).

Desempenho térmico

Será realizado o ensaio de modo a atender as especificações mínimas estipuladas na NBR 15220-5 (ABNT, 2005). Onde será analisada a capacidade que as placas possuem em transmitir calor, o método de avaliação é semelhante ao ensaio acústico, não possuindo norma a ser seguida, tratando-se de um ensaio empírico, onde a aferição das temperaturas será realizada na parte interna dos corpos de prova e na parte externa, através do aparelho para captação de calor (Termopar), buscando obter a amplitude térmica em cada material.

Para a realização do ensaio de desempenho térmico foi confeccionado cilindros de argamassa, com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm, onde que os termopares foram chumbados em seu centro, tendo assim uma capa protetora de argamassa de 2,5 cm. A leitura é feita através dos termopares por 5 horas na temperatura de 65°C, essa leitura é registrada através de um sistema de Software (Arduino) para registro das leituras em planilha.

Figura 7 – Ensaio térmico.



Fonte: Autor (2022).

Na imagem da esquerda, os corpos de prova moldados com os termopares chumbados, a direita o ensaio sendo executado, corpos de prova à temperatura de 65°C em estufa, com a leitura da temperatura e tempo sendo registrada pelo Arduino conectado com um computador.

Análise dos Resultados

Para analisar o desempenho mecânico entre os ensaios, será utilizado a análise de variância (ANOVA) que tem por definição, ser uma formula estatística que compara as variações de resultados de dois ou mais grupos indicando se há diferenças significativas ou não, esses diferenças são classificadas com significativas ou não pela coluna do fator p na tabela da Anova.

Quando p for maior que 0,05, não há diferença significativa entre os resultados, se a leitura for inferior, há diferença significativa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados e as discussões sobre os ensaios realizados com argamassa substituindo parcialmente o agregado natural por vermiculita e EPS, levando em consideração o material analisado e as características de desempenho

captadas, sendo analisados separadamente e depois analisados de forma relacionada.

Para a caracterização da argamassa foi realizado o ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica conforme a NBR 9778 (ABNT, 2005), onde obteve-se os seguintes resultados médios conforme a tabela 2.

Tabela 2 – médias dos ensaios.

Ensaio	RF	E10	E20	V10	V20
Absorção (%)	13,60	13,90	13,07	12,67	14,62
Índice de vazios (%)	24,43	25,49	24,46	21,72	21,36
Massa específica seca (ρ_s kg/m ³)	1,80	1,83	1,87	1,71	1,46
Massa específica saturada (ρ_{sat} kg/m ³)	2,04	2,09	2,12	1,93	1,68
Massa específica real (ρ_r kg/m ³)	2,38	2,46	2,48	2,19	1,86

Fonte: Autor (2023).

O ensaio de resistência à compressão foi realizado com 28 dias de cura. Após o rompimento dos corpos de prova foi coletado os dados, em seguida efetuado o tratamento estatístico analisado pelo método ANOVA e demais relações foi utilizado a média.

A tabela 3 traz a análise inicial dos resultados, onde se apresenta valores de resistência máximos e mínimos, média, desvio padrão e o coeficiente de variação atingidos pelos corpos de prova.

Conforme a NBR 7215 (ABNT, 2019) o coeficiente de variação ideal é de 6%, apenas as amostras de E20 satisfazem a condição especificada, o pico máximo de resistência foi atingido pela amostra de E10 com 19,43 Mpa e mínimo 13,43 MPa para a amostra de V10, o traço referencial foi quem apresentou melhor média.

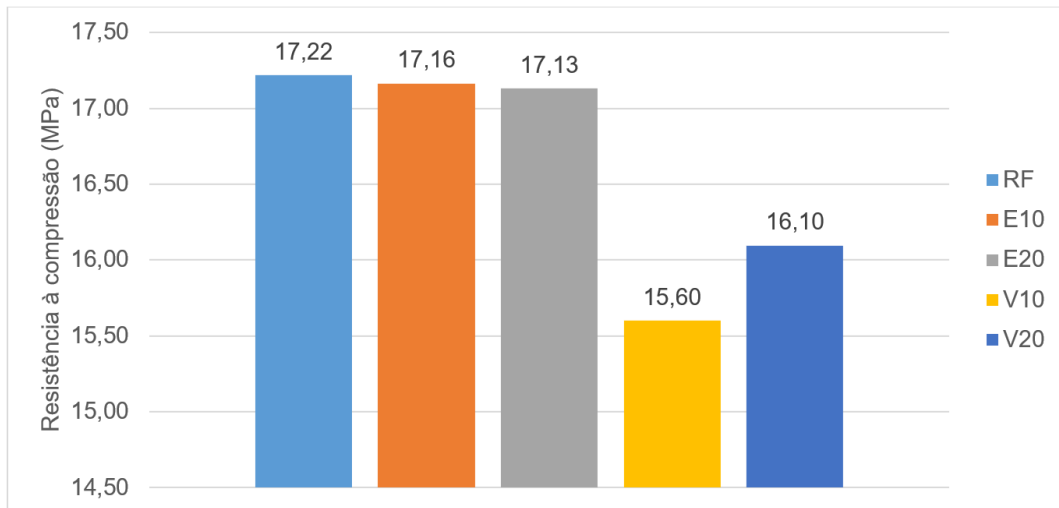
Tabela 3 - Análise inicial dos dados de resistência à compressão.

	RF	E10	E20	V10	V20
Máximos (MPa)	18,30	19,43	17,97	17,49	17,20
Mínimos (MPa)	15,37	15,12	16,19	13,43	14,17
Média (MPa)	17,22	17,16	17,13	15,60	16,10
Desvio padrão (MPa)	1,16	1,6	0,71	1,46	1,14
Coeficiente de variação (%)	6,71	9,34	4,16	9,38	7,07
Número de amostras	5	5	5	5	5

Fonte: Autor (2023).

Para feito de comparação com outros dados serão utilizadas as médias.

Analisando o gráfico 4 pode se verificar que as amostras de RF e EPS obtiveram médias semelhantes, Farias (2021) obteve resultados similares à compressão para EPS nas porcentagens de substituição de 10 e 20% e referência, já Bussolo (2020) obteve ganhos de resistência de 28,35% e 20,36% para as respectivas substituições. Os traços de vermiculita obtiveram médias de 1,0 a 1,5 Mpa menores que as demais leituras, de acordo com Diniz (2020), para se obter uma alta resistência é preciso obter uma pasta forte, característica que a vermiculita não oferece, além a mesma ser porosa, o que atinge diretamente a resistência, outro autor Koksall *et al.* (2020) diz que como a vermiculita possui estrutura mole, não há como se obter uma forte ligação da pasta cimentícia com o agregado.

Gráfico 4 - Resistência à compressão média.

Fonte: Autor (2023).

A tabela 4 a mostra a análise de variância segundo a ANOVA.

Tabela 4 - Anova para resistência à compressão sem aditivo.

ANOVA a um fator (Welch)				
	F	gl1	gl2	p
Resistência à compressão sem aditivo	1.50	4	9.74	0.275

Fonte: Autor (2023).

Observando a análise da ANOVA para o ensaio de compressão sem aditivo, é possível identificar que não há diferença significativa estatisticamente entre as amostras.

Levando em consideração a resistência a tração (R_a), todos os exemplares satisfazem a condição imposta pela NBR 13749 (ABNT, 2013), na qual todos os revestimentos de parede devem apresentar resistência igual ou superior a 0.3 MPa.

Gráfico 5 – resistência média de aderência à tração.

Fonte: Autor (2023).

Tabela 5 - Anova para ensaio de aderência à tração.

ANOVA a um fator (Welch)				
	F	gl1	gl2	p
Resistência de aderência à tração	6.20	4	27.4	0.001

Fonte: Autor (2023).

A tabela 5 indica que há variância significativa entre as amostras, já o gráfico 5 tende a indicar que o traço de V10 se assemelha ao RF, E20 e V20 também possuem características de resistência de aderência semelhante e as amostras que apresentam melhor resistência é E10, seguido pelas amostras de V20 e E20.

Cintra *et al.* (2014), diz que a resistência mecânica poderia ser considerada secundária, sendo a resistência a aderência mais importante, pois em casos de manifestações patológicas é necessário que a argamassa apresente boa aderência, ainda em seu estudo, as argamassas com vermiculitas sujeitas ao ensaio de aderência apresentaram valores próximos ao mínimo exigido por norma.

No estudo de Farias (2021), para os traços de EPS, conforme maior o percentual de substituição, menor foi a resistência de aderência obtido, os traços de 10 e 20% apresentaram redução de 17,50% e 27,50% respectivamente, em relação ao traço referencial.

Quanto aos resultados para o ensaio acústico a tabela 6 refere-se ao valor atenuado de frequência em dB e a porcentagem, levando em consideração as frequências em Hz e os tratamentos, onde cada valor é dado pela leitura ambiente menos a leitura própria inicial, é possível observar que à 30Hz não a grande variação na atenuação das placas, porem para os valores mais próximos do cotidiano em geral (intervalo de 60 – 150 Hz), os valores atenuados ultrapassam os 25%, reduzindo quanto mais próximo de 1000Hz, como foi realizado apenas 1 repetição do ensaio não foi possível analisar se há alguma variância significativa entre os dados por meio da ANOVA.

Tabela 6 – Atenuação das placas.

Frequência (Hz)	RF (dB, %)		E10 (dB, %)		E20 (dB, %)		V10 (dB, %)		V20 (dB, %)	
30	0,6	1,7	1,0	2,9	1,0	2,9	0,7	2,0	0,9	2,6
60	14,1	27,2	14,8	28,6	14,3	27,6	14,0	27,0	14,7	28,4
150	22,1	25,0	22,5	25,5	22,4	25,4	22,5	25,5	22,5	25,5
350	14,6	15,2	14,9	15,6	15,0	15,7	15,1	15,8	14,8	15,4
1000	7,8	8,2	7,8	8,2	6,6	7,0	6,8	7,2	6,6	7,0
3000	27,3	25,1	28,4	26,1	26,8	24,6	25,2	23,2	29,9	27,5
5000	29,4	30,3	18,1	18,7	16,3	16,8	20,7	21,3	16,9	17,4
8000	31,1	30,1	26,6	25,7	30,8	29,8	31,5	30,5	35,2	34,0
12000	38,8	44,0	38,5	43,7	35,6	40,4	36,2	41,1	35,5	40,3
16000	32,9	45,8	34,0	47,4	32,3	45,0	34,7	48,3	33,3	46,4

Fonte: Autor (2023).

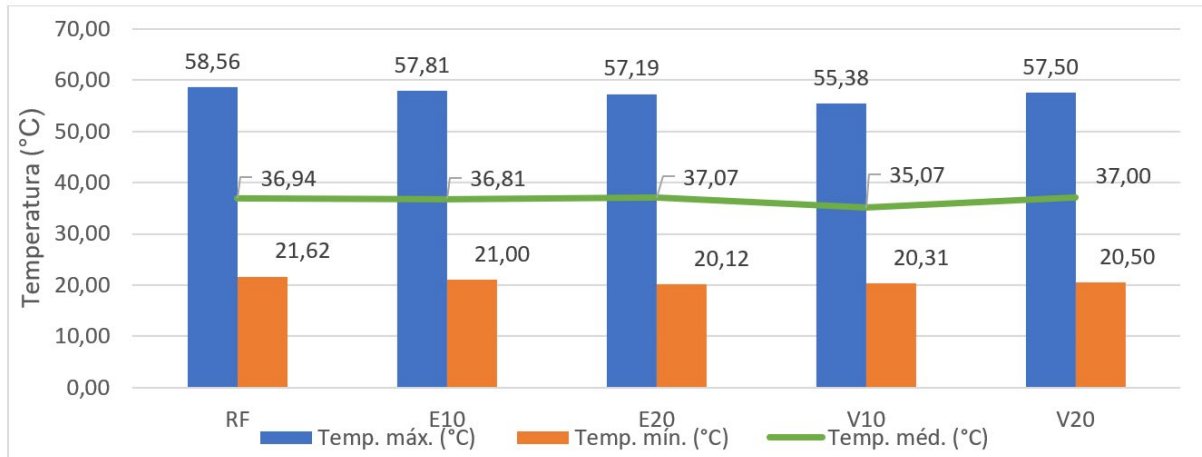
Conforme os dados atenuados, é possível verificar que até a frequência de 1000Hz não há variações significativas nas leituras em dB entre os tratamentos, que são os sons mais próximos do nosso cotidiano, ainda pode se verificar que as leituras acima de 3000Hz

são bem inconsistentes, variando conforme material e frequência.

Para o ensaio térmico foram realizadas 4 repetições, 3 foram realizadas com temperaturas ambientes semelhantes e outra com temperatura ambiente 10°C acima, essa repetição então foi descartada e as outras 3 adotadas.

Os ensaios foram realizados no período de duas horas. O gráfico 6 apresentam as médias dos três ensaios, referente as leituras máximas e mínimas e a amplitude térmica, onde é possível verificar que o tratamento de V10 obteve a menor amplitude térmica relacionada aos demais.

Gráfico 6 - Amplitude térmica.



Fonte: Autor (2023).

Para analisar se há significância entre os resultados conforme ANOVA, utilizou-se os valores de amplitude térmica das três repetições.

Tabela 7 - Anova para ensaio térmico.

ANOVA a um fator (Welch)							
	F	gl1	gl2	p			
Leituras Térmicas (°C)	1.98	4	5.00	0.236			

Fonte: Autor (2023).

A tabela 7 indica que não há variância significativa entre as amostras, mesmo que as amostras de V10 apresentem em média 2°C a menos que o restante.

Segundo Guilherme (2019), a baixa condutibilidade térmica da vermiculita está relacionado com sua alta porosidade e estrutura lamelar, com o aumento da porcentagem de substituição do agregado natural por vermiculita, maior será a quantidade de vazios na mistura e conseqüentemente de ar, que também possui baixa condutibilidade, sendo assim, as misturas com vermiculita são favorecidas nesse quesito, ainda na pesquisa, o autor afirma que a redução na condutibilidade térmica é proporcional ao teor incrementado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com as hipóteses inicialmente propostas, conforme a porcentagem de substituição da areia aumentasse, as resistências a compressão e a tração na flexão deveriam diminuir, porém não foi o caso, levando em conta os resultados médios do ensaio de compressão, os tratamentos de E10 e E20 não variaram significativamente e quanto aos traços de vermiculita, esses obtiveram resistências abaixo das demais, porém os resultados foram contrários a hipótese, pois o traço de V10 teve resistência média menor que V20.

Quando analisada a resistência à tração por compressão diametral, o comportamento foi inversamente proporcional a hipótese, onde que os traços de EPS obtiveram as menores resistências médias, sendo E10 a menor e E20 similar ao traço referencial, já os traços de vermiculita expandida proporcionaram os maiores resultados, sendo V20 o tratamento com melhor média, quando levado em consideração o traço referencial, todos os tratamentos apresentaram resultados satisfatórios.

Conforme o ensaio de resistência à aderência mostrou, todas as resistências mínimas exigidas por norma foram atendidas, os resultados para os traços de EPS condisseram com a hipótese, de que quanto maior a porcentagem de substituição, menor seria a resistência de aderência a tração, se comportando assim de maneira esperada, mas obtiveram maior resistência que o traço referencial, o que é ótimo para a utilização dos materiais em revestimento de parede e teto, as amostras de vermiculita obtiveram comportamento satisfatório, sendo mais resistentes que o traço referência, comportando de maneira contrária ao esperado, os resultados de V10 ficaram próximos, mas acima de RF, já V20 obteve resistências médias maiores.

Para os valores de atenuação acústica, todos os tratamentos se comportaram de maneira semelhante, principalmente na faixa de frequência do dia a dia que varia de 0 à 150Hz em média, para as frequências acima de 3000Hz houve variações constantes conforme frequência emitida em Hz, frequência de leitura em dB e tratamentos. Desse modo nenhum material apresentou alto desempenho acústica comparado aos demais.

Analisando as leituras de atenuação térmica, mesmo não havendo diferenças significativas estatisticamente, as amostras de vermiculita com substituição parcial de 10% se sobressaíram, apresentando uma diferença em média de 2°C sobre os demais tratamentos, quando levado em conta as temperaturas máximas e mínimas, foi um dos resultados mais sobressalentes aos demais.

Todos os ensaios mostraram que as resistências mínimas exigidas foram atendidas, ou os resultados mínimos ficaram próximos ao tratamento referencial, mas a cada ensaio mudou os desempenhos dos materiais, caso necessite de melhor isolamento acústico, é recomendado optar pela argamassa de revestimento com substituição parcial de areia por Vermiculita em 10%, caso necessite de melhor aderência é preferível utilizar a argamassa de EPS com 10% de substituição, no mais todos os traços se comportaram de maneira satisfatória, sendo assim, possível a sua utilização como argamassa para revestimento de paredes e tetos.

REFERÊNCIAS

- ABNT **NBR 7211:2009 Versão Corrigida**:2019. Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 9 p.
- ABNT, **NBR 7215:2019. Cimento Portland** – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 12 p.
- ABNT, **NBR 9778:2005. Argamassa e concreto endurecidos** – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 4 p.
- ABNT, **NBR 13528-1:2019. Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas** - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 3 p.
- ABNT, **NBR 13749:2013. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas** – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 8 p.
- ABNT, **NBR 15220:2005. Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 8 p.
- ABNT, **NBR 15575:2021. Edificações habitacionais** – Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 98 p.
- ABNT, **NBR 16541:2016. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** – Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 2 p.
- AMBROSI, Tuilara Vanzo. **Logística reversa de embalagens de isopor**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.
- BARROCA, Paula Alexandra Gil. **Comportamento reológico e mecânico de argamassas com agregados leves**. Dissertação, Covilhã, junho de 2013.
- BASTOS, Allisson Silva; CASTRO, Maycon Douglas Bastos de. **Análise de materiais utilizados no revestimento acústico em alvenaria e seu custo benefício**. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 66p. 2021.
- BOITA, Adenir; BELLER, Poliana. **Análise da substituição parcial do agregado miúdo por poliestireno expandido (EPS) na argamassa de assentamento**. Revista Tecnológica, ISSN 2358-9221, 2019.
- BUSSOLO, Claudio de Souza. **Influência do uso de poliestireno expandido (EPS) como agregado em argamassa**. Joinville, 2020.
- CARASEK, H. **Argamassas**. In: ISAIA, G, C. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 2, ed. São Paulo, IBRACON, 2010, 2v, Cap, 28.
- CINTRA, C. L. C.; PAIVA, A. E. M.; BALDO, J. B. **Argamassas de revestimento para alvenaria contendo vermiculita expandida e agregados de borracha reciclada de pneus** - Propriedades relevantes. Revista Cerâmica. São Paulo, v. 60, n.353, p.69-76, 2014.
- DINIZ, Luyse Rebeca do Nascimento. **Argamassa térmica contendo vermiculita: uma revisão sistemática da literatura sobre suas propriedades frescas e endurecidas**. Campina Grande, Paraíba. 2020.

FARIAS, Sílvio Marques. **Argamassa para revestimento com adição de resíduo de eps**. Passo Fundo, 2021.

FONTENELLE, Heitzmann. **Sistema de fixação e juntas em vedações verticais constituídas por placas cimentícias**: estado da arte, desenvolvimento de um sistema e avaliação experimental. 2012. - Universidade de São Paulo, 2012.

GUILHERME, Deize Daiane Pinto. **Estudo de desempenho térmico e mecânico em argamassas de revestimento com substituição do agregado natural pela Vermiculita Expandida**. Natal, 2019.

KAYA, A.; KAR, F. **Properties of concrete containing waste expanded polystyrene and natural resin**. Construction and Building Materials. Science Direct, Elazig, vol. 105, 2016.

KOKSAL, F. *et al.* **Characteristics of isolation mortars produced with expanded vermiculite and waste expanded polystyrene**. Construction and Building Materials 236 (2020) 117789.

LIU, Ning; CHEN, Bing. **Experimental study of the influence of EPS particle size on the mechanical properties of EPS lightweight concrete**. Construction and Building Materials, 2014.

MARTINS, André Miguel Malha. **Estudo da influência da dosagem de cimento no desempenho de argamassas de reboco**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, 2008.

OLIVEIRA, Lucas Santos Menezes e; UGARTE, José Fernandes de Oliveira. **Utilização da vermiculita como adsorvente de óleo da indústria petrolífera**. Centro de Tecnologia Mineral - CETEM. [S.I.]. 2004.

OZÓRIO, Bianca Pereira Moreira. **Concreto leve com pérolas de EPS: estudo de dosagens e de características mecânicas**. Tese de Doutorado, São Carlos, São Paulo, 2016.

PASSOS, P. M.; CARASEK, H. **Argamassas com resíduos para revestimento isolante térmico de parede pré-moldada de concreto**. Cerâmica, [S.L.], v, 64, n, 372, p, 577-588, dez, 2018, Fap, UNIFESP (SciELO).

SILVA, Max Weverton Moreira. **Placas cimentícias produzidas com a incorporação de pérolas de poliestireno expandido (EPS)**. Tucuruí, Para, 2020.

O projeto jamovi (2023). **Jamovi**. (Versão 2.4) [Software de computador]. Recuperado de <https://www.jamovi.org>.

Equipe principal do R (2022). **Uma linguagem e um ambiente para computação estatística**. (Versão 4.1) [Software de computador]. Recuperado de <https://cran.r-project.org>. (Pacotes R recuperados do instantâneo CRAN 2023-04-07).

Estudo das patologias em asfalto: processos de prevenção e recuperação

Study of asphalt pathologies: prevention and recovery processes

Jaqueline Fernanda Vazzoler

Graduanda do Curso de Engenharia Civil da Universidade de Araraquara – UNIARA

Gerson de Marco

Orientador. Docente do Curso de Engenharia Civil da Universidade de Araraquara - UNIARA. Araraquara-SP

RESUMO

As condições e durabilidade do asfaltamento nas cidades brasileiras é motivo de discussão e preocupação, relacionadas tanto à segurança como ao custo. O objetivo deste estudo é demonstrar quais são as principais patologias no asfalto em cidades brasileiras e os processos de prevenção e recuperação que vem sendo utilizados como solução. Por meio de revisão de literatura, foram selecionadas cinco publicações que realizaram estudos de campos de avaliações de patologias em pavimentos de vias da zona urbana, entre 2019 a 2023. As mesmas patologias foram identificadas em todos os estudos em diferentes regiões do país, mas as panelas ou buracos e as trincas do tipo jacaré foram as mais estudadas. Foi consenso de que ocorre um agravamento das patologias, mas as causas são múltiplas, desde ordem do projeto técnico até materiais e operacionais. No entanto, as chuvas são citadas como fatores para rápido agravamento das manifestações patológicas. Para mudar esse quadro é avaliada a necessidade de aprofundamento dos estudos regionais e técnicos, além de reparação diante dos primeiros sinais patológicos no asfalto.

Palavras-chave: asfalto. patologias. prevenção. recuperação.

ABSTRACT

The conditions and durability of asphaltting in Brazilian cities is a reason for discussion and concern, related to both safety and cost. The objective of this study is to demonstrate the main pathologies on asphalt in Brazilian cities and the prevention and recovery processes that have been used as



a solution. Through a literature review, five publications were selected that carried out field studies evaluating pathologies on road pavements in urban areas, between 2019 and 2023. The same pathologies were identified in all studies in different regions of the country, but the pans or holes and alligator-type cracks were the most studied. There was a consensus that there is a worsening of pathologies, but the causes are multiple, from technical design to material and operational. However, rains are cited as factors for the rapid worsening of pathological manifestations. To change this situation, the need for in-depth regional and technical studies is assessed, as well as repairs in the face of the first pathological signs on the asphalt.

Keywords: asphalt. pathologies. prevention. recovery.

INTRODUÇÃO

A qualidade asfáltica encontrada em rodovias e ruas no Brasil é motivo de muitas discussões em relação à durabilidade, investimento, recuperação e riscos. As discordâncias ou possibilidades são desde o tipo de material e técnica utilizada até os padrões e custos para a manutenção dos pavimentos.

A engenharia nesse segmento visa garantir vias pavimentadas com qualidade e durabilidade, o que se tornou um desafio num país com grande variação de temperatura e umidade, grandes períodos de chuva e alto fluxo por conta do volume de veículos leves em trânsito, problemas com drenagem, rachaduras, buracos, ondulações e demais patologias se tornam comuns.

Diante desse cenário, quais são as principais patologias encontradas no asfaltamento brasileiro? Esse é um tema que vem sendo pesquisado pela engenharia civil ao longo do tempo, mediante avanços tecnológicos em relação aos produtos, máquinas, processos e técnicas utilizadas.

O objetivo principal deste estudo é demonstrar quais são as principais patologias no asfalto de cidades brasileiras e os processos de prevenção e recuperação que vem sendo utilizados como solução. Para isso, os objetivos específicos estão centrados em relatar o processo de asfaltamento utilizado nas cidades brasileiras; pontuar as principais patologias, causas e frequências de identificação.

Para abordar o contexto das patologias em asfalto é necessário compreender diferentes influências, desde o projeto considerando todas as camadas do pavimento (base, sub-base e revestimento), os efeitos das misturas em asfalto e a drenagem.

Será realizada pesquisa bibliográfica a fim de encontrar respostas que expliquem as causas das patologias em asfalto e os resultados dos processos que vem sendo aplicados como solução para os problemas. Utilizando como palavras-chave “asfalto”, “patologias em asfalto”, “recuperação de pavimentos” e “prevenção asfáltica”, as buscas serão realizadas no Google Acadêmico e Scielo, no período 2019-2023.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

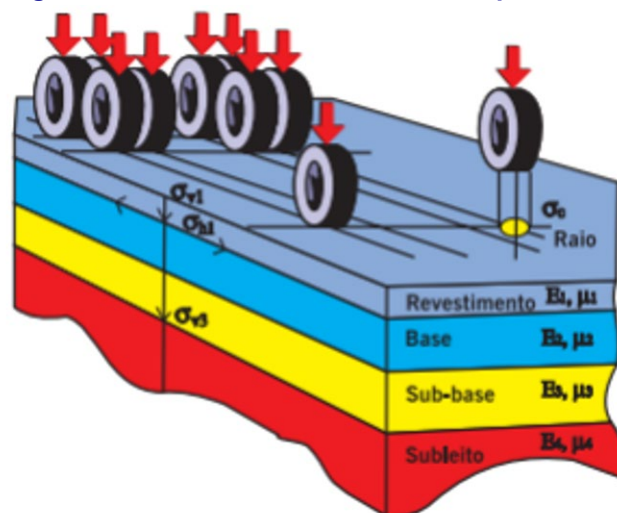
Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança (BERNUCCI *et al.*, 2008, p.9).

Essa definição, que está no livro Pavimentação Asfáltica, destinada à formação de engenheiros, serve bem para entender por que não basta apenas asfaltar, é preciso cuidar de toda a estrutura manter e recuperar a estrutura para ter trajetos de alta qualidade.

De acordo com a NBR 7207 - Terminologia e classificação de pavimentação (09/2014), o pavimento é uma estrutura construída após a terraplenagem e destinada economicamente e simultaneamente em seu conjunto a: resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego; melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança; e resistir aos esforços horizontais que nele atuam tornando mais durável a superfície de rolamento.

Apavimentação no Brasil ainda se caracteriza, em sua ampla maioria, na combinação de brita graduada e Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ). O método mais conhecido e utilizado no Brasil para cobertura asfáltica é o que envolve misturas com derivados de petróleo usinados com mistura quente, porém muitas vezes não é feito o controle de temperatura, tanto na aplicação de camadas de asfalto quanto para o reparo de pavimentos.

Figura 1 – Sistema de camadas de um pavimento.



Fonte: Albernaz (1997) apud Bernucci *et al.* (2008)

Segundo Nakamura (2011), o CBUQ, é o mais empregado no Brasil, uma mistura de agregados de vários tamanhos e cimento asfáltico, ambos aquecidos em temperaturas previamente escolhidas, em função da característica viscosidade-temperatura do ligante. Isto se deve ao fato da produção desse material ser realizada em usinas dosadoras e misturadoras a quente, proporcionando um amplo controle da produção, do traço e da aplicação.

Branco (2010) afirma que os tipos de asfalto mais comuns são constituídos quase que exclusivamente de betume, uma substância composta de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs). Os principais tipos de asfalto usados na construção de asfalto são: cimentos asfálticos de petróleo (CAP), asfaltos diluídos de petróleo (ADP), emulsões asfálticas iônicas, não - iônicas e catiônicas, emulsões asfálticas aniônicas, asfaltos oxidados por catálise (catalíticos), além dos tipos de asfaltos poliméricos e concreto betuminoso usinado a quente.

Bernucci *et al.* (2008, p.159) afirma que todos esses tipos de misturas asfálticas a quente podem ser utilizados como revestimento de pavimentos de qualquer volume de tráfego, desde o muito baixo até o muito elevado, sendo que os tipos especiais, SMA e CPA, sempre são colocados sobre outra camada preexistente de concreto asfáltico ou de outro material.

O bom desempenho de revestimentos e de tratamentos superficiais asfálticos depende da utilização de procedimentos corretos em diversas etapas, conforme lista Bernucci *et al.* (2008, p. 375): “projeto estrutural, escolha adequada de materiais e formulações de proporções ou misturas que atendam os condicionantes de uso do revestimento”, além de técnicas adequadas de produção, distribuição e execução das camadas asfálticas.

Camargo (2013) explica que as pesquisas e discussões acadêmicas sobre pavimentação são vastas e remontam a décadas e décadas, mas, no dia a dia da engenharia de pavimentação no Brasil, a realidade ainda é bastante diferente, pois apenas as autoestradas demonstram uma qualidade superior em pavimentação. Principalmente em decorrência do custo, além da falta de pesquisas, mesmo que ocorra um, avanço de tecnologia, não chega ao mercado na proporção e conformidade necessária para atender os usuários de pavimentos nos municípios brasileiros.

Segundo Penz (2010, p.12), a camada de revestimento, que é a superior do asfalto, é a que recebe os maiores carregamentos e tem como função “resistir aos esforços de tração, compressão, fadiga, possuir durabilidade e flexibilidade, ser impermeável e melhorar as condições de rolamento”. Dessa forma, é relevante compreender se os mecanismos de prevenção e recuperação utilizados na atualidade estão surtindo efeitos e se existem alternativas com resultados melhores.

Bernucci *et al.* (2008, p. 10) explica que, dependendo do tráfego e dos materiais disponíveis, pode-se ter ausência de algumas camadas. As camadas da estrutura repousam sobre o subleito, ou seja, a plataforma da estrada terminada após a conclusão dos cortes e aterros.

Os pavimentos permeáveis possuem vazios em sua estrutura, o que possibilita a penetração da água, principalmente diante do acúmulo de água das chuvas, mas o escoamento superficial é de até 100%, dependendo da intensidade da chuva. Assim, existe a busca constante de tecnologias alternativas, especialmente para solucionar a alta deterioração de pavimentos nos centros urbanos, seja no Brasil, na América do Norte ou na Europa, combinando drenagem e durabilidade em pavimentos porosos ou permeáveis (BARROS; BOAVENTURA, 2019).

A impermeabilidade ou resistência à penetração da água da chuva também é uma

das grandes preocupações na camada superior do asfalto. Na área urbana as preocupações são em relação às enchentes e acúmulo de água e nas rodovias além do escoamento, a necessidade de um piso impermeável, capaz de secar rápido e evitar que a água penetre nas outras camadas, que gere derrapagens e acidentes (BARROS; BOAVENTURA, 2019).

O pavimento deve resistir na parte superior e na segunda camada a fim resistir às ações do tráfego de maneira a aliviar as tensões no revestimento em qualquer condição. Deve ser capaz de distribuí-las para as camadas inferiores (Sub-base, reforço do subleito e regularização, responsáveis pela correção de falhas e compactação do solo), além do leito e subleito (BARROS; BOAVENTURA, 2019; CNT, 2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a seleção foram escolhidos os estudos encontrados que apresentavam análise de campo das patologias em asfalto ou testagem prática, referente ao período dos últimos cinco anos (2019 a 2023). Foram encontradas cinco publicações com esse perfil, conforme apresenta-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Artigos selecionados que discutem as patologias em asfaltos.

Autor/ Ano/ Local	Título	Objetivo	Resultado	Hiperlink
Barros; Boaventura 2019 Palmas- TO	Estudo experimental do desempenho de pavimentos permeáveis como alternativa de redução do escoamento superficial em áreas urbanas	Avaliar o desempenho do pavimento permeável em relação à capacidade de infiltração das águas pluviais, visando à redução do escoamento superficial em áreas urbanas	Simulação em pavimento permeável em blocos intertravados demonstrou absorção da precipitação nos 9 minutos iniciais. Nos blocos vazados praticamente não ocorreu escoamento superficial; os blocos em concreto poroso demonstraram uma ótima capacidade de infiltração, conseguindo comportar em seu interior 7,2 litros/ 7,2mm instantânea de chuva.	https://revistas.ufg.br/reec/article/view/61831
Melo 2021 Catalão-GO	Patologias em pavimentos das vias de tráfego no DIMIC-Catalão	Estudar as causas, consequências e possíveis soluções para as patologias em asfalto	Necessidade de monitoramento constante e ações corretivas, além de conservação, pois o estudo mostrou um alto tráfego que impacta na segurança das pessoas e na economia da região	https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/17300/1/TCC%20-%20Daniel%20Oliveira%20Melo.pdf
Macenhan; Souza; Faria 2021 Joinville- SC	Estudo de patologias em pavimentos flexíveis de vias do município de Joinville - SC	Estudar os tipos de patologias decorrentes em um pavimento, pontuar as causas desses defeitos nos pavimentos e associar soluções aos defeitos encontrados na rua estudada.	Maior incidência de patologias foram trincas tipo couro de “jacaré”, panelas e buracos, causadas possivelmente por aplicação de concreto e micro revestimento Asfáltico com dimensões inadequados ao tráfego de caminhões com cargas pesadas. Necessidade de redimensionamento.	https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/14628/1/Francieli%20Macenhan%20e%20Fernando%20Raoni%20-%202021_FINAL_12-07-2021.pdf

Autor/ Ano/ Local	Título	Objetivo	Resultado	Hiperlink
Alves 2023 Formosa - GO	Análise das manifestações patológicas dos pavimentos da Avenida Maestro João Luiz do Espírito Santo no município de Formosa	Realizar o levantamento das manifestações patológicas na pavimentação da Avenida Maestro João Luiz do Espírito Santo, da cidade de Formosa-GO	O trecho sofreu problemas na elaboração da pavimentação e apresentou problemas de drenagem da água da chuva. Necessidade de aplicação de métodos de manutenções para cada patologia encontrada nos dois trechos comparados.	https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/1415/1/W%20Caroline%20Sousa%20Alves.pdf
Ferreira et al. 2023 Contagem-MG	Surgimento de patologias em pavimentos flexíveis em vias urbanas: um estudo de caso do trecho da avenida Tereza Cristina no município de Contagem – MG.	Analisar as patologias existentes no trecho de 750 metros de avenida e identificar causas e propor possíveis soluções..	Problemas multifatoriais, como falhas no manejo de águas pluviais e erros em rede fluvial, que ; danos ao pavimento por veículos de alta capacidade; falta de manutenção preventiva e uso de técnica inadequada ao piso. O que exige planejamento e sistemas de micro e macrodrenagem, estruturas de retenção e detenção.	https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/35960/1/TCC%20-%20Patologias%20em%20pavimentos%20flex%c3%adveis%20em%20vias%20urbanas%20-%20Coment%c3%a1rios%20da%20banca%20atendidos.pdf

Fonte: Autoria própria (2023)

As publicações apresentam casos de patologias em asfalto em diferentes regiões do país, mas pode-se afirmar que os relatos são bastante semelhantes, com indicações associadas às chuvas ou problemas com materiais e técnicas. Além dos estudos de casos, a pesquisa ainda encontrou publicações que traziam revisões de literatura com relato de patologias em asfalto semelhantes, com mesmas causas, soluções e indicadores de recorrência, como verifica-se em Freitas Junior *et al.* (2020); Araújo Junior; Sousa e Ramos (2021); Lima; Matos (2022); e Abreu, Santos; Pires (2023).

Quatro estudos selecionados se referem a observação de campo de asfaltos em ruas e avenidas nas cidades de Formosa (GO), Catalão (GO), Contagem (MG) e Joinville (SC), sendo assim, duas no Centro-Oeste, uma no Sudeste e outra no Sul do país. O estudo de Palmas (TO) foi realizado com testagem em laboratório em relação à permeabilidade de diferentes tipos de pavimentos.

Alves (2023), que avaliou a pavimentação em duas avenidas em Formosa-GO, listou 12 manifestações patológicas distintas: fissuras transversais e longitudinais, trincas transversais, longitudinais, tipo bloco, couro de jacaré, buraco ou panela, afundamentos de consolidação e consolidação com trincas, corrugação, desgaste e remendo.

As chamadas panelas ou do tipo de jacaré foram as patologias mais relatadas. Melo (2021) identificou a predominância em ruas pavimentadas avaliadas em distrito industrial de Catalão, em extensão de 1,9 km. Para a análise, os pesquisadores realizaram medições com trenas como forma de registrar a extensão e profundidade das manifestações patológicas no asfalto, além de obter ainda uma visão geral por meio de identificação por imagem do local através do uso do software Google Earth Pro.

A observação da região, antes, durante e após o período de levantamento de dados,

permitiu identificar que, mesmo quando ocorre a manutenção por meio de reparos com tapa buraco ou novo revestimento, em pouco tempo já surgem novas manifestações patológicas. Segundo Melo (2021), a região tem grande fluxo de caminhões carregados e veículos em função de agrupar muitas indústrias, que geram a movimentação de pessoas que trabalham nos locais e de materiais.

Melo (2021) identificou que antes da formação de painéis surgem outras patologias, como exsudação, trincas e escorregamento, que são indicações primárias, mas que se agravam e deterioram os trechos asfaltados, determinando a necessidade de recapeamentos e demais intervenções a fim de amenizar os problemas.

Essa justificativa é corroborada em Pinto (2003) e Melo e Cancian (2018), que afirmam que as painéis surgem com a evolução de outras patologias, como fendas, desgastes, afundamentos e falta de aderência entre camadas, causando um buraco ou cavidade, afetando estruturalmente o pavimento e permitindo a entrada de água entre as camadas, prejudicando a funcionalidade, a estrutura e aumentando o risco aos usuários (MELO, 2021).

Foram encontrados buracos em média com 138 cm, sendo que o maior média 242 cm de extensão, já a profundidade de 6 cm foi a média da maioria analisada. Foram registrados aproximadamente 20 casos no trecho avaliado, que era inferior a dois quilômetros, isso significa que havia uma patologia a cada 100 metros. O entendimento de Melo (2021), é de que a falta de intervenções prévias e que causaram o agravamento da situação no local.

Macehan, Souza e Faria (2021), que estudaram um trecho de 6,9 km em vias do bairro Boa Vista, em Joinville – SC, para verificar as principais patologias identificadas no pavimento flexível, por meio de inspeção visual e tátil, com registros fotográficos, apontaram os buracos ou painéis, remendos e trincas como as mais incidentes, com aumento da percepção após períodos de chuvas, decorrentes da circulação de caminhões com cargas muito pesadas e pelo uso da população local.

As patologias que se mostraram mais recorrentes foram as painéis, remendos e as chamadas couro de jacaré, com ou sem erosão. Dessa forma, os pesquisadores entenderam que embora as patologias do tipo painel tendem a ser mais preocupantes, em função do risco de acidentes, as trincas de jacaré são as mais encontradas (MACEHAN, SOUZA, FARIA, 2021).

Conforme definições do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de restauração de pavimentos asfálticos. Publicação IPR-720. Ministério dos Transportes (DNIT), a trinca do tipo couro de jacaré é na verdade um conjunto de fendas interligadas, sem direções preferenciais, que podem ou não apresentar erosão nas bordas, geradas por colapso do revestimento em decorrência das ações de repetição do tráfego.

Assim como relatado por Macehan, Souza e Faria (2021), Melo (2021) e Alves (2023), a verificação de campo de Ferreira et al. (2023), realizada em avenida do município de Contagem (MG), com registros fotográficos, também agregou os mesmos tipos de patologias em pavimento flexível, com trincas interligadas (couro de jacaré), painel ou buraco, remendo e afundamento de trilha de roda. Mas mediante uma avaliação mais

extensa de toda região, os autores destacaram as causas para o surgimento das patologias, além das mais comuns, que são tráfego alto e de carga.

Ferreira *et al.* (2023) identificou que a região estudada conta com manejo de águas pluviais de bairros vizinhos, assim ocorre um acúmulo da região das águas das chuvas, além da precipitação exclusiva no local, agravado ainda pelo acolhimento do canal do Ribeirão Arrudas, que acaba agregando maior volume de água no solo. Assim, a ação dos bairros vizinhos e o fluxo de veículos por ser uma avenida de interligação com demais municípios no entorno de Contagem (Belo Horizonte, Ibirité e Sarzedo), gera um fluxo e carga muito além do dimensionado para o trecho.

Causas das patologias em asfalto e soluções encontradas

É possível afirmar que as causas para as patologias em asfalto em zona urbana são multifatoriais e são facilmente identificadas em diferentes regiões da mesma cidade, diversos municípios e regiões do país. Entretanto, os tipos de projetos realizados e as técnicas de reparo podem influenciar nos resultados observados quanto às causas e soluções.

As pequenas fissuras são o primeiro indicativo de patologias e como facilita a penetração de água no interior da pavimentação, gera o amolecimento das camadas do pavimento e com os esforços do tráfego resultam em diferentes patologias (SILVA, 2008). As fissuras transversais e longitudinais podem ocorrer também por má dosagem do asfalto ou compactação em momento inadequado, ou excessiva. O subdimensionamento ou má qualidade da estrutura de uma das camadas do pavimento é outra fator, além de baixa capacidade de suporte do solo, envelhecimento do pavimento, asfalto duro ou quebradiço (ALVES, 2023; MACEHAN; SOUZA, FARIA, 2021).

O DNTI (2005) indica que as trincas de fadiga são as principais causas do futuro buraco, que vão aparecendo em forma de desintegração na superfície do pavimento, deficiência na compactação, umidade excessiva em camadas de solo e falha na imprimação. Portanto, não é possível identificar apenas a patologia, mas a sua gravidade, que segundo Melo *et al.* (2018), pode ser classificada entre Baixa (< 25mm), média (25 ~ 50 mm) e alta (> 50 mm), em relação à profundidade.

Alves *et al.* (2008) concorda que as panelas são consequência evolutivas de problemas pré-existentes que surgem em função de desgastes, fendas, afundamentos e falta de aderência entre camadas que podem ser associadas a problemas de execução, tráfego intenso, falta de manutenção preventiva e influência de sistemas de drenagem insuficientes.

Foi realizado um levantamento in loco, e pode-se verificar uma grande quantidade de imperfeições ao longo da trajetória, como panelas, trincas e remendos e em alguns locais observou-se mais de duas patologias ocorrendo simultaneamente.

Após destacar que as principais causas identificadas no estudo de campo realizado, que foram excesso de chuvas na região, utilização intensa das vias e circulação excessiva de caminhões com cargas, Macehan, Souza e Faria (2021) destacam que foi possível observar a condição de ressecamento, pois com o passar do tempo o pavimento perde a

sua elasticidade, poder de ligação e resseca, que é o que gera o surgimento das fissuras. Com a chuva e o tráfego ocorre o esfarelamento do piso e as patologias vão se agravando se não cuidadas.

Alves (2023) pontua que o uso inadequado de materiais, a má elaboração e execução de projeto e a falta de manutenção tem sido identificados como fatores que justificam o aumento da quantidade de patologias e, também, o crescimento do relato de caso, com consequências financeiras, na segurança e no conforto dos usuários dos pavimentos e dos executivos municipais. Alves (2023) cita como exemplo que falhas em ligas da camada betuminosa podem acelerar o desgaste e fazer com que placas se soltem e a partir daí oc.

O que se observa na revisão da literatura realizada é que, em geral, os primeiros sinais de patologia não recebem a devida atenção, principalmente quando, embora aparentes, não impactam o trânsito do local. Em geral, as patologias que são mais graves, como os buracos, que são principais causadores de acidentes, e que, portanto, já representam um estágio avançado da patologia, é o que costumam receber remendos tapa buracos ou revestimento em algum trecho.

A trinca isolada transversal, que é um defeito funcional e estrutural, e que pode ser a porta de acesso para a água de chuva, e apresenta demais problemas, como o fenômeno do bombeamento de finos, que é a saída de água pelas trincas do pavimento, o que pode gerar o deslizamento do pavimento ou indicar problemas de drenagem subterrânea (ALVES, 2023)

Principais soluções encontradas

Existem diferentes tipos de soluções para o reparo de patologias em asfalto, mas divididas entre duas frentes, as restaurações estruturais e as funcionais. Soluções que visam, principalmente, a retomada do tráfego com menor risco ou desconforto se resumem a remendos, operações tapa buraco e revestimento em pequenos trechos. Já as mudanças estruturais se fundamentam em análise do solo e decisão sobre a melhor metodologia para as condições da área, considerando fluxo, aporte de água, clima e demais fatores (MACEHAN, SOUZA, FARIA, 2021; ALVES, 2023; FERREIRA *et al.*, 2023).

O concreto asfáltico e o micro revestimento asfáltico são as soluções para restauração funcional. Porém deve-se considerar a quantidade de camadas necessárias para suportar a carga e fluxo, pois somente a consideração da superfície e sua permeabilidade não garantem a durabilidade. As principais diferenças citadas por Macehan, Souza e Faria (2021) é que o concreto asfáltico é aplicado a frio, sem necessidade de preparação do piso, o micro revestimento asfáltico também é a frio, mas necessita de limpeza e preparação prévia, e o a quente. Esses são opções ideais como impermeabilizante, substituição de revestimentos antigos e desgastados e proteção. O micro revestimento sela fissuras, melhora a estética, eleva o atrito com o pneu e pavimento.

Alves (2023) defende a necessidade de bom planejamento e execução para resultados mais duradouros e satisfatórios, com definições fundamentadas pelos planos diretor de uso e ocupação do solo, de saneamento básico, drenagem, cadastro técnico de obras e regulação dos serviços. Ações de microdrenagem são fatores que limitam a infiltração de água e ajudam a manter a estrutura dos pavimentos.

Nesse sentido, Ferreira *et al.* afirma que se faz necessário realizar testes laboratoriais com amostras retiradas, entre outras análises, para que se busque uma solução com maior durabilidade e efetividade. Mesmo que existem várias técnicas possíveis de serem aplicadas, pode não ser adequada para determinada região em decorrência dos condicionantes locais.

Como forma de testagem para identificar o tipo de piso ideal para cada uso, Barros e Boaventura (2020) realizaram estudos de testagem prática. Os autores consideraram características regionais de clima e tipo de tráfego reproduzida em laboratório a fim de identificar a permeabilidade de diferentes tipos de pavimentos que seriam mais adequados para a cidade de Palmas, no Tocantins.

O ensaio de simulação realizado pelos autores demonstrou a capacidade de permeabilidade dos pisos considerando apenas a capacidade de infiltração, o que ocorreria localmente em decorrência de chuvas. Eles identificaram que pisos de blocos intertravados apresentam escoamento superficial inferior comparado a uma superfície pavimentada em concreto ou em asfalto, com absorção de até 9 minutos iniciais, mas pode contribuir para evitar o escoamento rápido de pavimentos impermeáveis.

Os blocos de concreto também demonstraram potencial de infiltração, o que seria relevante em caso de pisos para trânsito de veículos leves, como estacionamento de shopping centers. Mas ressalta-se que nenhum dos pisos testados por Barros e Boaventura (2019) considerou a condição de alta carga e fluxo, concomitantemente, e que em todos os casos analisados foi reforçada a necessidade de manutenção constante, o que em vias urbanas é o principal fator de impacto para a evolução das patologias, como discutiu-se anteriormente. De outro lado, os autores defendem que sistemas permeáveis são relevantes para a redução de inundações urbanas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos realizados nesse artigo cumpriram integralmente os objetivos propostos, sendo capaz de indicar as principais patologias em pavimentos asfálticos e suas causas, encontradas em cidades brasileiras nas variadas regiões.

Obras com falhas de impermeabilização, especialmente em contexto dos pavimentos, parece ser um fator comum aos municípios, com alto índice de recorrência, inferindo em necessidade constante de investimento para a reparação.

As ruas e avenidas que apresentam maior fluxo de veículos, principalmente caminhões de cargas, apresentam deterioração mais rápida. As trincas evoluem rapidamente para panelas, sendo encontradas com poucos metros de distância em trechos muito pequenos.

O entendimento é que para a solução mais duradoura, a fim de reduzir a quantidade de patologias, que parece estar em constante crescimento, são necessárias políticas públicas que estejam voltadas mais ao investimento estrutural em relação aos pavimentos urbanos do que os funcionais.

A percepção geral dessa revisão de literatura é de que o ritmo de recuperação das patologias é muito inferior a velocidade em que evoluem. Nesse sentido, acredita na

necessidade de ampliação dos estudos em termos de projetos e tecnologias capazes de mudar essa balança.

Essa é uma abordagem que, entende-se, necessita ser realizada em estudos futuros, a fim de verificar o quanto o nível de estudos científicos para boa durabilidade dos pavimentos no Brasil, considerando as extensas diferenças em termos climáticos que existem no país.

REFERÊNCIAS

ABREU, H.I.; SANTOS, L.R.; PIRES, R.C.S. **Um Estudo Sobre Manifestações Patológicas em Pavimentação Asfáltica**. Epitaya E-Books, v. 1, n. 32, 192-203 p., 2023.

ALVES, Wélida Caroline Sousa. **Análise das manifestações patológicas dos pavimentos da Avenida Maestro João Luiz do Espírito Santo no município de Formosa - GO**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Formosa, 2023.

ARAÚJO JUNIOR, Edberto M.; SOUSA, João P.N.; RAMOS, Saulo P. **Patologias em pavimentos flexíveis**. Cadernos de Graduação, v.5, n.9, 2021. Disponível em: https://flucianofejao.com.br/ffl/wp-content/uploads/2022/12/PATOLOGIAS_EM_PAVIMENTOS_FLEXIVEIS-1.pdf. Acesso em: 20 jul. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7207. **Terminologia e classificação de pavimentação**. Set. 2014. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/7937/nbr7207-terminologia-e-classificacao-de-pavimentacao>. Acesso em: 18 abr. 2023.

BARROS, Enicleia N. S.; BOAVENTURA, Saymon M. **Estudo experimental do desempenho de pavimentos permeáveis como alternativa de redução do escoamento superficial em áreas urbanas**. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 15, n. 2, p. 300-313, 2019.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 4ª reimpr. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA, 2008. Disponível em: <https://www.wbl-nkn.com.br/assets/biblioteca/pavi-asfaltica/cap1.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2023.

BRANCO, R. **Tipos de asfalto para construção**. Site Manutenção e Suprimentos. 11 maio 2018. Disponível em: <https://www.manutencaoesuprimentos.com.br/tipos-de-asfalto-para-construcao/#gsc.tab=0>. Acesso em: 18 abr. 2023.

CAMARGO, J.A. **Aplicação do micro revestimento asfáltico nas estradas e cidades**. JA Camargo Consultoria. Taubaté, dezembro, 2013.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa Rodovias 2022**. Disponível em <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/>. Acesso em: 18 abr. 2023.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. Publicação IPR-720. Ministério dos Transportes. 2005.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. 2006, 3. ed. Rio de Janeiro, 2006, 278 p

FERREIRA, Patrick F. *et al.* **Surgimento de patologias em pavimentos flexíveis em vias urbanas: um estudo de caso do trecho da Avenida Tereza Cristina no município de Contagem – MG.** Repositório Universitário da Ânima (RUNA) Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/35960> Acesso em: 20 ago. 2023.

FREITAS JUNIOR, Silas N. *et al.* **Prevenção e possíveis soluções para patologias no asfalto e custo de restauração do asfalto demolido ao erário.** Epitaya E-Books, v.1, n.15, 253-270 p., 2020.

LIMA, E.B.; MATOS, T.M.C. **Manifestações Patológicas Causadas Pela ausência ou falha de Impermeabilização.** Engenharia Civil. Centro Universitário AGES, 2023. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/25496/2/TCC%20PUBLICAR%20OK.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2023.

MACENHAN, F.C.S.; SOUZA, F.R.P.; FARIA, M.S.P. **Estudo de patologias em pavimentos flexíveis de vias do município de Joinville – SC.** UNISOCIESC. Garibaldi, 2021. Disponível em: https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/14628/1/Francieli%20Macenhan%20e%20Fernando%20Raoni%20-%202021_ENTREGA%20FINAL_12-07-2021.pdf. Acesso em: 30 jul. 2023.

MELO, Daniel O. **Patologias em pavimentos das vias de tráfego no DIMIC-Catalão.** Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil. Faculdade UNA de Catalão. Catalão, 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/17300/1/TCC%20-%20Daniel%20Oliveira%20Melo.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2023.

MELO, Maylane S.; CANCIAN, Víctor A. **Patologias no Pavimento Flexível.** 2018. 16 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Paranaense, Toledo/Pr, 2018.

NAKAMURA, J. **Pavimentação Asfáltica.** Pini Revistas, Ed. 16, dezembro 2011. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/391593785/Pavimentacao-asfaltica>. Acesso em: 18 abr. 2023.

OLIVEIRA, Lucas M.L. **Levantamento de manifestações patológicas do pavimento asfáltico entre os municípios de Açailândia e Imperatriz - MA da BR 010 no trecho KM 1406 até KM 1416. 2022.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil, Faculdade Vale do Aço, Açailândia, 2022. 71 f.

PENZ, Gustavo. **Propriedades mecânicas de misturas asfálticas mornas com adição de zeólitas sintetizadas.** 2010. Monografia (Graduação em engenharia civil)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

PINTO, J. I. B. R. **Caracterização superficial de pavimentos rodoviários.** 2003. Dissertação (Mestrado em Vias de Comunicação) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2003.

Faixa azul: inclusão estratégica para redução de acidentes com motocicletas: um estudo sobre a implementação e seus impactos na segurança viária

Karen Amaral de Souza

FATEC JAHU

Luana Aparecida Rabesco

FATEC JAHU

Magaly Natalia Pazzian Vasconcellos Romão

Orientadora (FATEC JAHU)

RESUMO

Este estudo aborda a implementação de medidas de inclusão estratégica como uma abordagem eficaz para reduzir acidentes envolvendo motocicletas e melhorar a segurança viária. A análise se concentra na criação de faixas exclusivas para motociclistas, destacando a importância dessa medida na otimização do fluxo de tráfego e na mitigação de riscos associados à condução de motos. Ao examinar a implementação prática dessas faixas exclusivas, o estudo explora os impactos positivos na segurança viária, destacando a redução de acidentes e a promoção de um ambiente mais seguro para os motociclistas. Além disso, são discutidos os aspectos estratégicos dessa inclusão, considerando como a organização eficiente do tráfego pode contribuir para a prevenção de colisões e lesões. A pesquisa também investiga os desafios e considerações práticas na implementação dessas faixas, levando em conta fatores como regulamentação, conscientização pública e adaptações infraestruturais necessárias. O estudo visa fornecer insights valiosos para autoridades de trânsito, planejadores urbanos e legisladores, destacando a importância de estratégias inclusivas para aprimorar a segurança viária, especialmente no contexto do tráfego envolvendo motocicletas.

Palavras-chave: segurança viária. tráfego urbano. implementação. redução de acidentes.

ABSTRACT

This study addresses the implementation of strategic inclusion measures as an effective approach to reducing accidents involving motorcycles and improving road safety. The analysis focuses on the creation of exclusive lanes for motorcyclists, highlighting the importance of this measure in op-



timizing traffic flow and mitigating risks associated with motorbike driving. By examining the practical implementation of these dedicated lanes, the study explores the positive impacts on road safety, highlighting the reduction of accidents and the promotion of a safer environment for motorcyclists. Furthermore, the strategic aspects of this inclusion are discussed, considering how efficient traffic organization can contribute to the prevention of collisions and injuries. The research also investigates the challenges and practical considerations in implementing these lanes, taking into account factors such as regulation, public awareness and necessary infrastructural adaptations. The study aims to provide valuable insights for traffic authorities, urban planners and policymakers, highlighting the importance of inclusive strategies to improve road safety, especially in the context of traffic involving motorcycles.

Keywords: road safety. urban traffic. implementation. reduction of accidents.

INTRODUÇÃO

A presente pesquisa tem como base o projeto piloto conduzido pela Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) e Secretaria Municipal de Trânsito (SMT), em colaboração com a Prefeitura Municipal de São Paulo. O referido projeto propõe a implementação de faixas exclusivas para motociclistas, uma iniciativa destinada a redefinir a perspectiva e a gestão da segurança viária na cidade. São Paulo, com uma média diária de mais de 9 milhões de veículos em circulação, incluindo aproximadamente 1 milhão e 300 mil motocicletas, enfrenta desafios significativos no trânsito.

A escala desses desafios é sublinhada pela Organização Mundial da Saúde (OMS), que anualmente relata cerca de 1,3 milhão de vidas perdidas em acidentes de trânsito globalmente, com 20 a 50 milhões de pessoas sofrendo lesões que podem resultar em invalidez permanente. Em 2019, somente no continente americano, os acidentes de trânsito foram responsáveis por aproximadamente 154 mil mortes, representando cerca de 12% das fatalidades mundiais.

A motocicleta, com sua capacidade de navegar pelos congestionamentos urbanos e estacionar em espaços reduzidos, tornou-se um símbolo de facilidade e agilidade no trânsito caótico das cidades. Seu design compacto e sua capacidade de manobra rápida proporcionam uma solução eficaz para escapar dos perigosos engarrafamentos, permitindo que os motociclistas cheguem ao seu destino de forma mais rápida e eficiente do que os ocupantes de veículos maiores. Entretanto, essa imagem positiva da motocicleta é acompanhada por uma série de desafios e preocupações. O aumento do número de motocicletas nas ruas também trouxe consigo um aumento nos acidentes de trânsito envolvendo esse tipo de veículo.

Além disso, os pedestres, muitas vezes, enfrentam riscos adicionais quando compartilham espaços urbanos com motocicletas. A alta velocidade e a capacidade de manobra rápida podem pegar os pedestres desprevenidos, tornando crucial a necessidade de uma conscientização constante tanto por parte dos motociclistas quanto dos pedestres.

Os motociclistas, ao optarem por esse meio de transporte, devem ser treinados e adotar práticas de direção defensiva. Da mesma forma, as autoridades de trânsito devem

implementar regulamentações eficazes e políticas de segurança para diminuir os riscos associados ao uso de motocicletas nas áreas urbanas. Embora a motocicleta represente uma solução prática para a mobilidade nas cidades congestionadas, é essencial abordar os desafios de segurança inerentes a esse meio de transporte. A conscientização, a educação e a implementação de medidas de segurança são fundamentais para garantir que a facilidade e agilidade proporcionadas pelas motocicletas não venham à custa da segurança e bem-estar dos motociclistas, garupas e pedestres.

No âmbito das abordagens modernas de segurança viária, a compreensão de que todo acidente é, em princípio, inevitável destaca a necessidade de medidas eficazes e comprovadas de aliviar, frequentemente demandando uma ação multidisciplinar. A perspectiva ética ressalta que nenhuma perda de vida pode ser justificada por considerações econômicas, de mobilidade ou benefícios futuros, conduzindo a ciência da Segurança Viária a uma evolução ao longo do tempo, passando de uma análise restrita das normas de projeto para uma compreensão mais profunda e proativa da ocorrência de acidentes (Manual de Segurança Viária, 2023).

No contexto legal, o Código de Trânsito, em seu parágrafo 12, artigo terceiro, estipula a notificação imediata à polícia em caso de acidentes que resultem em morte ou lesão corporal significativa, mas a limitação do termo “acidente de trânsito” a incidentes envolvendo veículos motorizados em movimento pode resultar em subnotificação, especialmente em casos envolvendo pedestres. A categoria de lesões como “insignificantes” não é definida pelo Código de Trânsito, deixando espaço para interpretação pela necessidade ou não de tratamento médico. Por outro lado, acidentes envolvendo motocicletas são reportáveis, resultando em lesões não desprezíveis, conforme estabelecido no Manual de Medidas de Segurança Viária.

A engenharia de infraestrutura viária, responsável por projetar e executar vias para garantir a segurança de motoristas, ciclistas, pedestres e outros usuários, desempenha um papel crucial nesse contexto. A avaliação da Segurança Viária pode ser realizada através de indicadores que medem a insegurança da via ou critérios de engenharia que promovem um ambiente mais seguro, como geometria da via, dispositivos de segurança e velocidade. Quando se trata de prevenção de acidentes, a definição clara de critérios e objetivos é essencial, pois cada indicador é mais apropriado para diferentes tipos de análises.

A abordagem do Sistema Seguro, ganhando destaque mundialmente, demonstra que o investimento em Segurança Viária, seguindo uma abordagem sistêmica, traz resultados positivos. A engenharia de Segurança Viária desempenha uma função crucial ao desenvolver padrões de projeto destinados à construção e operação de vias seguras. Isso envolve a integração de conceitos, materiais, dispositivos e tecnologias que visam prevenir acidentes ou minimizar sua gravidade. A combinação de abordagens provenientes da engenharia de projeto e da engenharia de tráfego, aliada a uma compreensão aprofundada dos fatores humanos, torna-se essencial para atender às demandas específicas de cada localidade.

A segurança viária é uma preocupação essencial em todo o mundo, e os motociclistas representam uma parte significativa dos usuários das vias. A introdução de medidas específicas para garantir a segurança dos motociclistas é crucial, considerando as

características únicas desse grupo de usuários que enfrentam desafios distintos no trânsito devido à sua exposição direta aos elementos e à menor proteção física em comparação aos ocupantes de veículos fechados. Portanto, é imperativo implementar estratégias que abordem as preocupações específicas dos motociclistas, promovendo um ambiente rodoviário mais seguro para eles.

Uma abordagem eficaz para melhorar a segurança viária para motociclistas envolve a combinação de educação, fiscalização e infraestrutura adequada, além disso, a fiscalização adequada das leis de trânsito, com ênfase nas infrações comuns entre motociclistas, pode desempenhar um papel crucial na promoção da segurança viária. Isso inclui a aplicação rigorosa de limites de velocidade, o uso obrigatório de capacetes e a coibição de comportamentos arriscados, como ultrapassagens perigosas.

A adaptação da infraestrutura viária também desempenha um papel vital na segurança dos motociclistas. A criação de faixas exclusivas para motocicletas, a implementação de sinalização específica e a melhoria da qualidade do pavimento podem contribuir significativamente para reduzir os riscos associados à condução de motocicletas.

OBJETIVO

Este estudo tem como objetivo analisar e propor estratégias integradas para aprimorar a segurança viária de motociclistas em ambientes urbanos. Com base em informações derivadas de um projeto piloto conduzido pela Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) e Secretaria Municipal de Trânsito (SMT) em São Paulo, destacamos desafios significativos enfrentados pela cidade, incluindo a média diária de mais de 9 milhões de veículos em circulação, com aproximadamente 1 milhão e 300 mil motocicletas.

O objetivo central é desenvolver abordagens eficazes que combinem educação, fiscalização e adaptação da infraestrutura viária para enfrentar os desafios específicos enfrentados pelos motociclistas. Além disso, buscamos propor estratégias que considerem as características únicas desse grupo de usuários, como a exposição direta aos elementos e a menor proteção física em comparação aos ocupantes de veículos fechados.

Analisar os resultados do projeto piloto conduzido em São Paulo, identificando sucessos e desafios na implementação de faixas exclusivas para motociclistas e seu impacto na segurança viária. Investigar e comparar estratégias bem-sucedidas de segurança viária para motociclistas implementadas em outras cidades ao redor do mundo, destacando lições aprendidas e melhores práticas. Propor estratégias integradas que abordem os desafios específicos enfrentados pelos motociclistas, combinando educação pública, fiscalização eficaz e adaptações na infraestrutura viária. Desenvolver critérios de avaliação para mensurar a eficácia das estratégias propostas, considerando indicadores de segurança viária, redução de acidentes e a aceitação pela comunidade. Fornece recomendações tangíveis para a implementação de políticas públicas que visem aprimorar a segurança viária de motociclistas, destacando a importância da colaboração entre autoridades de trânsito, comunidade e entidades reguladoras.

Ao atingir esses objetivos, almejamos contribuir para o avanço do conhecimento

sobre segurança viária de motociclistas em ambientes urbanos e fornecer insights valiosos para profissionais, pesquisadores e tomadores de decisão envolvidos na melhoria das condições de tráfego e segurança nas cidades.

REFERENCIAL TEÓRICO

A Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares (ABRACICLO), informou que a produção de motos chega a 1,3 milhão de unidades e cresce 10,4% em 2023, resultado é o melhor do setor nos últimos dez anos. Embora registre crescimento no acumulado do ano, a produção de motos em outubro (131.331 unidades) registrou queda de 6,4% em relação a setembro. Também houve retração de 4,4% na comparação com o mesmo mês de 2022 (137.346 unidades). Apesar da pequena queda, o setor de duas rodas continua otimista. “A indústria opera dentro do que foi planejado e segue o seu ritmo de produção para atender à demanda do mercado que continua em alta”, afirmou o presidente da ABRACICLO, Marcos Bento. A estimativa da ABRACICLO é que a produção de motos em 2023 atinja 1.560.000 unidades, o que corresponde a uma alta de 10,4% na comparação com 2022 (1.413.222 unidades), publicação realizada pelo Estadão em 14 de novembro de 2023.

A presença marcante de motocicletas nas vias de trânsito representa uma realidade incontestável no cenário brasileiro, conferindo mobilidade e agilidade aos deslocamentos urbanos e interurbanos. Contudo, essa popularidade também traz consigo uma face preocupante: o aumento significativo das lesões de motociclistas no trânsito. Os acidentes envolvendo motos são frequentes e, muitas vezes, resultam em consequências graves para a saúde e a vida desses condutores e passageiros. Segundo Boletim Epidemiológico, publicado pela Secretária de Vigilância em Saúde e Ambiente, em 27 de abril de 2023, mostra o cenário brasileiro de lesões de motociclistas no trânsito entre 2011 a 2021 e destaca que é um importante problema de saúde pública global, configurando entre as dez principais causas de morte em países de baixa e média renda e a sexta causa de DALY (Disability Adjusted Life Years – Anos de vida perdidos ajustados por incapacidade). Estas lesões foram responsáveis no Brasil em 2020, por mais de 190 mil internações nos hospitais do Sistema Único de Saúde (SUS) e hospitais conveniados, destas 61,6% eram de motociclistas. Em relação à mortalidade foi a primeira causa na faixa de 5 a 14 anos, e a segunda nas faixas de 15 a 39 anos, no total de 32.716 óbitos, destes 36,7% eram motociclistas.

O emprego de motocicletas como meio de transporte ou como ferramenta de trabalho em setores como os serviços de transporte e entrega destaca-se como um aspecto relevante a ser examinado. Essa prática, embora eficiente em termos de mobilidade e logística, também apresenta desafios significativos em termos de segurança ocupacional. Os profissionais que dependem de motocicletas para desempenhar suas funções, especialmente aqueles envolvidos em serviços de entrega, estão sujeitos a uma série de riscos. Segundo Ministério da Saúde, as mortes em acidentes com motos representam 21,2% (3.296 registros) dos 15.511 acidentes de trabalho fatais registrados entre os anos de 2011 e 2020. Os números são do Sistema de Informação de Agravos e Notificações (SINAN). Desses números, São Paulo é o estado que registrou maior número de mortes

desses profissionais, com 464 acidentes fatais envolvendo motos, seguido do Paraná (431) e Santa Catarina (400). Esses acidentes levam em consideração o trabalhador que tem uma função que exige locomoção ou quando estava indo ou voltando do local de trabalho.

A redução de mortes causadas por acidentes no trânsito, especialmente envolvendo motocicletas, é um desafio global que requer uma abordagem abrangente e colaborativa. O Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) publicou, em 09 de março de 2021, as portarias que instituem seis grupos de trabalho para revisão e atualização do Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (PNATRANS), tema que encabeça a Agenda Regulatória do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) para o ano de 2021. O Plano norteia todas as ações dos órgãos e entidades que compõem o Sistema Nacional de Trânsito (SNT). A revisão conta com o apoio do WRI Brasil no âmbito da Iniciativa Bloomberg pela Segurança Global no Trânsito. Segundo Frederico Carneiro, diretor-Geral do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), afirma que:

Este Plano afeta toda a sociedade, pois visa a redução do número de mortes e lesões no trânsito. Passados dois anos de sua criação, o DENATRAN entendeu a necessidade de revisá-lo, buscando trazer mais efetividade na promoção das ações para tornar o trânsito mais seguro, bem como para alinhar o Plano à nova Década de Ações para a Segurança no Trânsito promovida pela Organização das Nações Unidas (ONU). (CARNEIRO, 2018)

Com sua habilidade de transitar pelos congestionamentos urbanos e estacionar em espaços reduzidos, as motocicletas transformaram-se em ícones de praticidade e agilidade no caótico tráfego das cidades. Como resultado, a demanda por motocicletas tem aumentado de forma constante no Brasil.

METODOLOGIA

O estudo em questão adota uma abordagem qualitativa e descritiva, a estratégia de pesquisa adotada, o estudo de caso, permite uma análise aprofundada e minuciosa da implementação de projetos específicos relacionados à Inclusão Estratégica para Redução de Acidentes com Motocicletas. Um exemplo concreto desse escopo é a inclusão da faixa azul exclusiva para motociclistas na cidade de São Paulo, um componente relevante a ser investigado.

Aprofundando ainda mais, a abordagem qualitativa permite a captura de percepções subjetivas dos usuários, como a sensação de segurança e a experiência cotidiana dos motociclistas ao utilizar a faixa azul. Esses insights qualitativos podem enriquecer a compreensão dos efeitos práticos dessa intervenção, indo além de métricas quantitativas.

Dessa forma, ao se concentrar no estudo de caso da inclusão da faixa azul exclusiva para motociclistas em São Paulo, o estudo pode oferecer uma contribuição valiosa para o entendimento das dinâmicas complexas relacionadas à segurança no trânsito, especificamente no que diz respeito às estratégias de inclusão e sua eficácia na redução de acidentes envolvendo motocicletas.

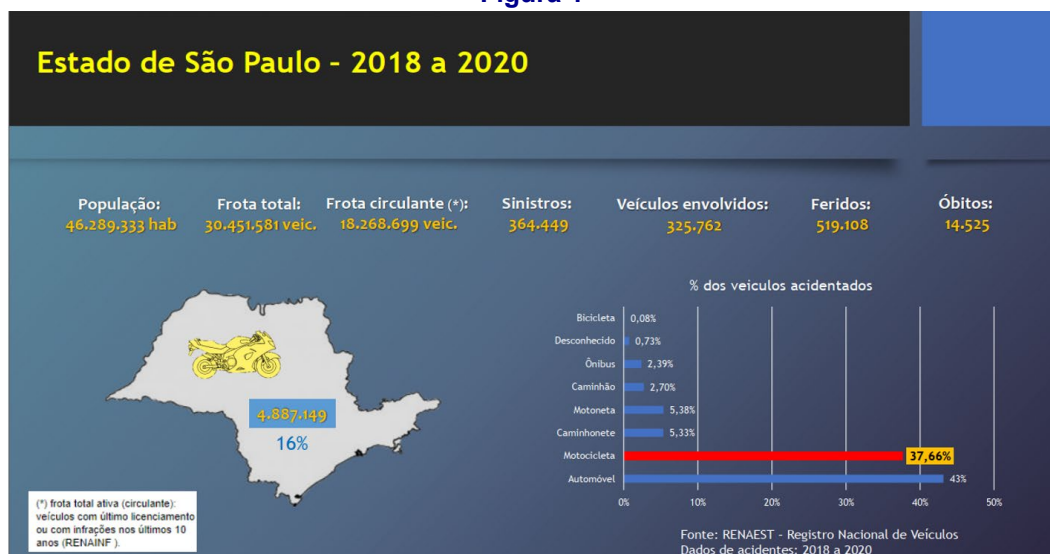
DESENVOLVIMENTO DA TEMÁTICA

Neste estudo, abordamos o Projeto Piloto da Faixa Azul para Motocicletas, conduzido na cidade de São Paulo. O início desse projeto coincidiu com a viagem de uma comitiva da Secretaria Municipal de Trânsito (SMT) do estado de São Paulo à Malásia. Conseqüentemente, a Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET), em parceria com a Secretaria Municipal de Mobilidade e Trânsito de São Paulo, está envolvida nesse processo.

O espaço urbano, como cenário complexo e dinâmico, exige uma cuidadosa consideração e distribuição para garantir a mobilidade eficiente e segura de todos os seus usuários. A gestão equitativa desse espaço é fundamental para promover a convivência harmoniosa entre diferentes modos de transporte, como carro, ônibus, pedestre, bicicleta, caminhão e, como mencionado, a motocicleta. A inclusão da motocicleta nesse contexto é essencial para uma abordagem abrangente da mobilidade urbana. As motocicletas oferecem uma solução eficiente para o deslocamento, especialmente em áreas congestionadas, proporcionando agilidade e flexibilidade. No entanto, essa inclusão deve ser acompanhada por políticas públicas e infraestrutura adequadas para garantir a segurança de todos os usuários.

Nesse contexto, munida dos dados para a implementação da faixa azul exclusiva para motocicletas em São Paulo, a CET submeteu as informações à Secretaria Nacional de Trânsito (SENATRAN), que, por sua vez, autorizou o início do projeto. A CET deu início à implementação da faixa azul entre as faixas veiculares 1 e 2 nas Avenidas 23 de Maio, no sentido Santana – Aeroporto, e na Avenida dos Bandeirantes, em ambos os sentidos, entre a Marginal do Rio Pinheiros e o Viaduto Ministro Aliomar Baleeiro. O objetivo é organizar o espaço compartilhado entre automóveis e motocicletas, buscando pacificar e humanizar o tráfego na cidade de São Paulo.

Figura 1



A avaliação estratégica da implementação de faixas exclusivas para motocicletas demanda a análise dos benefícios e desafios dessa abordagem, bem como a consideração dos objetivos, obstáculos e implicações associados a essa infraestrutura.

A criação de faixas específicas para motocicletas pode trazer melhorias significativas à mobilidade urbana, aliviando congestionamentos e reduzindo os tempos de deslocamento em áreas urbanas. Ao separar as motocicletas do tráfego de veículos maiores, essa infraestrutura pode minimizar os riscos de acidentes, promovendo a segurança dos motociclistas. Além disso, ela tem o potencial de incentivar mais pessoas a optarem por motocicletas como meio de transporte, colaborando para a redução de emissões de poluentes e otimizando o espaço viário. A rapidez de deslocamento proporcionada por essas faixas também economiza tempo para os motociclistas.

Entretanto, a construção dessas faixas pode acarretar custos significativos, sendo necessário um adequado plano de manutenção para garantir a contínua segurança. A alocação exclusiva de espaço para motocicletas pode gerar debates, competindo com outros usos urbanos, como ciclovias, calçadas, estacionamentos ou alargamentos viários para carros. Monitorar o uso adequado dessas faixas é crucial, evitando que outros veículos ou pedestres as utilizem indevidamente. O aumento do uso de motocicletas também pode ter impactos ambientais, especialmente se os veículos não forem regulamentados adequadamente em relação às emissões.

O planejamento urbano deve ponderar cuidadosamente a alocação eficiente de espaço para infraestruturas específicas, equilibrando as necessidades de diversos modos de transporte. A implementação de programas educacionais pode elevar a conscientização sobre o uso seguro dessas faixas, tanto por motociclistas quanto por outros usuários da via. Leis e regulamentações específicas para essas faixas podem ser necessárias para garantir o uso apropriado e seguro. A implementação dessas faixas deve ser acompanhada por avaliações de impacto para mensurar os resultados em termos de mobilidade, segurança e eficiência.

Acidentes envolvendo motocicletas são relativamente comuns em muitas partes do mundo e podem ter consequências graves devido à falta de proteção que os motociclistas têm em comparação com os ocupantes de veículos maiores. Esses acidentes podem ser causados por várias razões, incluindo excesso de velocidade, negligência de outros motoristas, falta de experiência, condições climáticas adversas, distração, falta de equipamento de proteção adequado, entre outros fatores.

Os motociclistas estão em maior risco de lesões graves em acidentes de trânsito devido à exposição direta ao impacto. As lesões comuns incluem fraturas, lesões na coluna vertebral, traumatismo craniano, abrasões e escoriações. O uso de equipamento de proteção é crucial para a segurança dos motociclistas, abrangendo capacetes, jaquetas e calças de proteção, luvas, botas e, preferencialmente, roupas de alta visibilidade para melhorar a visibilidade para outros motoristas. A falta de experiência ou treinamento adequado pode contribuir para acidentes de motocicleta, tornando essencial que os motociclistas passem por treinamento adequado, como cursos de pilotagem segura, para aprimorar suas habilidades e consciência no trânsito.

Motoristas de carros e caminhões também desempenham um papel crucial na prevenção de acidentes com motocicletas. Todos os condutores devem estar atentos e conscientes da presença de motociclistas na estrada. Embora as leis de trânsito variem, geralmente incluem regras específicas para motociclistas, como a obrigatoriedade do uso

de capacete, requisitos de seguro e licenças de condução específicas para motocicletas. A prevenção de acidentes de motocicleta envolve uma combinação de educação, conscientização, fiscalização e melhorias na infraestrutura viária, como aprimoramento das condições das estradas, instalação de barreiras de segurança e criação de faixas exclusivas para motocicletas, contribuindo para a redução dos acidentes.

É fundamental que os motociclistas estejam cientes dos riscos associados à condução de motocicletas e adotem medidas para proteção, como o uso de equipamento de segurança, o cumprimento das regras de trânsito e a prática de condução defensiva. Além disso, os motoristas de veículos maiores devem estar atentos e respeitar os motociclistas, compartilhando a estrada de maneira segura.

Em última análise, a adoção de faixas exclusivas para motocicletas pode ser uma estratégia eficaz para aprimorar a mobilidade urbana e a segurança dos motociclistas. No entanto, as decisões devem ser cuidadosamente ponderadas em relação aos custos, ao espaço urbano disponível e ao cumprimento das regulamentações para garantir o êxito dessa abordagem.

TAXA DE MORTALIDADE E ACIDENTE

Gráfico 1 - Taxa de mortalidade de motociclistas por lesões no trânsito, Brasil 2011 a 2021.

Em 2011, os óbitos de motociclistas eram 26,6% do total das mortes no trânsito e passou a 35,3% em 2021. A proporção das internações também aumentou de 50,6% para 61%

com forte aumento também no número de internações, com 70.508 em 2011 para 115.709 em 2021 (Tabela 1).

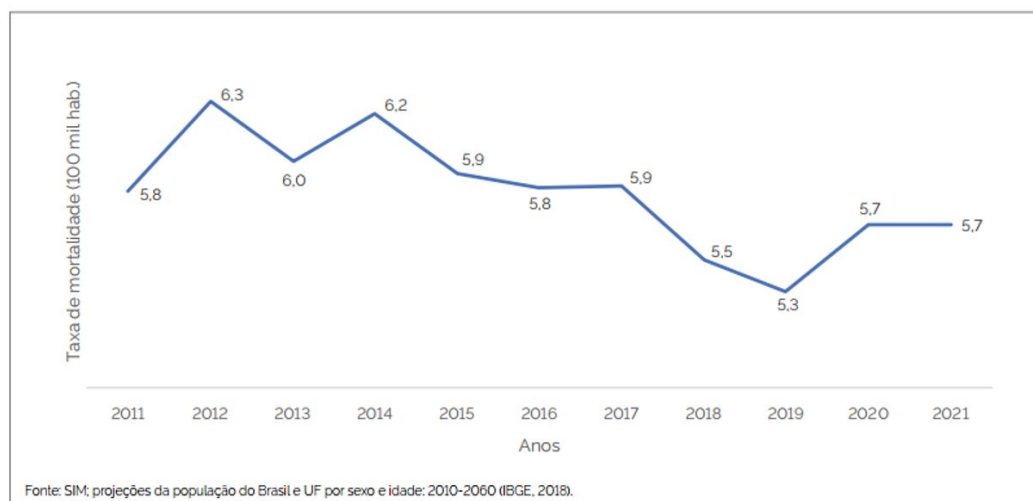
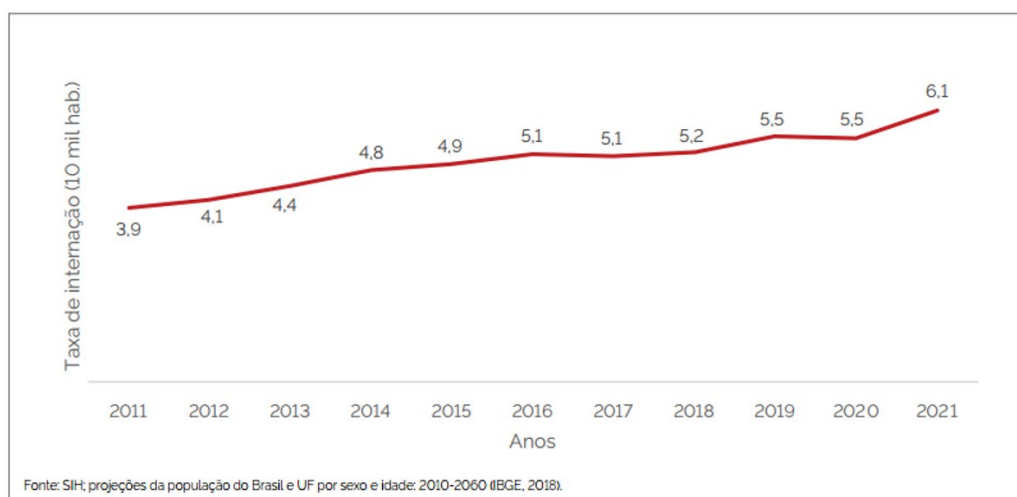


Gráfico 2 - Taxa de internação de motociclistas por lesões no trânsito, Brasil 2011 a 2021.**Tabela 1 - Número absoluto e proporção dos óbitos e internações de motociclistas em relação ao total de lesões no trânsito e o custo das internações ao SUS, Brasil 2011 a 2021.**

Causas	Óbitos			
	2011		2021*	
	N.º	%	N.º	%
Total das lesões de trânsito	43.256	100	31.468	100
Motociclistas	11.485	26,6	11.115	35,3

Causas	Internações			
	2011		2021	
	N.º	%	N.º	%
Total das lesões de trânsito	139.394	100	189.799	100
Motociclistas	70.508	50,6	115.709	61,0

Causas	Custo			
	2011		2021	
	Valor Total (R\$ milhões)	Valor Médio (R\$)	Valor Total (R\$ milhões)	Valor Médio (R\$)
Total das lesões de trânsito	175,2	1.257,2	282,3	1.487,5
Motociclistas	85,2	1.208,8	167	1.443,4

Fonte: SIM, SIH.

O perfil das vítimas fatais de motociclistas em lesões no trânsito em 2021 (Tabela 2) são predominantemente do sexo masculino (88,1%), adultos jovens com idade entre 20 e 29 anos (30,8%), de baixa escolaridade com 8 a 11 anos de estudo (39,6%), de raça negra (64,9%) e solteiro (57,3%). A via pública é apontada como o principal local de ocorrência do óbito (49,5%).

O risco relativo do sexo masculino é 7,4 vezes maior que a do sexo feminino para o óbito de motociclista. O perfil dos motociclistas internados segue características semelhantes, sexo masculino (82,6%), faixa etária de 20 a 29 anos (35,2%) e raça negra (51,4%), dados não apresentados.

Gráfico 3 - taxa de mortalidade (por 100 mil hab.) e de internação (por 10 mil hab.) de motociclistas, segundo UF. Brasil, 2021.

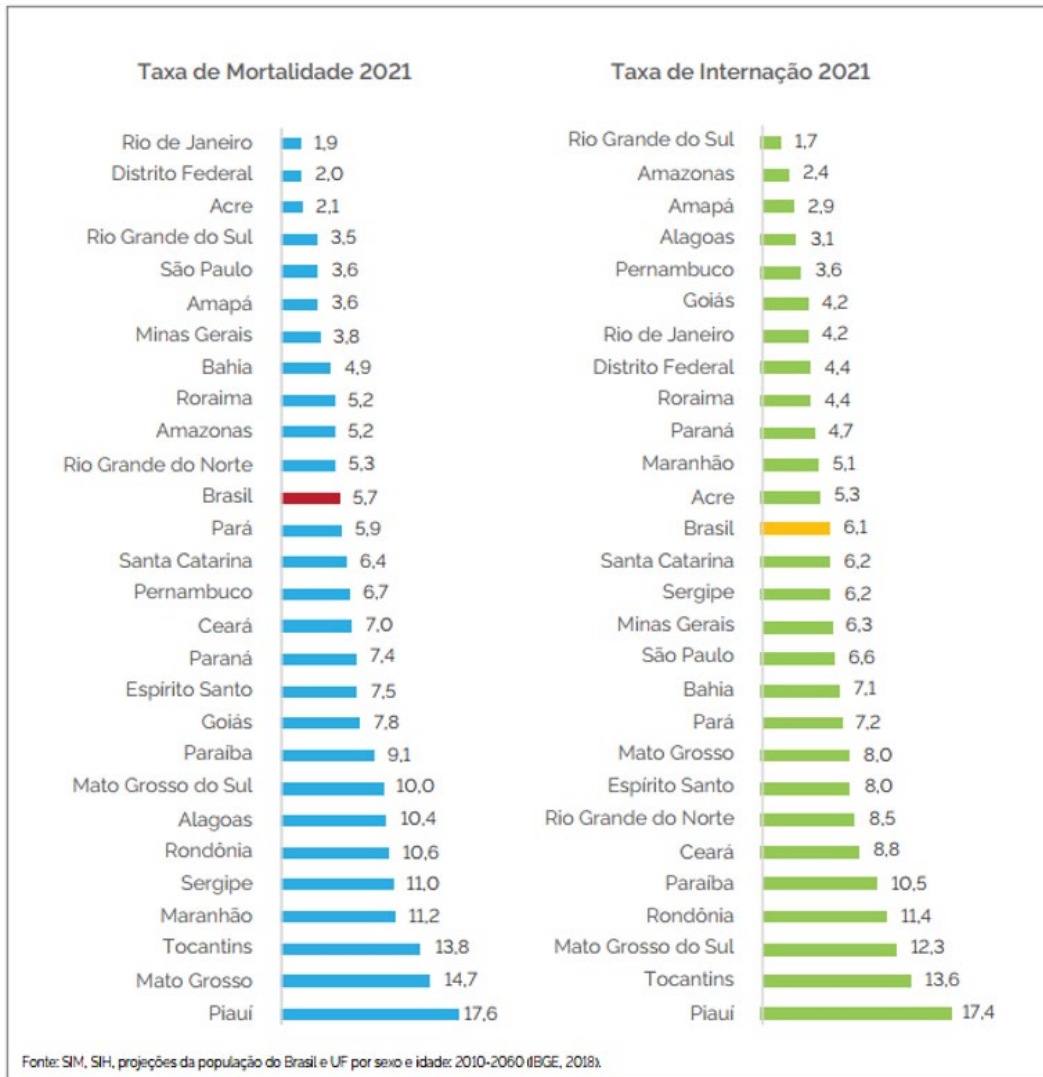


Figura 2 - Faixa Azul.

Faixa Azul: com zero fatalidades após um ano de teste, corredor será ampliado

DUAS E TRÊS RODAS 29 de setembro de 2023 | Atualizado em: 30 de setembro de 2023

Por Marcos Villela



A notícia sobre a “Faixa Azul” com zero fatalidades após um ano de teste é um exemplo notável de como medidas de trânsito inovadoras podem melhorar a segurança nas estradas. Esse resultado positivo é uma prova de que a implantação da Faixa Azul tem o potencial de reduzir significativamente os riscos de acidentes envolvendo motociclistas e de encorajar o uso desse meio de transporte nas cidades.

A Faixa Azul é uma iniciativa que visa proporcionar um espaço seguro e prioritário para motociclistas nas vias urbanas. Ela desempenha um papel importante na redução de conflitos entre motociclistas e motoristas de veículos maiores, uma vez que ajuda a criar uma separação física e visual clara entre esses grupos de usuários da via.

O fato de não ter havido fatalidades após um ano de teste da Faixa Azul é um indicador promissor de que essa medida está cumprindo seu objetivo principal, que é aumentar a segurança dos motociclistas. A redução de acidentes fatais é uma conquista significativa, pois os motociclistas frequentemente correm um risco maior nas estradas, devido à sua exposição e vulnerabilidade em relação aos veículos maiores.

A expansão do corredor da Faixa Azul é uma decisão positiva, pois demonstra o compromisso das autoridades em promover a segurança e a eficiência no trânsito. A ampliação da Faixa Azul pode beneficiar mais motociclistas e contribuir para a redução do congestionamento nas vias, tornando o trânsito mais fluído para todos os usuários.

É importante ressaltar que o sucesso da Faixa Azul também está relacionado a esforços de conscientização e educação, tanto para motociclistas quanto para motoristas de veículos maiores. Conhecer as regras e os benefícios da Faixa Azul é fundamental para garantir seu uso eficaz e seguro.

Em resumo, a notícia sobre a expansão da Faixa Azul após um ano de teste bem-sucedido e sem fatalidades é um exemplo inspirador de como as cidades podem implementar medidas inovadoras para promover a segurança no trânsito e melhorar a mobilidade urbana. Espera-se que essa iniciativa continue a se expandir e a servir como modelo para outras regiões interessadas em melhorar as condições de tráfego e a segurança de seus cidadãos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação da faixa azul exclusiva para motocicletas em São Paulo revelou-se uma estratégia inovadora, promovendo mudanças significativas na dinâmica do trânsito e na segurança viária. Ao longo deste artigo, exploramos os diversos aspectos dessa iniciativa, desde sua concepção até os impactos observados após sua implementação.

A faixa azul não apenas se mostrou eficaz na redução do congestionamento, proporcionando uma alternativa ágil para os motociclistas em meio ao tráfego caótico de São Paulo, mas também desempenhou um papel crucial na promoção da segurança viária. A separação física entre motociclistas e veículos maiores contribuiu para a redução de acidentes e criou um ambiente mais seguro para todos os usuários da via.

Os dados analisados demonstraram não apenas uma melhoria na fluidez do tráfego, mas também uma significativa diminuição nos índices de acidentes envolvendo

motocicletas. A faixa azul não apenas cumpriu sua missão de agilizar o deslocamento dos motociclistas, mas também atuou como um escudo protetor, reduzindo os riscos inerentes à condução de motocicletas nas vias urbanas.

Além disso, a iniciativa teve o efeito positivo de estimular o uso de motocicletas como meio de transporte, aliviando a sobrecarga sobre o sistema viário e contribuindo para uma mobilidade mais eficiente. A rápida aceitação por parte dos motociclistas e a receptividade positiva da população evidenciam a pertinência e o sucesso dessa intervenção no cenário urbano.

Contudo, reconhecemos que desafios foram enfrentados durante a implementação da faixa azul, e é crucial aprender com essas experiências para futuras expansões ou aprimoramentos. A conscientização contínua, a fiscalização adequada e a adaptação da infraestrutura são aspectos que merecem atenção constante para assegurar a sustentabilidade e eficácia a longo prazo dessa inovação.

À medida que São Paulo reafirma seu compromisso com soluções progressivas para os desafios de mobilidade urbana, a faixa azul para motocicletas se destaca como um exemplo notável de como as cidades podem redefinir o espaço viário para promover uma convivência mais segura e eficiente entre diferentes modos de transporte.

Em última análise, a implementação da faixa azul em São Paulo transcendeu a mera criação de uma faixa exclusiva; representa um marco na busca por uma cidade mais conectada, segura e dinâmica. Este artigo visa inspirar reflexões e debates em outras localidades, encorajando a adoção de soluções inovadoras para os desafios complexos enfrentados pelas cidades contemporâneas. A faixa azul não é apenas uma linha na estrada; é um caminho para um futuro de mobilidade urbana mais inteligente e segura.

REFERÊNCIAS

AMPLIAÇÃO do Projeto Faixa Azul é liberada pelo SENATRAN. Disponível em 10:08 08/08/2022. <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/mobilidade/noticias/?p=333125>. Acesso em 18 de nov. de 2023

ASSESSORIA Especial de Comunicação Ministério da Infraestrutura. Denatran cria grupos de trabalho para atualizar o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito. Publicado em 09/03/2021 11h01. Atualizado em 31/10/2022 14h19. <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/noticias/2021/3/denatran-cria-grupos-de-trabalho-para-atualizar-o-plano-nacional-de-reducao-de-mortes-e-lesoes-no-transito>. Acesso em 15 de nov. 2023

ASSESSORIA Especial de Comunicação Ministério dos Transportes. Ministério dos Transportes autoriza e cidade de São Paulo terá Faixa Azul em 17 avenidas. Publicado em 28/09/2023 18h51. Atualizado em 28/09/2023 19h31. <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/noticias/2023/09/ministerio-dos-transportes-autoriza-e-cidade-de-sao-paulo-tera-faixa-azul-em-17-avenidas>. Acesso em 15 de nov. 2023

BOTTALLO, Ana. Queiroz, Claudinei. **Taxa de motociclistas internados no SUS aumenta 55% em uma década.** 30.mai. Disponível em: 2023 às 15h07 <https://www1.folha.uol.com.br/equilibrioesaude/2023/05/taxa-de-motociclistas-internados-n-o-sus-aumenta-55-em-uma-decada.shtml>. Acesso em 15 de nov. de 2023

CARNEIRO, Frederico de Moura. **Análise de planos de mobilidade urbana sob a ótica da segurança no trânsito.** 2018.

CALDEIRA, Arthur. **Produção de motos chega a 1,3 milhão de unidades e cresce 10,4% em 2023.** Disponível em 14/11/2023. <https://mobilidade.estadao.com.br/mobilidade-para-que/producao-de-motos-chega-a-13-milhao-de-unidades-e-cresce-104-em-2023/>. Acesso em 04 de nov. de 2023

CASSIANO, Bruno. **Acidentes de trabalho: motociclistas estão entre as principais vítimas.** Publicado em 28/04/2021 18h05. Atualizado em 01/11/2022 10h46. <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2021/abril/acidentes-de-trabalho-motociclistas-estao-entre-as-principais-vitimas>. Acesso em 02 de nov. de 2023

CET começa a implantar Faixa Azul, exclusiva para motos, na Avenida dos Bandeirantes. Disponível em 23 de ago. de 2022, às 14h36. <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2022/08/23/cet-comeca-a-implantar-faixa-azul-exclusiva-para-motos-na-avenida-dos-bandeirantes.ghtml>. Acesso em 15 de nov. de 2023.

CET conclui implantação da Faixa Azul na Av. dos Bandeirantes e Av. Afonso D'Escragnole Taunay. Disponível em: 08:18 07/10/2022 <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/mobilidade/noticias/?p=336123>. Acesso em 18 de nov. de 2023.

DE TRÂNSITO BRASILEIRO, Código. **Código de Trânsito Brasileiro.** Brasília: Departamento Nacional de Trânsito, 1997.

MANUAL de Segurança Viária. **Manual foi elaborado pelo DER/SP.** http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Arquivos/manuais/MANUAL_SEGURANCA_VIARIA.pdf. Acesso em 02 de nov. de 2023

MINISTÉRIO da Saúde **lança documento com dados sobre lesões de motociclistas no trânsito.** Publicado em 28/04/2023 17h21. Atualizado em 28/04/2023 17h36. <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2023/abril/ministerio-da-saude-lanca-documento-com-dados-sobre-lesoes-de-motociclistas-no-transito>. Acesso em 02 de nov. de 2023

PLANO Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (PNATRANS). Abertura: 19/07/2021. Encerramento: 18/08/2021. <https://www.gov.br/participamaisbrasil/revisao-pnatrans>. Acesso em 15 de nov. de 2023

PROJETO Piloto da Faixa Azul entra no quinto mês de operação com resultados muito positivos. Disponível em: 16:59 28/06/2022. <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/mobilidade/noticias/?p=331188>. Acesso em 18 de nov. de 2023

SÃO PAULO volta a testar faixa exclusiva para motociclistas. Disponível em 25/01/2022. <https://globoplay.globo.com/v/10241085/>. Acesso em 02 de nov. de 2023

SECRETARIA Especial de Comunicação. **Relatório semestral da Faixa Azul aponta que projeto piloto é um redutor de sinistros de trânsito.** Disponível em: 10:54 04/08/2022 <https://www.capital.sp.gov.br/noticia/relatorio-semestral-da-faixa-azul-aponta-que-projeto-piloto-e-um-redutor-de-sinistros-de-transito>. Acesso em 15 de nov. de 2023

VILLELA, Marcos. **Faixa Azul: com zero fatalidade após um ano de teste, corredor será ampliado.** Disponível em 29 de set. de 2023. Atualizado em: 30 de set. de 2023. <https://frotanews.com.br/faixa-azul-com-zero-fatalidade-apos-um-ano-de-teste-corredor-sera-ampliado/>. Acesso em 15 de nov. de 2023.

Análise do volume de vazios de misturas asfálticas recicladas a quente com inserção de areia e pó de pedra oriundos de material fresado

Isabel da Silva Meneses

Universidade Federal de Mato Grosso - Câmpus Várzea Grande

José Severino da Silva

Universidade Federal de Mato Grosso - Câmpus Várzea Grande

Marcia Ferreira Negrisoli Arruda

Universidade Federal de Mato Grosso - Câmpus Várzea Grande

Mario Benedito de Araujo Filho

Universidade Federal de Mato Grosso - Câmpus Várzea Grande

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo analisar o volume de vazios em misturas asfálticas recicladas a quente com a inserção de areia e pó de pedra oriundos de material fresado, afim de verificar seu desempenho em novos revestimentos asfálticos. Para tal foram utilizados areia e pó de pedra produzidos a partir de material fresado que foi processado e teve sua classificação granulométrica enquadrada de acordo com a norma DNER-ME-83/1998 - Análise granulométrica de agregados. O método de dosagem utilizado foi o Marshall com o enquadramento dos agregados na faixa de serviço "C" do DNIT. Foram avaliadas características relacionadas a estabilidade além da determinação do teor ótimo de ligante. Com relação aos resultados obtidos, foi possível verificar que a dosagem alcançou os valores de estabilidade exigidos em normas além de apresentar um baixo volume de vazios o que pode ser devido ao excesso de ligante pois a areia e o pó de pedra utilizados são de origem de material fresado, dessa forma é possível inferir uma diminuição em sua quantidade. O ensaio de Fluência também apresentou valores baixos, isso significa que a mistura asfáltica tem uma resistência maior à deformação permanente e maior capacidade de suportar cargas de tráfego sem deformações excessivas o que é benéfico para a durabilidade e a vida útil do pavimento. Assim, diante dos resultados obtidos foi possível tomar o estudo como positivo pois verificou-se a possibilidade de economia de ligante sem afetar as principais características de resistência e estabilidade da mistura asfáltica.

Palavras-chave: volume de vazios. pavimento fresado. estabilidade.



ABSTRACT

This work aims to analyze the volume of voids in hot recycled asphalt mixtures with the insertion of sand and stone dust from milled material, in order to verify their performance in new asphalt coatings. For this purpose, sand and stone dust were used, produced from ground material that was processed and had its particle size classification in accordance with the DNER-ME-83/1998 standard - Granulometric analysis of aggregates. The dosing method used was Marshall with the aggregates classified in service range "C" of the DNIT. Characteristics related to stability were evaluated, in addition to determining the optimal binder content. In relation to the results obtained, it was possible to verify that the dosage reached the stability values required by the standards, in addition to presenting a low volume of voids, which could be due to excess binder as the sand and stone powder used are original. milled material, therefore it is possible to infer a decrease in its quantity. The creep test also showed low values, which means that the asphalt mixture has greater resistance to permanent deformation and a greater capacity to withstand traffic loads without excessive deformation, which is beneficial for the durability and useful life of the pavement. Thus, given the results obtained, it was possible to consider the study as positive because the possibility of saving binder was verified without affecting the main characteristics of resistance and stability of the asphalt mixture.

Keywords: volume of voids. milled asphalt. stability.

INTRODUÇÃO

A reciclagem de pavimentos asfálticos vem se tornando uma realidade no Brasil, isso se deve as vantagens que este tipo de solução proporciona, como o aproveitamento dos agregados e ligantes, conservação da geometria e da espessura do pavimento existente, possibilidade de redução de custos, preservação do meio ambiente e redução do consumo de energia. (DAVID, 2006).

A reciclagem de material fresado, com sua utilização em novas dosagens, ocorre basicamente de duas maneiras: a quente, na qual o agregado fresado é aquecido e, posteriormente, misturado ao cimento asfáltico de petróleo (CAP) e ao agente rejuvenescedor (AR); e a frio, na qual são utilizados emulsão asfáltica de petróleo (EAP), agente rejuvenescedor emulsionado (ARE) e agregados fresados em temperatura ambiente. Quanto ao local de reciclagem, este pode ser in situ ou em usina (DAVID, 2006).

No entanto apesar dos inúmeros benefícios, a quantidade de material fresado utilizado em obras de restauração se dá em menos de 10% das rodovias federais e a principal causa seria a presença de materiais envelhecidos os quais poderiam fragilizar a mistura e diminuir a sua resistência, sobretudo à fadiga (CENTOFANTE, 2017).

Um motivo para essa relutância no uso de material fresado seria devido à presença de ligante envelhecido o que poderia causar o aumento da rigidez e a diminuição da sua trabalhabilidade, fazendo com que a nova mistura apresente dificuldade de compactação. Dado isso vem crescendo estudos relacionados a novas técnicas para o uso de material fresado na composição de misturas asfálticas novas, sejam elas a quente ou a frio (LEITE,

2021).

De acordo com estudos realizados por Meneses (2014), a inserção de material fresado transformado em areia e pó de pedra apresentou resultados satisfatórios com relação aos ensaios de estabilidade e fluência, o que leva à conclusão de que a reciclagem de material fresado é uma opção viável não só pelo ponto de vista econômico, quanto pelo viés ambiental pois evita o descarte desse material fresado em local inadequado e o uso de agregados virgens convencionais em novas dosagens.

Neste contexto, este trabalho tem por objetivo a avaliação o uso de material fresado transformado em areia e pó de pedra em substituição total a areia e pó de pedra de origem convencional, a fim de verificar suas características para a dosagem de novas misturas asfálticas, avaliando principalmente o volume de vazios da mistura que é de grande importância haja visto que o controle do volume de vazios é crucial pois afeta diretamente propriedades como a durabilidade, resistência à fadiga e capacidade de drenagem da mistura asfáltica. Assim ter uma proporção adequado no volume de vazios contribui para um desempenho mais duradouro e eficiente da pavimentação.

REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS

O revestimento é a camada superficial do pavimento que fica em contato direto com as ações ambientais e com as cargas dos veículos. Segundo Balbo (2007), o revestimento tem como função receber as cargas, estáticas ou dinâmicas, sem sofrer grandes deformações elásticas ou plásticas, desagregação dos componentes ou ainda, perda de compactação.

O Brasil tem como o seu principal modal de transporte o rodoviário, sendo o pavimento asfáltico o mais utilizado (BERNUCCI, 2008). Entretanto, verifica-se que a qualidade da malha rodoviária brasileira não acompanhou o crescimento de sua demanda de utilização.

De acordo com a CNT (2017), 69,8% das rodovias asfaltadas brasileiras são classificadas como regulares, ruins ou péssimas. Dessa forma faz-se necessário a recuperação desses pavimentos seja com a reconstrução parcial ou total.

Como forma de acompanhar essa demanda por restauração atualmente novas técnicas de reabilitação de pavimentos asfálticos vem surgindo e a reciclagem é uma delas. Nessa técnica a principal vantagem e a diminuição do consumo de materiais virgens, seja eles agregados ou ligantes asfálticos.

Segundo David (2006), o reaproveitamento dos materiais existentes no pavimento proporciona uma redução considerável de material, custo, energia e principalmente proporciona um ganho imensurável no quesito sustentabilidade. Na reciclagem de revestimentos asfálticos, há o aproveitamento do ligante envelhecido através da adição de agentes rejuvenescedores, proporcionando assim uma redução no consumo de asfalto.

A reciclagem do pavimento deteriorado também contribui para solucionar problemas de disposição do material fresado, dando assim um destino ambientalmente correto a esse material que muitas vezes era descartado de forma incorreta ao longo de rodovias ou áreas de bota fora.

Agregados reciclados

Todos os dias, centenas de metros cúbicos de material fresado são gerados em todo o Brasil, no entanto mesmo sendo originário de pavimentos deteriorados o material fresado é considerado nobre, pois o mesmo possui agregados de alta resistência e material betuminoso, dessa forma é preciso dispor de métodos que venha a dar um destino mais adequado a esse material.

Segundo Leite (2021) países que têm mais dificuldade de obtenção de agregados britados novos, valorizam o uso do material fresado como componente de novas misturas asfálticas a quente em usinas, a exemplo temos a Alemanha e Holanda que utilizam material fresado em novas misturas asfálticas a mais de 30 anos.

O Brasil ainda vem engatinhando nessa pratica de reciclagem de pavimentos asfálticos com a utilização de material fresado. Enquanto que nós utilizamos pouco mais de 0,7 milhões de toneladas de material fresado em nova misturas asfálticas, países da Europa utilizam cerca de 50 milhões de toneladas e nos estados unidos esse valor chega a alcançar 100 milhões de toneladas (LEITE, 2021).

Dado esse impasse muitos estudos vêm sendo feitos com o intuito de aprimorar a reciclagem de material fresado. No entanto ao fazer a reciclagem com uso desse material deve-se levar em conta que o mesmo já contém certa quantidade de ligante asfáltico, e que mesmo esse ligante estando envelhecido a sua proporção pode ser descontada em parte do novo teor de ligante a ser adicionado (LEITE, 2021).

A importância do volume de vazios em misturas asfálticas

O volume de vazios é um parâmetro comum aos mais diversos métodos de dosagem. Dado isso dois parâmetros muito importantes são considerados ao se propor novas dosagens, é o volume de vazios (V_v) que são os vazios de ar na mistura compactada e o volume de vazios nos agregados minerais (VAM), que representa os vazios com ar e asfalto efetivo.

Para determinar esses parâmetros do volume de vazios é necessário antes a determinação da densidade máxima teórica da mistura (DMT) e da densidade aparente do corpo-de-prova compactado, sendo assim considerada outra medida fundamental pois é através dela que se tem a quantidade de espaço vazio ou a porosidade da mistura asfáltica. (BERNUCCI, 2022).

Dessa forma o controle do volume de vazios é de grande importância pois afeta diretamente propriedades como a durabilidade, resistência à fadiga e capacidade de drenagem da mistura asfáltica, assim um equilíbrio adequado no volume de vazios contribui para um desempenho mais duradouro e eficiente do pavimento.

O volume de vazios também está diretamente relacionado com os agregados da mistura, assim a depender da distribuição granulométrica propriedades como estabilidade, durabilidade e permeabilidade podem sofrer variações (BONFIM, 2012).

MATERIAIS E MÉTODOS

Dosagem Marshall

Este estudo consiste na dosagem e análise de uma mistura asfáltica com a adição de material fresado em substituição ao agregado miúdo de origem convencional. Este material fresado foi processado e teve sua classificação granulométrica definida como areia e pó de pedra de acordo com a norma DNIT 031/ 2004 – ES. Desta forma iremos avaliar seu desempenho e suas características principalmente com relação ao volume de vazios da mistura haja visto que o controle dos vazios é crucial, pois afeta diretamente propriedades como a durabilidade, resistência à fadiga e capacidade de drenagem da mistura asfáltica (BERNUCCI, 2022).

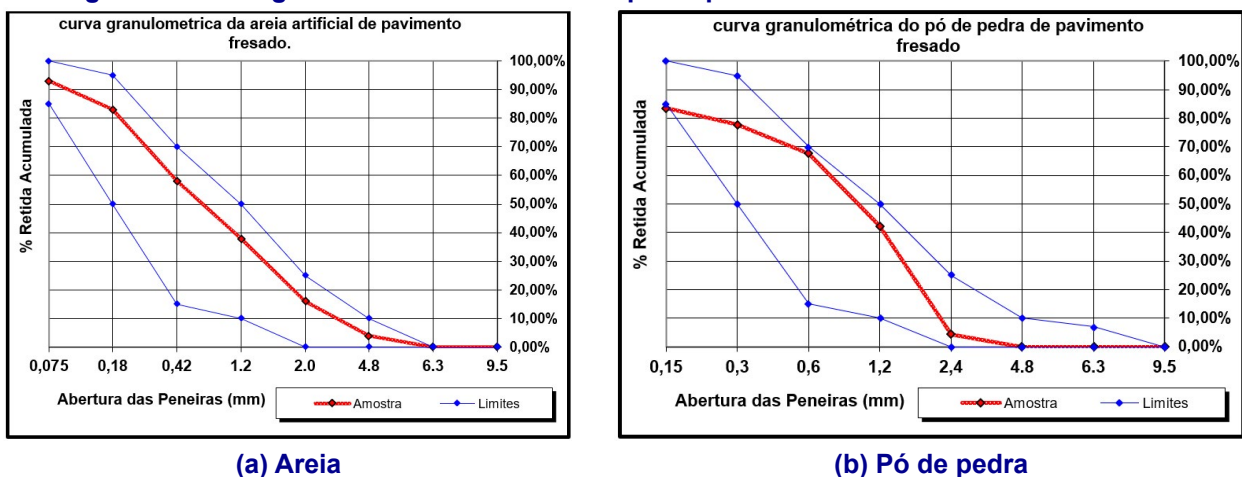
Os agregados utilizados foram os de uso convencional para dosagens de misturas asfálticas: brita, pó de pedra areia e material de enchimento (cimento Portland), onde após estudo os mesmos foram enquadrados na faixa “C” do DNIT, sendo a areia e o pó de pedra produzidos a partir de material fresado.

O material utilizado para este estudo é oriundo do pavimento asfáltico da rua Juliano da costa Marques, no bairro Bela Vista, perímetro urbano do município de Cuiabá – MT. O mesmo foi produzido previamente e submetido a ensaios de caracterização para determinar o teor de ligante, o qual apresentou uma média de 4,0%, de acordo com o ensaio de centrífuga Rotarex (DNER-ME 053/1994).

Já agregados virgens utilizados nas misturas como a brita 3/4” e a 3/8” foram obtidas através de processo de britagem e coletados diretamente das unidades de produção, os quais foram fornecidos por uma empresa da região de Cuiabá/MT, todos esses materiais com valores de abrasão Los Angeles, sanidade da brita e equivalente de areia enquadrados em suas respectivas normas: DNER-ME 035/98, DNER-ME 089/94, DNER-ME 054/97. Já o ligante asfáltico utilizado foi o CAP 50/70, fornecido também por uma empresa da Região de Cuiabá/MT.

Os gráficos a seguir representam a curva granulométrica da areia e do pó de pedra oriundos do material fresado onde podemos ver que o material obtido se enquadra nos limites para serem classificados como areia e pó de pedra reciclados (MENESES, 2014).

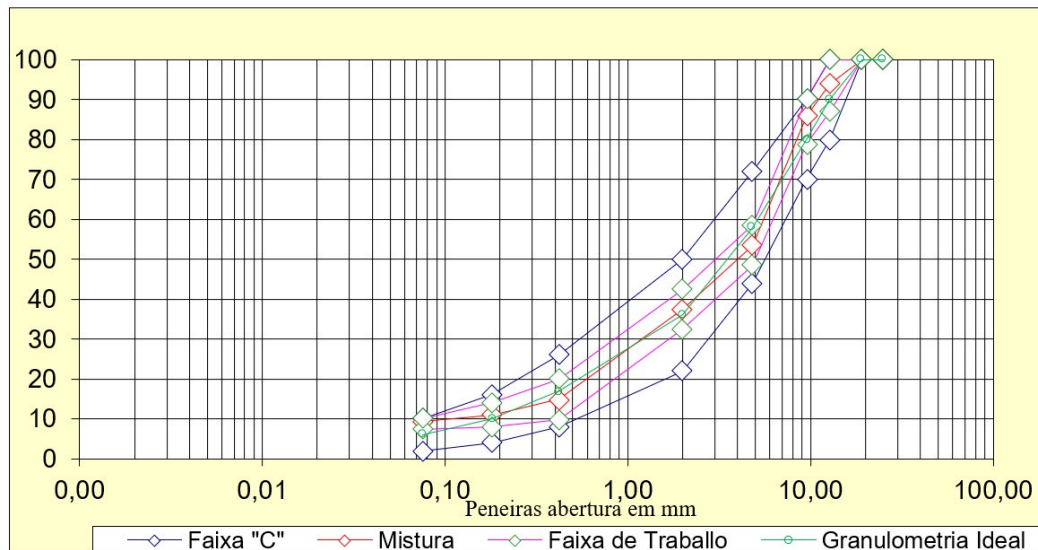
Figura 1 - Curva granulometria da areia e do pó de pedra oriundos de material fresado.



Fonte: Meneses (2014).

Para este estudo foi utilizado o método de dosagem Marshall especificado pela a norma DNER ME 043/95 - Mistura betuminosa a quente. Para se determinar a granulometria, foram feitos cálculos onde a partir dos quais se originaram os gráficos analíticos. Esses métodos permitem obter uma curva granulométrica resultante, dentro da faixa especificada, com tolerâncias estabelecidas em relação à mistura dosada, partindo de materiais que, individualmente, não satisfazem à especificação estabelecida. A figura 2 representa a composição granulométrica da dosagem onde utilizaremos a areia e o pó de pedra de material fresado.

Figura 2 - Composição granulométrica com o uso de areia e pó de pedra de material fresado.



Fonte: autoria própria (2023).

Dado o enquadramento dos agregados na faixa C do DNIT, foram feitas dosagens com as seguintes porcentagens de ligante: 3,5%, 4,0%, 4,5% e 5,0%. Para o preparo das amostras os agregados foram aquecidos em estufa na temperatura entre 105°C e 110°C que corresponde à viscosidade 85±10 SSF. Já o ligante teve o seu aquecimento a temperatura de 160°C, de acordo com as especificações, se atentando para que o tempo de aquecimento não ultrapasse de 1 (uma) hora.

Executada a mistura dos materiais, foram moldados três corpos de prova para cada porcentagem de ligante e compactados com 75 golpes de soquete padrão em cada face do corpo de prova.

Após 24 horas da confecção dos corpos de prova, houve a remoção dos moldes e em seguida os mesmos foram postos em repouso por mais 12 horas, à temperatura ambiente, seguindo as especificações do DNER-ME 043 (DNER, 1995).

Após esse período de repouso os corpos de prova tiveram suas massas seca e submersa determinadas. Com estes valores determinou-se a massa específica aparente dos corpos de prova (G_{mb}), que por comparação com a massa específica máxima teórica ($G_{mm} = DMT$), vai permitir a obtenção das relações volumétricas típicas da dosagem.

Determinados esses parâmetros, os corpos de prova foram submetidos a banho em água na temperatura de 60 °C, por 30 minutos para a realização do ensaio de Estabilidade,

Fluência Marshall e determinação dos vazios de acordo com a norma DNER-ES 318/97 Pavimentação – Concreto Betuminoso Reciclado a Quente na Usina.

Após a definição dos parâmetros volumétricos, Volume de Vazios (VV), Gmb (massa específica aparente), Densidade Máxima Teórica (DMT), Relação Betume Vazios (RBV), Vazios Com Betume (VCB), vazios de Agregado Mineral (VAM) e parâmetros mecânico (Estabilidade e Fluência), foi possível determinar o teor de projeto de ligante asfáltico de acordo com a inserção do material fresado.

No Brasil, a escolha do teor de projeto corresponde a um Volume de Vazios de 4%. É importante ressaltar que a distinção de procedimentos para a definição do teor de projeto depende do órgão, empresa ou instituto. É comum também a escolha se dar a partir da estabilidade Marshall, da massa específica aparente e do Vv. Nesse caso, o teor de projeto é uma média de três teores, correspondentes aos teores associados à máxima estabilidade, à massa específica aparente da amostra compactada e a um Volume de vazios de 4% ou média das especificações (BERNUCCI, 2022).

A tabela 1 faz um comparativo dos valores de porcentagem de vazios, relação betume vazios, estabilidade e fluência que o pavimento deve apresentar sendo concreto asfáltico convencional ou de concreto asfáltico reciclado.

Tabela 1 - Comparação entre NORMA DNIT 031/2006 - ES Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico. NORMA 318/2006 DNIT ES Concreto Betuminoso Reciclado a Quente na Usina.

Camada de rolamento	NORMA 031/2006 DNIT ES	DNER-ES 318/97
Porcentagem de vazios VV	3 a 5	3 a 5
Relação betune/vazios RBV	75 a 82	75 a 82
Estabilidade mínima Kgf	500 (75 golpes)	350 (75 golpes) 250 (50 golpes)
Fluência (mm)	-	2,0 a 4,5

Fonte: DNIT (2006)

RESULTADOS

Após a moldagem dos corpos de provas para os teores de ligantes de 3,5%, 4,0%, 4,5% e 5,0% pré-definidos, foram calculados os parâmetros volumétricos da mistura asfáltica com adição de material fresado.

A Tabela 2 dispõe os resultados da densidade aparente (Da), da densidade máxima teórica (DMT), do volume de vazios (Vv), dos vazios preenchidos com ligante asfáltico (VCB), dos vazios no agregado mineral (VAM) e da relação betume/vazios (RBV) obtidos através da média aritmética dos três corpos de prova com suas respectivas porcentagens de ligante.

Tabela 3 - Parâmetros volumétricos da dosagem Marshall utilizando material fresado.

Volume do CP	491,13	484,33	490,63	486,75
Densidade máxima teórica	3,19	3,05	3,0	2,96
Volume de vazios	2,586	2,151	2,063	1,78
VCB (%)	8,15	9,41	10,55	11,96
VAM (%)	10,73	11,56	12,61	13,74
RBV (%)	75,91	81,39	83,63	87,04
GMB (%)	2,36	2,39	2,38	2,43

Fonte: autoria própria, 2023.

Já a característica mecânica da mistura asfáltica é demonstrada pela estabilidade e fluência Marshall, e pela resistência à tração por compressão diametral. A tabela 4 apresenta os resultados obtidos dos ensaios dos corpos de provas dosados com areia artificial e pó de pedra de origem de pavimento fresado.

Tabela 4 - Rompimento dos corpos de prova.

Porcentagem de CAP	3,5%	4,0%	4,5%	5,0%
Estabilidade corrigida N	5.393,50	6.550,70	6.537,20	6.112,80
Fluência (mm)	0,10	0,08	0,05	0,09
Fator de correção do anel	1,949	1,949	1,949	1,949

Fonte: autoria própria, 2023.

Observando os dados da tabela vemos que o resultado obtido para o volume de vazios da mistura betuminosa possui valores abaixo do especificado na norma 318/2006 DNIT ES Concreto Betuminoso Reciclado a Quente na Usina que estabelece um volume de vazios entre 3 e 5 %.

Para a relação ao RBV, os valores encontrados estão de acordo com os valores especificados na norma que é de 75 a 82%, com exceção das dosagens cujas porcentagens de ligante são de 4,0% e 5,0%.

Com relação aos ensaios de Estabilidade realizados nos corpos de prova utilizando material fresado reciclado, todas as dosagens apresentaram valores em conformidade com as normas, já o ensaio de Fluência apresentou valores bem abaixo do especificado.

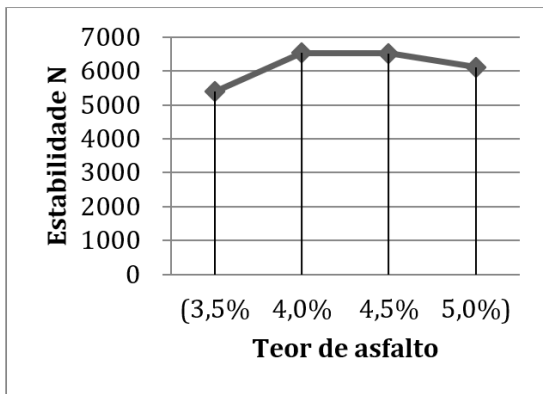
Com todos os valores dos parâmetros volumétricos e mecânicos determinados, são plotadas 6 curvas em função do teor de asfalto, que são usadas para a definição do teor de asfalto de projeto.

Para a determinação do teor de asfalto de projeto, são considerados os seguintes parâmetros: porcentagem de asfalto que corresponda à maior estabilidade, maior Gmb, volume de vazios correspondente a 4% e a média do valor para as dosagens cujo RBV esteja entre 75 e 82%. Dessa forma o teor de projeto de asfalto encontrado é de 4,0%, ou seja, 1,5% a menos do que é normalmente utilizado.

Os gráficos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 representam respectivamente os resultados para Estabilidade Marshall, Volume de Vazios, Vazios do Agregado Mineral, Relação Betume-Vazios, Densidade Máxima Teórica e Massa Específica Aparente para as dosagens

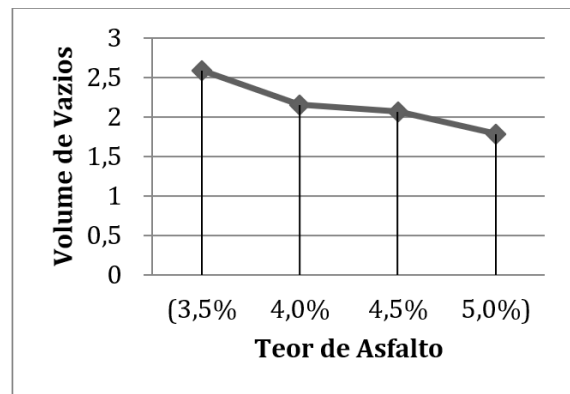
realizadas com areia e pó de pedra de pavimento asfáltico fresado.

(a) Estabilidade Marshall



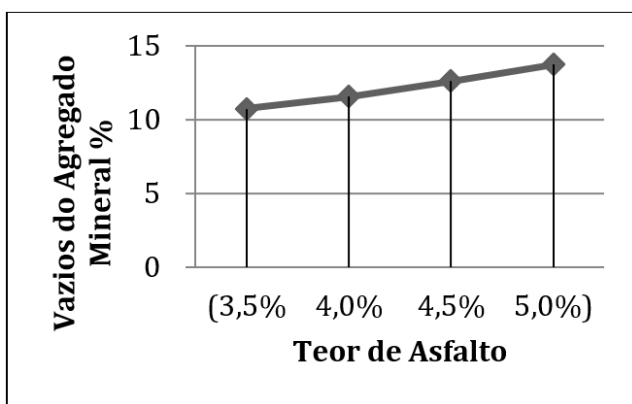
Fonte: Autoria própria (2023)

(b) Volume de Vazios



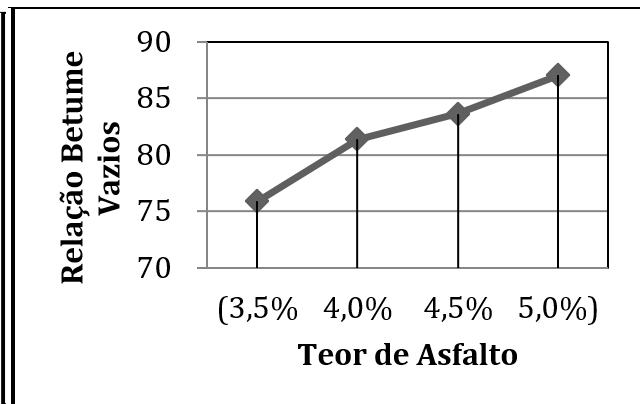
Fonte: Autoria própria (2023)

(c) Vazios do Agregado Mineral



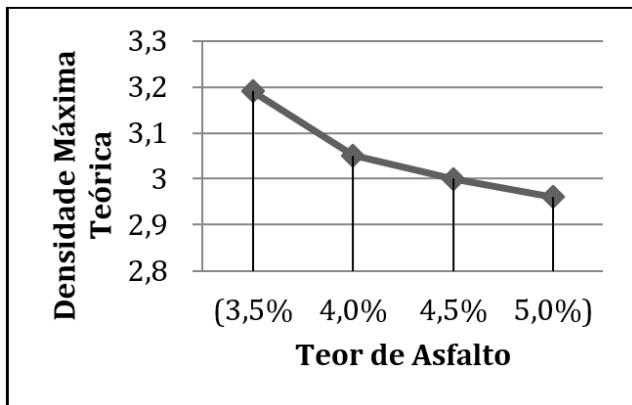
Fonte: Autoria própria (2023)

(d) Relação Betumes Vazios



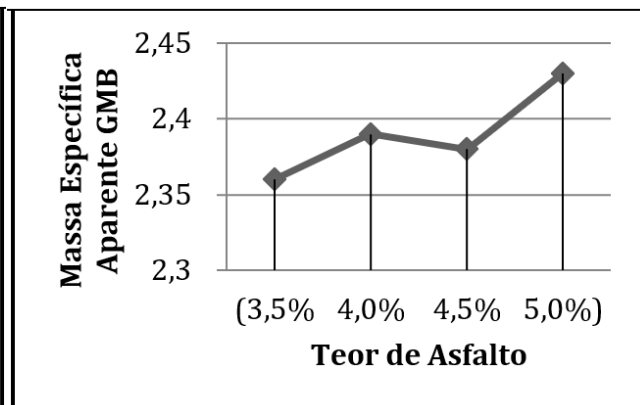
Fonte: Autoria própria (2023)

(e) Densidade Máxima Teórica



Fonte: Autoria própria (2023)

(f) Massa Específica Aparente



Fonte: Autoria própria (2023)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostram que a pesquisa foi satisfatória pois dada a substituição da areia de rio e do pó de pedra de origem convencional por areia e pó de pedra de material fresado, os resultados se mostraram dentro dos parâmetros de estabilidade de acordo com as duas normas, DNIT ES 031/2006 Pavimentos flexível- Concreto Asfáltico, que estabelece um valor de 500 kgf. E a DNER-ES 318/97 Pavimentação – Concreto Betuminoso Reciclado

Quente em Usina, cujo valor mínimo de estabilidade é de 350 kgf., ambas para 75 golpes.

Mostrou também que ao trabalhar com esse material é possível obter uma dosagem econômica de ligante já que o teor ótimo de CAP encontrado foi de 4,0%. Já com relação ao Volume de Vazios e a Fluência, ambos apresentaram valores abaixo do especificado em normas.

No entanto com esses valores baixos para o volume de vazios podemos inferir que a porcentagem de material fino pode ser diminuída, assim com a quantidade de ligante. Dessa forma pode-se concluir que com um novo estudo de dosagem, podemos diminuir ainda mais a quantidade de ligante utilizado, já que um baixo Volume de Vazios pode significar um excesso de ligante.

No entanto, apesar de alguns percalços, essa técnica de reciclagem é bem promissora, pois além de dar uma destinação correta ao material fresado, utilizando-o 100% em novas dosagens de CBUQ, ela proporciona uma economia considerável de ligante asfáltico, matéria prima que representa grande custo nas obras de pavimentação, além de proporcionar um ganho ambiental imensurável devido a reutilização do material fresado como areia e pó de pedra.

Assim com base nos resultados obtidos, seria de grande valia que mais pesquisas sobre esse assunto sejam feitas a fim de uma melhor compreensão do comportamento das misturas recicladas com material fresado. Também seria importante um estudo de viabilidade econômica, já que o material fresado precisaria ser transportado a uma usina e processado até se tornar uma areia artificial e pó de pedra, havendo dessa forma custos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR: 10520 Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação**. Rio de Janeiro 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR: 7225 - Materiais de Pedra e Agregados Naturais - Apresentação**. Rio de Janeiro 1993.

CUNHA, C.M. **Reciclagem de Pavimentos Rodoviários Flexíveis Diferentes Tipos de Reciclagem**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil na Área de especialização de Vias de Comunicação e Transportes. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Julho de 2010.

CNT - Confederação nacional do transporte. **Transporte rodoviário: desempenho do setor, infraestrutura e investimentos**. – Brasília, 2017.

BONFIM, V., **Pavimentação Sustentável: reaproveitamento do resíduo da construção civil e de material fresado com espuma de asfalto**. 18º RPU; junho de 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME-42 Método de ensaio da determinação da estabilidade e fluência Marshall**.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME 043/95. Misturas betuminosas a quente- ensaio Marshall**.

DEPARTAMENTO nacional de estradas de rodagem diretoria de desenvolvimento tecnológico – ipr divisão de capacitação tecnológica. DNER-ES 318/97: **Pavimentação – concreto betuminoso reciclado a quente na usina.**

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 031/2006: ES Especificação de serviço Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico.**

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 159/ 2011: ES Pavimentos asfálticos – fresagem a frio especificação de serviço.**

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 033/2005-ES Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico reciclado a quente na usina.** Rio de Janeiro 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT - Manual de pavimentação** (DNIT, 2006).

LIMA, A. T. **Caracterização Mecânica de Misturas Asfálticas Recicladas a Quente.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

BERNUCCI, L. B. [et al.]. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros** – Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006. 504 f.: il.

DANTAS, T. N. C.; NETO, E. L. B., FILHO, F. F. G., SOUZA, R.I.P. **Reciclagem de material asfáltico fresado com a utilização de solventes e micro emulsões.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte Natal/RN 2007.

CUNHA, A. PEÇANHA, [et al.,], **Reciclagem a frio “in situ” com espuma de asfalto.** Universidade Federal de Minas Gerais Curso de Especialização em Construção Civil.

DAVID, D. **Misturas asfálticas recicladas a frio: estudo em laboratório utilizando emulsão e agente de reciclagem emulsionado** - 2006.

DARTORA, N. C. **Caracterização mecânica de uma mistura asfáltica composta por material fresado e cal.** 2015.

CENTOFANTE, R. [et al.]. **Avaliação do comportamento de misturas asfálticas recicladas a quente com inserção de material fresado** – 2015.

LEITE, LENI M. F. [et al.,] **A importância das características dos agregados no desempenho das misturas asfálticas** – Rio de Janeiro: IBP, 2021. Formato: e-book em PDF. Modo de acesso: www.biblioteca.ibp.org.br

MENESES, I. S., AMORIM, E. F. **Utilização de material fresado como areia artificial e pó de pedra em dosagens de CBUQ.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso IFMT, 2014.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Mato Grosso, Campus Octayde Jorge da Silva por permitir o uso de seu laboratório de Materiais de Construção Civil e do Laboratório de Pavimentação Asfáltica juntamente com o técnico de laboratório Eder Almeida.

Análise da resistência de impacto e propriedades mecânicas do concreto com resíduo de borracha e sílica ativa

Natan Patrick Valle Francisco

Acadêmico de Engenharia Civil, Faculdade Educacional de Medianeira – UDC Medianeira, Medianeira – PR, Brasil

Eduardo Damim

2Engenheiro Civil, Mestre, Professor do Curso de Engenharia Civil, Faculdade Educacional de Medianeira – UDC Medianeira, Medianeira – PR, Brasil

RESUMO

O concreto é um material amplamente empregado na construção civil devido à sua notável resistência e durabilidade. No entanto, o setor de construção procura continuamente maneiras de aprimorar suas propriedades e adotar práticas mais sustentáveis. Uma abordagem interessante para alcançar isso é a incorporação de borracha proveniente de pneus descartados, contribuindo assim para a reciclagem de resíduos e a redução do impacto ambiental. Nesse contexto, houve a necessidade de avaliar e otimizar a inclusão de resíduos de borracha e sílica ativa no concreto, visando a melhoria de suas propriedades mecânicas e desempenho. Foram considerados diferentes traços, incluindo um traço de referência sem adição de borracha e três traços com uma relação água/cimento constante e proporção de 5% de sílica ativa, mas variando o teor de borracha em 7%, 10% e 13%. Os resultados dos ensaios revelaram que a adição de resíduo de borracha ao concreto tende a aumentar sua resistência ao impacto, graças à natureza elástica das partículas de borracha. Isso resultou em uma maior capacidade do concreto para resistir a cargas dinâmicas. Notavelmente, o traço com 7% de borracha se destacou, apresentando os melhores índices de desvio padrão e coeficiente de variação, apesar de uma redução de 19,27% na resistência à compressão em comparação com o traço de referência. O concreto com resíduo de borracha e sílica ativa representa uma solução promissora para melhorar o desempenho do concreto, tornando-o mais resistente a impactos e reforçando suas propriedades mecânicas. Essas descobertas são de grande importância para engenheiros, construtores e pesquisadores que buscam soluções inovadoras e ecologicamente conscientes no campo da construção civil.

Palavras-chave: concreto. sustentabilidade. desempenho mecânico. desgaste.



INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a sustentabilidade na indústria da construção civil tem impulsionado a busca por soluções inovadoras e sustentáveis na produção de materiais de construção. De acordo com Simonetti, Tutikian e Da Silva Filho (2021), a utilização de borracha de pneus na produção de concreto reciclável vem reduzindo significativamente o impacto ambiental associado à extração de recursos naturais.

Diversas pesquisas têm explorado alternativas para a reutilização de pneus, como a fabricação de asfalto-borracha, pisos emborrachados e materiais de construção, demonstrando sua capacidade de desempenho, resistência e durabilidade. Estudos como o de Da Silva Neto *et al.* (2021), evidenciam as possibilidades de uso dos pneus descartados como agregados em concreto, proporcionando benefícios técnicos e ambientais.

Segundo Abbas *et al.* (2022), a resistência ao impacto e a durabilidade são características essenciais do concreto, pois afetam diretamente a sua capacidade de suportar cargas, resistir a danos e manter a sua integridade ao longo do tempo. De acordo com Gupta *et al.* (2021), para melhorar essas propriedades, têm sido desenvolvidas diversas técnicas e materiais para adição ao concreto, como a utilização de borracha e sílica ativa.

Para Akbar (2022), a adição de resíduo de borracha de pneu ao concreto melhora a resistência ao impacto, devido às suas propriedades elásticas. Além disso, a borracha pode agir como um agente de amortecimento, reduzindo a força do impacto e minimizando o risco de fissuras e trincas no concreto, tornando-o mais adequado para estruturas expostas a cargas dinâmicas. Conforme Singh *et al.* (2022), a sílica ativa desempenha um papel fundamental na melhoria da resistência mecânica do concreto, devido à sua notável reatividade química e finura, fatores que, por sua vez, contribuem para a redução da permeabilidade do concreto e para o aumento de sua durabilidade.

Segundo Aguilar *et al.* (2019), a resistência de impacto é influenciada por fatores como a composição do concreto, a relação água/cimento, a porosidade e a presença de aditivos específicos. Para Nunes, Barreto e Maran (2021), desenvolver técnicas de dosagem apropriadas pode levar ao aumento das propriedades físicas e mecânicas do concreto, garantindo segurança e durabilidade nas estruturas.

CONCRETO COM ADIÇÕES DE RESÍDUOS

Para Junkes (2023), à medida que enfrentamos um cenário futuro cada vez mais desafiador relacionado aos recursos naturais não renováveis e o crescimento exponencial na geração de resíduos, especialmente aqueles que exigem longos períodos de decomposição, surge uma demanda crescente por medidas que visem à diminuição do consumo e à busca por soluções sustentáveis.

Neste sentido, para Couto, Barbosa & De Campos (2021), a aplicação de resíduos na indústria da construção emerge como uma promissora opção para mitigar impactos e proporcionar vantagens ambientais, sociais e econômicas. Essa abordagem envolve a conversão dos resíduos em matérias-primas destinadas à construção de novas estruturas

e edifícios, reduzindo a necessidade de explorar recursos naturais e diminuindo o volume de resíduos encaminhados para os aterros.

Segundo Hemalatha (2019), a reciclagem consiste no processo de reaproveitamento de materiais descartados, buscando transformar os resíduos em subprodutos úteis e reintroduzidos na cadeia produtiva, possibilitando a economia dos recursos naturais e diminuindo o volume de resíduos encaminhados para os aterros. Para Simonetti (2019), a incorporação de materiais reciclados pode resultar em redução dos custos de construção e na melhoria da eficiência energética das edificações, contribuindo assim para a promoção da sustentabilidade no setor.

Adições com resíduo de borracha e sílica ativa

O concreto com adição de borracha é uma alternativa inovadora e sustentável na indústria da construção civil. Conforme Singh *et al.* (2022), existem diferentes métodos de incorporação da borracha ao concreto, seja pela substituição parcial do agregado graúdo, a utilização de borracha como agregado miúdo ou a adição de pó de borracha como um aditivo.

Para Barboza *et al.* (2019), embora o concreto com borracha ofereça uma série de vantagens, sua implementação em larga escala enfrenta desafios significativos relacionadas à estabilidade da borracha durante a mistura, o processo de cura, a aderência entre a borracha e a matriz de cimento, bem como o impacto das variações de temperatura e umidade nas propriedades do material.

Diversos estudos têm sido realizados para avaliar o efeito da adição de resíduos de borracha de pneu e sílica ativa no concreto. Segundo Silva e Carvalho (2018), a adição de borracha de pneu pode melhorar a absorção de energia e a resistência à impacto do concreto. Já a sílica ativa, é um material de alta reatividade que pode melhorar a resistência e a durabilidade do concreto. Conforme demonstrado por Zhu *et al.* (2019), a presença de sílica ativa na matriz do concreto pode aumentar sua capacidade de absorver e dissipar a energia de impacto.

A combinação de resíduos de borracha de pneus e sílica ativa ao concreto pode levar a uma melhoria significativa nas propriedades mecânicas e durabilidade do concreto. Para Barros *et al.* (2020), a incorporação conjunta de resíduos de borracha de pneus e sílica ativa pode aumentar a resistência à compressão, a resistência à tração por flexão e a resistência à abrasão do concreto.

Além dos benefícios para a resistência de impacto e durabilidade, o uso de borracha proveniente de pneus usados e sílica ativa na produção de concreto também contribui para a sustentabilidade ambiental, promovendo a reciclagem de resíduos e a redução do consumo de recursos naturais. Segundo Liu *et al.* (2020) existem benefícios ambientais do concreto com borracha devido à redução nas emissões de gases no efeito estufa.

Propriedades mecânicas

Segundo Lakhari *et al.* (2022), o principal desafio da utilização de resíduos de pneus em concreto é a deterioração das propriedades mecânicas, devido à má ligação

entre a borracha e a matriz de cimento. Para Nunes, Barreto e Maran (2021), alguns pontos negativos podem ser amenizados com soluções comercialmente conhecidas, como o uso de aditivos e adições de minerais como pozolanas para melhorar sua resistência.

Para Mercado e Barbosa (2022), uma abordagem eficaz pode ser pré-molhar o resíduo de borracha, juntamente com a adição de um aditivo plastificante, a fim de alcançar uma melhor consistência. Outra alternativa é utilizar grânulos de borracha em diferentes tamanhos, o que contribuirá para reduzir os espaços vazios no material. Além disso, é possível melhorar as propriedades do concreto incorporando minerais como a sílica ativa, visando a diminuir a espessura da zona de transição entre o agregado e a matriz.

Para Gupta et al. (2021), que investigou os efeitos do de 10% de sílica ativa e 25% de fibras de borracha. A resistência à compressão do concreto aumentou 33%, 27% e 25% para proporções de ligante de água de 0,35, 0,45 e 0,55, respectivamente. A melhoria nas propriedades mecânicas foi atribuída às partículas finas de sílica ativa preenchendo os vazios do concreto, o que resultou em melhor adesão entre a borracha e a matriz de cimento.

De acordo com Copetti *et al.* (2020), o concreto com 30% de borracha tratada e 15% de sílica ativa apresentou resistência à compressão e módulo de elasticidade quase 36% e 11% maiores que o concreto com 7,5% de sílica ativa. A utilização de sílica ativa mostrou-se altamente benéfica em termos de resistência à compressão. Isso resultou em uma estrutura de concreto com menos poros e mais densa, o que, por sua vez, levou a melhorias nas propriedades mecânicas avaliadas.

Segundo Busić *et al.* (2020), que investigou a influência de resíduos de borracha de pneu e sílica ativa nas propriedades frescas e endurecidas do concreto auto-adensável (CAA). De acordo com os resultados obtidos, misturas com até 15% de borracha reciclada e 5% de sílica ativa, com 28 dias de resistência à compressão acima de 30 Mpa.

Segundo o artigo elaborado por Wang *et al.* (2019) a resistência do concreto simples pode ser drasticamente reduzida com altos teores de agregados de borracha, porém com a sua utilização a retração por secagem pode ser aumentada, uma vez que a borracha é facilmente deformada sob tensão de retração interna quando comparada com o cascalho clássico ou areia. No entanto, com a hibridização de macro fibras de polipropileno e agregados de borracha tratados, o comportamento pós-fratura das amostras melhorou significativamente com aumento da capacidade de carga residual e deformação.

Resistência de impacto

A resistência a impacto pode ser definida como a capacidade do concreto de resistir a cargas de impacto sem sofrer danos ou deformações permanentes. Segundo Mehta e Monteiro (2014), a resistência à impacto do concreto é influenciada principalmente pela resistência mecânica, uma vez que o concreto de alta resistência apresenta uma maior capacidade de absorção de impacto do que o concreto de baixa resistência, devido à sua maior rigidez e menor deformabilidade.

Para Abbas *et al.* (2022) a incorporação de resíduos de borracha no compósito de concreto levou a um aumento da resiliência em relação à carga de impacto devido ao melhor

mecanismo de dissipação de energia oferecido pelo compósito de concreto emborrachado.

Segundo Mhaya *et al.* (2021), a adição de borracha ao concreto teve um impacto significativo no aumento da sua resistência ao impacto e à fratura. Além disso, observou-se que o concreto emborrachado tem a capacidade de retardar o desenvolvimento de fissuras, e essa resistência às fissuras melhora à medida que a quantidade de pó de borracha aumenta. Outra constatação importante foi que o concreto emborrachado supera o concreto convencional em termos de sua capacidade de absorção de energia.

De acordo com Chen *et al.* (2022), que abordou a degradação por rigidez e microfissuras no concreto auto-adensável submetido a vibrações e cargas de impacto de longo prazo, considerando a taxa de substituição da borracha e o tamanho das partículas. Os resultados mostram que o pico de deformação dinâmica e a tensão de pico do concreto auto-adensável com borracha foram maiores do que o concreto auto-adensável comum com resistência à compressão estática semelhante. O aumento do teor de borracha reduz a resistência dinâmica à compressão do concreto auto-adensável com borracha.

De acordo com Silva *et al.* (2019), que empregou o método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) para determinar a dosagem do concreto, adicionando borracha em duas proporções: 6% e 9% em massa, em relação ao agregado miúdo. Os ensaios realizados demonstraram que a inclusão de 10% de borracha em relação à massa de cimento pode aumentar a resistência ao desgaste do concreto em até 70%. Conclui-se, portanto, que a utilização de concreto com borracha de recauchutagem de pneus pode ser uma opção promissora e sustentável para pavimentação em vias de baixo tráfego.

Segundo Lima *et al.* (2018), a resistência ao impacto pode variar amplamente dependendo da qualidade do concreto e das condições de uso. Portanto, os requisitos de resistência ao impacto devem ser especificados de acordo com as necessidades específicas de cada projeto.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O desenvolvimento deste trabalho consistiu no estudo da incorporação do resíduo de borracha de pneus proveniente do processo de recauchutagem, em substituição parcial do agregado miúdo, e na adição de sílica ativa junto ao concreto, com os objetivos de determinar a dosagem ideal e analisar sua resistência de impacto e durabilidade. Sendo assim, adotou-se um traço de 1:1,66:2,49:0,49, conforme apresentado por da Silva Neto (2021), denominado de referência e sem a presença de resíduo de borracha. Além de três tipos de dosagens, com mesma relação água/cimento e proporção de 5% de sílica ativa, porém com teores de borracha de 7%, 10% e 13%, com a finalidade de verificar a influência do resíduo nas propriedades físicas e mecânicas concreto.

Quadro 1 - Ensaio no estado endurecido do concreto

Ensaio	Dimensões do CP's	Número de CP's	Idade	Normas
Resistência a Compressão	10x20 cm	6	28 dias	ABNT NBR 5739/2019
Resistência a Tração	10x20 cm	6	28 dias	ABNT NBR 7222/2011
Absorção de água e Massa específica	10x20 cm	6	28 dias	ABNT NBR 9788/2005
Avaliação da resistência de Impacto	15x30x5 cm	6	28 dias	ABNT NBR 9454/1986

Fonte: Autor (2023).

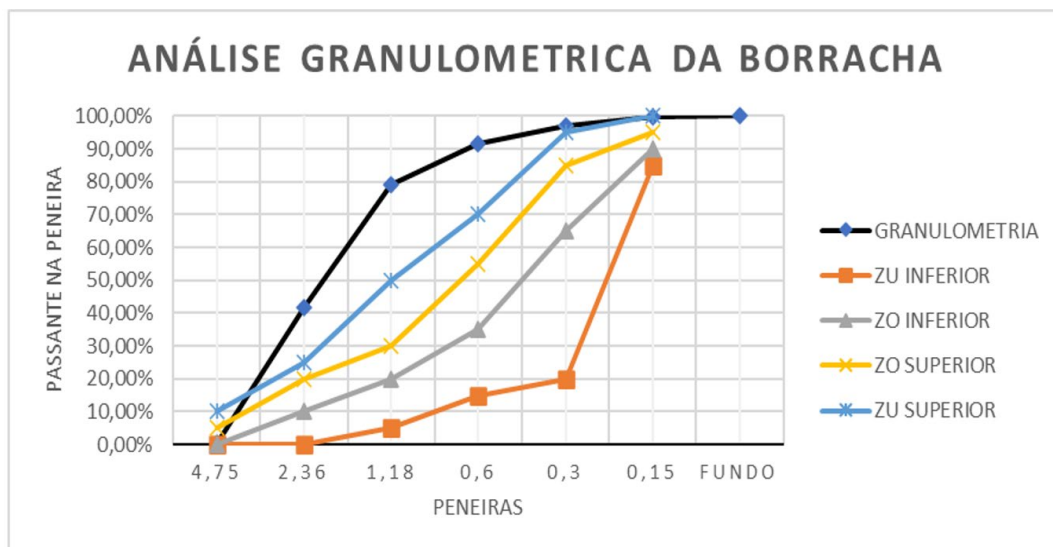
Para realização da pesquisa utilizou-se sílica ativa da empresa Tecnosil. Sendo suas características químicas e físicas analisadas, de acordo com a NBR 13956-1 (ABNT,2012), na qual estabelece os requisitos para a utilização junto ao cimento Portland no concreto, conforme o quadro 2:

Quadro 2 - Características químicas e físicas da sílica ativa

Ensaio	Resultados
Massa específica	2220 kg/m ³
Teor de Sio ₂	> 90%
Diâmetro médio das partículas	0,20 μ m
Massa Unitária não densificado	< 350 kg/m ³
Massa Unitária densificado	> 350 kg/m ³

Fonte: Adaptado de Tecnosil (2022).

A borracha utilizada na dosagem do concreto apresentou formatos e tamanhos diversos, porém com dimensões similares a da areia utilizada, conforme previsto na NBR 7211 (ABNT, 2022). Sendo apresentada a análise granulométrica, no gráfico 1.

Gráfico 1 - Análise granulométrica da borracha.

Fonte: Autor (2023).

A massa unitária da borracha foi determinada pela NBR 16972 (ABNT, 2021), no qual tratou da relação entre a massa do agregado e o seu volume em um mesmo recipiente.

Já a massa específica foi verificada seguindo os procedimentos descritos na NBR 16916 (ABNT, 2021), no qual utilizou o frasco volumétrico de Le Chatelier, e substitui a água por querosene como líquido do recipiente, no qual a sua baixa massa específica ($0,786\text{g/cm}^3$), permitiu a eliminação de bolhas e total decantação do material suspenso.

Tabela 1 - Características da borracha.

Ensaio	Resultados
Massa Unitária (g/cm^3)	$0,51\text{ g/cm}^3$
Massa Específica (g/cm^3)	$1,14\text{ g/cm}^3$

Fonte: Autor (2023).

Análise dos dados e interpretação dos resultados

Os resultados foram obtidos a partir dos ensaios realizados tanto no concreto em seu estado fresco quanto no estado endurecido. A análise e interpretação dos dados se concentram no comportamento mecânico dos concretos submetidos a diversos tipos de esforços e com diferentes quantidades de resíduos de borracha, em comparação com a amostra de referência sem a presença de borracha.

Trabalhabilidade

Observou-se que a incorporação de borracha no concreto resultou em uma redução na trabalhabilidade, sugerindo que as partículas de borracha estavam restringindo o movimento da mistura, resultando em uma diminuição na sua capacidade de deformação e, conseqüentemente, um menor abatimento. Isso evidenciou o impacto negativo da adição de borracha na trabalhabilidade do concreto, requerendo a introdução de uma quantidade adicional de água durante o processo de mistura para tornar a composição mais maleável. No entanto, o aumento da relação água/cimento (a/c) para melhorar a trabalhabilidade pode resultar em uma diminuição da resistência do concreto.

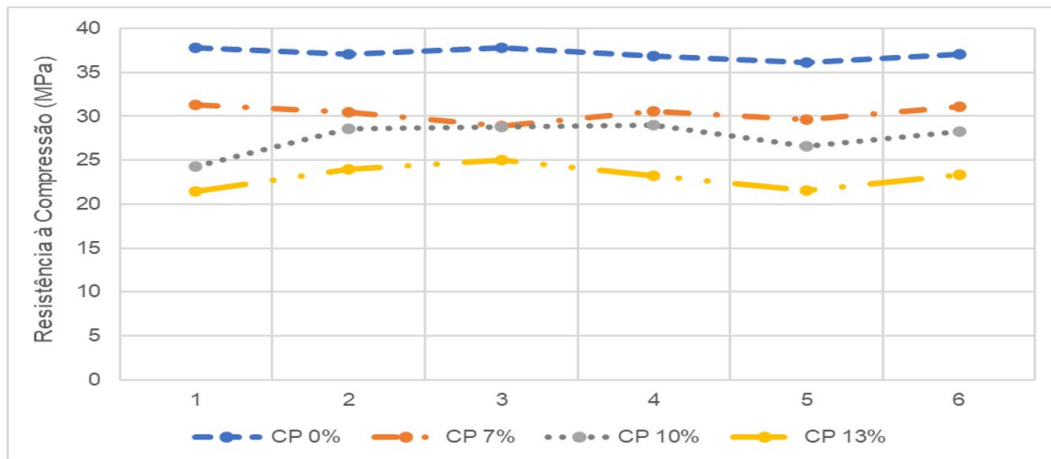
Tabela 2 - Abatimento do Slump Test.

Traço	Abatimento (mm)	Relação a/c
CR 0%	110	0,490
CP 7%	130	0,490
CP 10%	150	0,490
CP 13%	170	0,490

Fonte: Autor (2023).

Resistência à Compressão

Os resultados obtidos para o ensaio de resistência à compressão para cada traço estão listados abaixo. Esse ensaio foi analisado de maneira abrangente, considerando um período de 28 dias. Os resultados de todas as amostras podem ser visualizados no gráfico 2, o que possibilita a observação do desempenho em cada proporção.

Gráfico 2 - Resultados dos corpos de prova para Resistência à Compressão.

Fonte: Autor (2023).

Os dados acima indicam que, ao aumentar a quantidade de borracha utilizada, a resistência à compressão diminui, levando em consideração uma mesma relação água/cimento, aditivo plastificante e adição de 5% de sílica ativa. Essa tendência pode ser atribuída à maior quantidade de ar incorporado durante a produção do concreto, bem como a diminuição da aderência na interface entre o resíduo de borracha e a matriz do cimento.

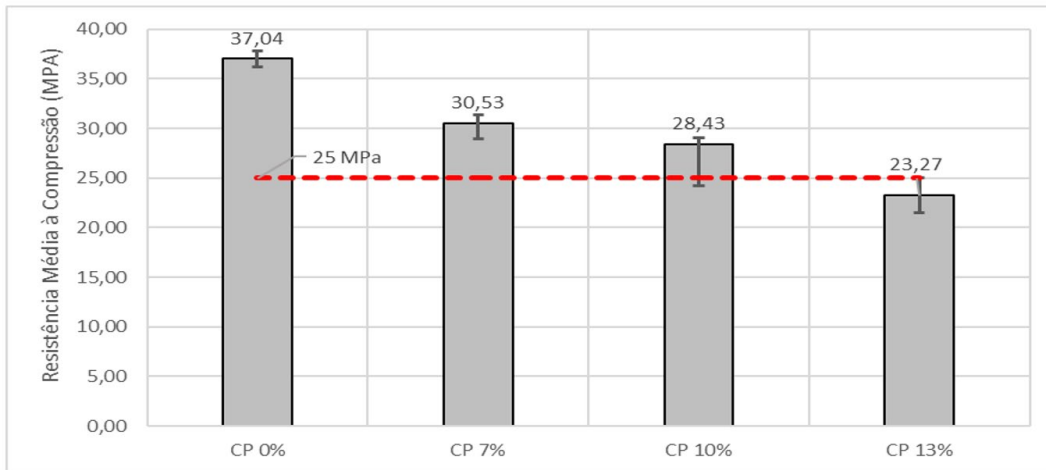
A tabela 3 abaixo apresenta os resultados obtidos após análise dos dados, sendo possível observar que o entre as amostras com presença de borracha em sua composição, o traço com adição de 7%, foi o que apresentou os melhores índices de desvio padrão e coeficiente de variação, mesmo apresentando diminuição de 19,27% na resistência à compressão em relação ao traço de referência.

Tabela 3 – Análise dos resultados de resistência à compressão.

	CR 0%	CP 7%	CP 10%	CP 13%
Média (MPa)	37,04	30,53	28,43	23,27
Desvio Padrão (MPa)	0,570	0,826	1,683	1,266
Mínimo (MPa)	36,137	28,938	24,256	21,449
Máximo (MPa)	37,794	31,317	29,052	25,003
Coeficiente de Variação	1,539%	2,704%	5,919%	5,440%

Fonte: Autor (2023).

O comportamento observado no concreto com a inclusão de borracha é consistente com achados previamente descritos na literatura, como mencionado por Da Silva Neto *et al.* (2021), a adição de borracha também ocasionou perda de resistência mecânica, ao adicionar 10% de borracha em substituição ao agregado miúdo no concreto, a amostra apresentou resistência média a compressão de 22,31 Mpa após 28 dias, tendo um decréscimo de 19,34% com relação ao traço de referência.

Gráfico 3 – Resultados Médios para Ensaio à Compressão.

Fonte: Autor (2023).

É possível observar leves mudanças nas médias devido ao baixo desvio padrão de cada traço. Quanto maior o acréscimo do compósito, maior a redução na capacidade de suportar cargas de compressão devido às propriedades elásticas e menos rígidas da borracha em comparação com os agregados tradicionais.

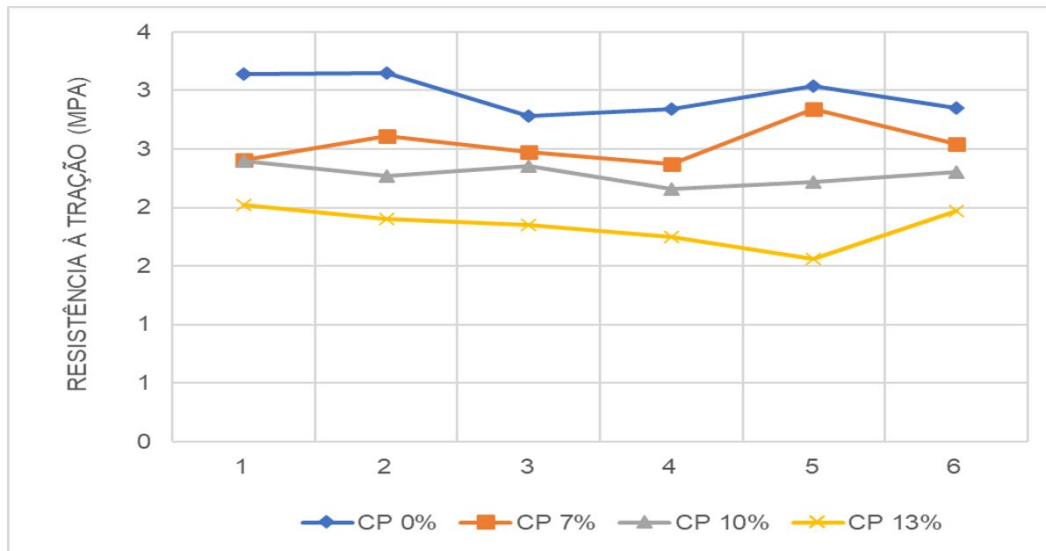
Figura 1 – Amostras dos ensaios de Resistência à Compressão.

Fonte: Autor (2023).

O ensaio de compressão atinge o pico de carga quando a carga aplicada ao corpo de prova não pode mais ser sustentada, e a deformação do concreto começa a aumentar rapidamente. Nesse ponto, o concreto atinge sua máxima resistência à compressão, e passa a perder rapidamente sua capacidade de resistência à compressão, culminando na falha ou ruptura do corpo de prova.

Resistência à Tração

No ensaio de resistência à tração, uma análise geral dos dados foi realizada, e os resultados foram representados no gráfico 4. As amostras demonstraram que, à medida que a porcentagem de resíduo introduzido aumentava, houve uma diminuição na resistência dos corpos de prova, ocasionada pela perda de rigidez do concreto.

Gráfico 4 – Resultados dos corpos de prova para Resistência à Tração.

Fonte: Autor (2023).

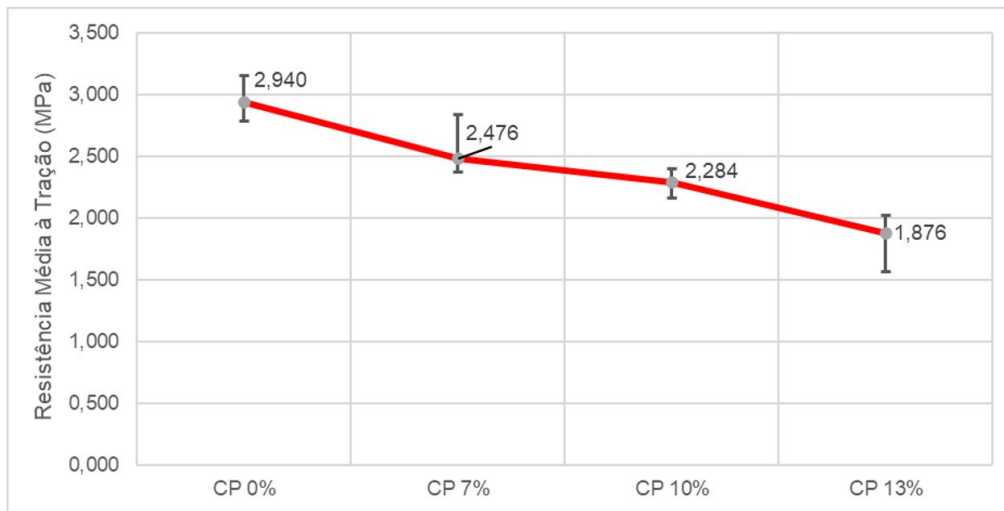
Conforme os dados apresentados na tabela 4, é possível perceber que dentre os traços abordados com borracha e 5% de sílica ativa na sua composição, os corpos de prova com 7% de resíduos de borracha, apresentaram as maiores taxas de desvio padrão, e a maior resistência à tração, mesmo sendo 15,78 % inferior ao traço de referência. O restante dos traços abordados apresentou diminuição de 22,31% e 36,19%, respectivamente. A dosagem com presença de 10% de resíduos apresentou os menores índices de desvio padrão, enquanto a o traço de 13% apresentou o maior índice de variação.

Tabela 4 – Análise dos resultados de resistência à tração.

	CP 0%	CP 7%	CP 10%	CP 13%
Média (MPa)	2,940	2,476	2,284	1,876
Desvio Padrão (MPa)	0,149	0,156	0,079	0,151
Mínimo (MPa)	2,779	2,368	2,158	1,563
Máximo (MPa)	3,148	2,839	2,394	2,021
Coefficiente de Variação	5,065%	6,307%	3,466%	8,069%

Fonte: autor (2023).

Autores que exploraram áreas de pesquisa semelhantes, como Copetti *et al.* (2020) e Lakhari *et al.* (2022), observaram uma redução na resistência à tração de concretos contendo borracha e sílica ativa à medida que a quantidade de resíduos de borracha aumenta.

Gráfico 5 – Resultados Médios para Ensaio à Tração.

Fonte: Autor (2023).

Durante o ensaio de resistência à tração, percebe-se que com o aumento da carga, as fissuras começam a se propagar e se tornam visíveis. O concreto atinge um ponto crítico onde a capacidade de resistir à tração é excedida, levando à abertura de fissuras visíveis e à redução da carga máxima que o corpo de prova pode suportar.

A amostra acaba fraturando devido à tração desenvolvida em planos diametralmente opostos durante o ensaio. As fissuras começam a se desenvolver a partir dos pontos de maior tensão no centro do corpo de prova, e se estendem em direção a superfície do cilindro.

Figura 2 – Corpos de prova após ensaios de resistência à tração.

Fonte: Autor (2023).

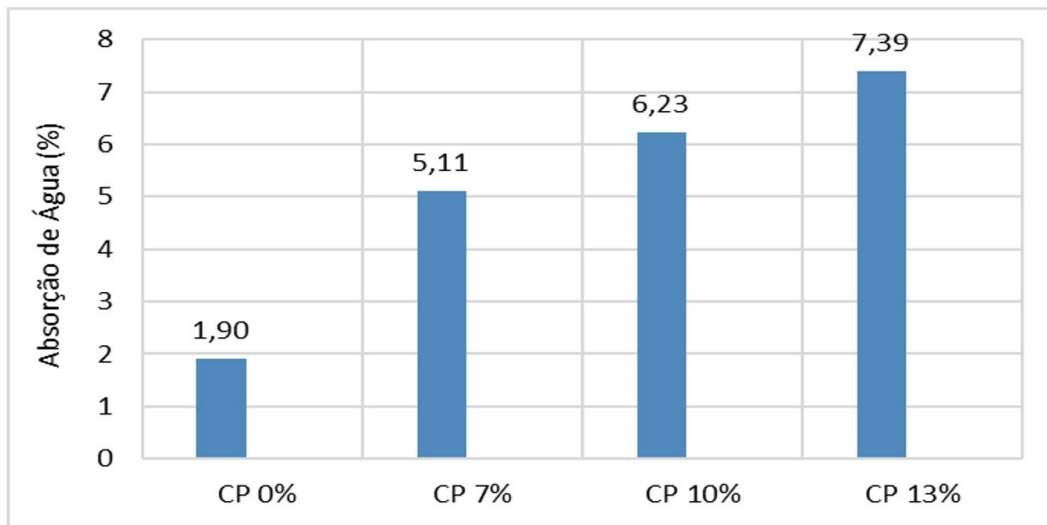
Embora a sílica ativa melhore as propriedades mecânicas do concreto, através do aumento da densidade da matriz de cimento, da redução da porosidade e da melhoria nas ligações entre os componentes do concreto. A borracha é um material mais flexível do que o concreto, e a inclusão de partículas de borracha reduz a coesão do material. Diante disso, a quantidade utilizada durante o estudo, não obteve grande influência sobre os valores obtidos no ensaio de resistência à tração.

Absorção de água, Índice de vazios e Massa específica

Os resultados obtidos durante o ensaio de absorção de água apresentados no gráfico 6, demonstram que quanto maior a taxa de resíduos utilizados na composição cimentícia, maior é o índice da absorção de concreto.

Os corpos de provas estudados com 7%, 10% e 13% de resíduo de borracha, apresentaram valores de absorção variando de duas até quatro vezes mais que o concreto de referência. Isso ocorre devido à estrutura porosa do concreto com borracha e os vazios entre as partículas de borracha e matriz do cimento.

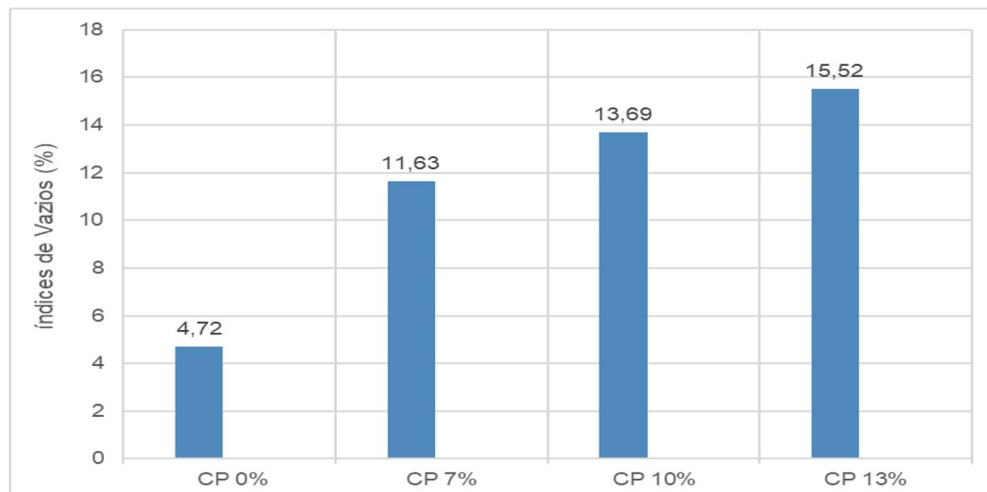
Gráfico 5 – Ensaio de Absorção de água.



Fonte: Autor (2023).

A gestão da permeabilidade do concreto é um fator de extrema importância a ser levado em consideração em projetos de construção e na manutenção de estruturas de concreto. O controle eficaz da absorção de água e a implementação de medidas apropriadas para resguardar o concreto contra a infiltração hídrica desempenham um papel crucial na garantia da integridade e longevidade das estruturas de concreto.

Gráfico 6 – Ensaio de Índices de vazios.



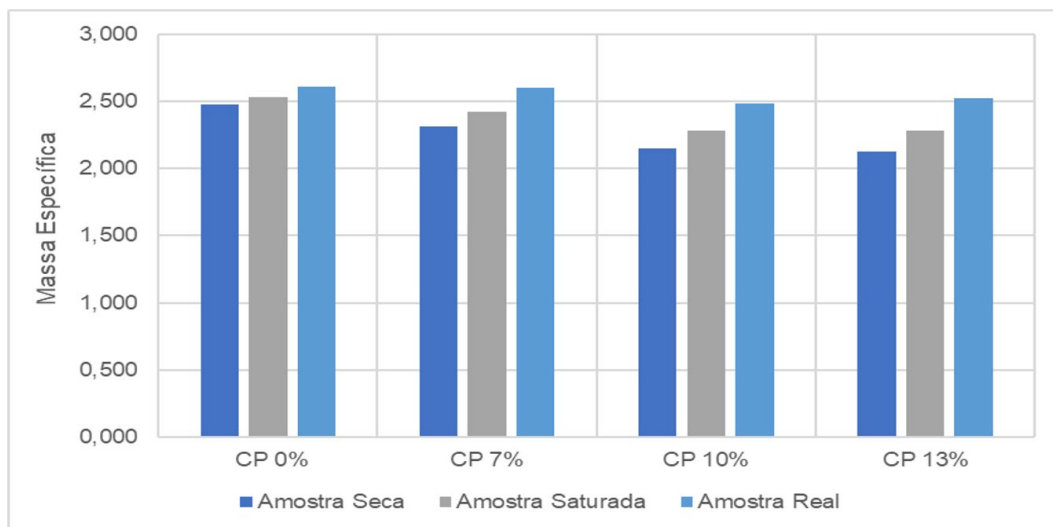
Fonte: Autor (2023).

A inclusão de partículas de borracha na mistura diminui a densidade do concreto em comparação com o concreto tradicional. O controle do índice de vazios desempenha um papel fundamental na otimização da densidade do concreto contendo borracha, permitindo o equilíbrio adequado entre a quantidade de agregados e as partículas de borracha. Durante o estudo, observa-se que à medida que a proporção de borracha aumenta, os corpos de prova apresentam um aumento na porcentagem de taxas que é três vezes maior do que o concreto de referência.

Quanto ao índice de vazios, Mehta e Monteiro (2014), classificam concretos permeáveis com índice de vazios superior à 30% como altamente porosos e quanto este é inferior à 15%, o concreto é considerado de baixa permeabilidade. As dosagens de referência e com porcentagens de 7% e 10% apresentam-se como concreto de baixa permeabilidade, devido à atuação da sílica ativa na composição do concreto. Com apenas a dosagem de 15% de resíduos enquadrando-se entre o valor ideal de porosidade.

Um elevado índice de vazios pode comprometer a resistência do concreto, uma vez que indica a presença de uma quantidade significativa de espaços de ar na estrutura do material. Uma taxa excessiva de vazios torna o concreto vulnerável à infiltração de água e à ação de agentes agressivos, como cloretos, que podem provocar a corrosão das armaduras de aço e a degradação do próprio concreto.

Gráfico 7 – Ensaio de Massa específica.



Fonte: Autor (2023).

Dentre o ensaio de massa específica, nas amostras analisadas no estado seco, foi perceptível que quanto maior a quantidade de borracha utilizada, menor era a massa em questão. Tendo variação de 6,42%, 13,09% e 14,14% com relação ao traço de referência, respectivamente. No ensaio com amostra saturada também houve decréscimo na massa das amostras diante os acréscimos de resíduo, porém com as amostras de 10% e 13%, apresentando praticamente o mesmo valor.

Na avaliação da amostra real que é a relação do material seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis, a diferença de percentual médio entre as amostras fora baixa. O concreto com 7% de resíduos de borracha teve diminuição de apenas 0,48% em relação ao concreto de referência. Enquanto a mostra de 10% acabou apresentando

4,86%, uma diferença maior do que a mostra de 13% que foi de 3,42% com relação ao traço de referência.

Resistência de impacto

Nesse ensaio foi analisado os números de impactos necessários, a altura de queda e a força de impacto para a observação da primeira e última fissura, considerando um período de cura de 28 dias. Os resultados obtidos de todas as amostras podem ser visualizados nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Análise da resistência de impacto na primeira fissura.

1° Fissura Observada					
Traço	Idade (dias)	Número de Impactos	Altura de Queda (m)	Resistência de Impacto (J)	Espessura (mm)
Concreto Referência - 0%	< 28	15	1,5	58,86	0,10
7% Borracha	< 28	17	1,6	66,71	0,05
10% Borracha	< 28	18	1,7	75,05	0,10
13% Borracha	< 28	20	1,9	93,20	0,10

Fonte: Autor (2023).

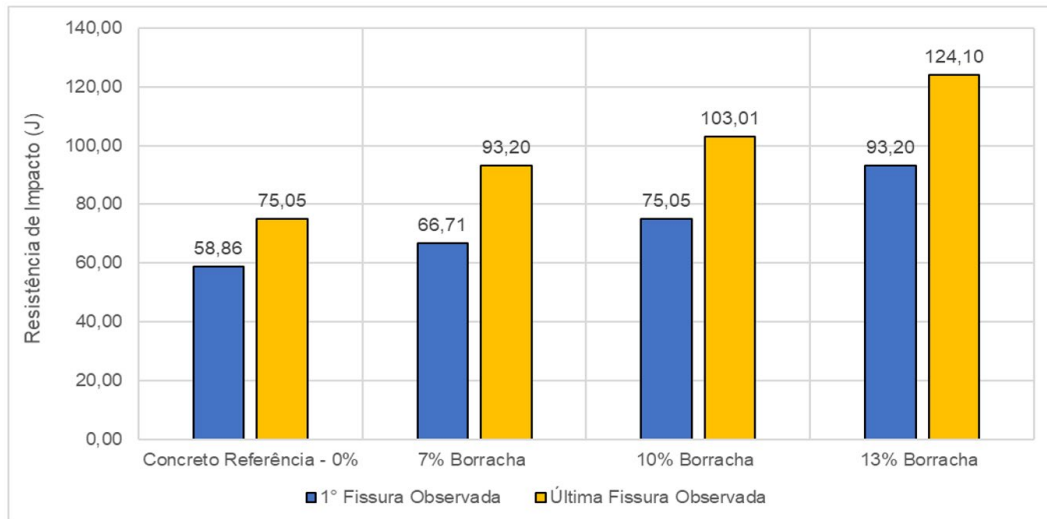
Durante os ensaios, foi observado que os corpos de prova de referência, que não continham adição de borracha, apresentaram o surgimento da primeira fissura com um menor número de impactos. Notou-se que, à medida que a proporção de borracha na composição aumentava, a altura necessária e o número de golpes para a ocorrência das fissuras também aumentavam.

Tabela 5 – Análise da resistência de impacto na última fissura

Última Fissura Observada					
Traço	Idade (dias)	Número de Impactos	Altura de Queda (m)	Resistência de Impacto (J)	Espessura (mm)
Concreto Referência - 0%	< 28	17	1,7	75,05	0,30
7% Borracha	< 28	19	1,9	93,20	0,25
10% Borracha	< 28	20	2,0	103,01	0,30
13% Borracha	< 28	22	2,2	124,10	0,20

Fonte: Autor (2023).

Na sequência de ensaios após a ocorrência da primeira fissura, identificou-se a última fissura, que apresentou uma espessura variando entre 0,1 mm e 0,3 mm no concreto de referência, onde não havia resíduos de borracha, com a fratura ocorrendo a uma altura média de 1,70 metros. Para as dosagens que continham borracha, ficou claro que quanto maior a quantidade de borracha adicionada, maior foi a altura necessária e o número de impactos necessários para atingir a última fissura.

Gráfico 8 – Ensaio de resistência à impacto

Fonte: Autor (2023).

Durante o ensaio, é evidente que à medida que a quantidade de resíduos de borracha utilizada aumenta, é requerida uma força maior para observar tanto a primeira quanto a última fissura. Houve um acréscimo de 18,43%, 27,50% e 58,34% na energia necessária para detectar a primeira fissura em comparação com o traço de referência, e um aumento de 24,18%, 37,25% e 65,35% para a identificação das últimas fissuras, respectivamente.

Figura 3 – Ensaio de resistência a impacto.

Fonte: Autor (2023).

Cargas dinâmicas são comuns em diversas aplicações, como máquinas em funcionamento, veículos em movimento, terremotos, ventos fortes e situações similares. Portanto, é fundamental considerar a capacidade do material de resistir e absorver essas cargas dinâmicas ao projetar e construir estruturas e componentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos resultados dos ensaios executados nessa pesquisa, e com base nas pesquisas apresentadas, foi possível observar a adição de resíduo de borracha ao concreto tende a aumentar a resistência de impacto do material. Isso ocorre devido à

natureza elástica das partículas de borracha, que podem absorver parte da energia do impacto, resultando em uma maior capacidade do concreto de resistir a cargas dinâmicas.

A adição de borracha resultou em uma diminuição da resistência à compressão do concreto, uma vez que as partículas de borracha não contribuem significativamente para a resistência do material. Isso pode requerer um ajuste nas proporções dos materiais para manter a resistência desejada. Já a trabalhabilidade do concreto, ou seja, sua capacidade de ser moldado e manipulado durante a construção, foi reduzida com a adição de borracha. Isso pode exigir a introdução de mais água ou aditivos para manter a trabalhabilidade adequada.

O resíduo de borracha de pneu e a sílica ativa são materiais que apresentam um grande potencial de utilização na produção do concreto. A combinação desses materiais pode contribuir para melhorar as propriedades mecânicas e a durabilidade do concreto, além de reduzir o impacto ambiental da produção do material. Diante disso, é importante que sejam realizados mais estudos para avaliar o desempenho do concreto com a adição de resíduo de borracha de pneu e sílica ativa, de forma a viabilizar sua utilização em larga escala na construção civil.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, S. *et al.* **Effect of Particle Sizes and Dosages of Rubber Waste on the Mechanical Properties of Rubberized Concrete Composite.** Applied Sciences, 2022.
- AGUILAR, M. A. *et al.* **Impact Resistance of High-Performance Concrete with Polypropylene and Steel Fibers.** Materials, 2019.
- AKBAR, M. *et al.* **Effect of Human Hair Fibers on the Performance of Concrete Incorporating High Dosage of Silica Fume.** Applied Sciences, 2022.
- BARBOSA, L., *et al.* **Mechanical properties of rubberized concrete containing recycled tire rubber and recycled aggregates.** Construction and Building Materials, 2019.
- BARROS, P. S. M. *et al.* **Mechanical properties and abrasion resistance of concrete with rubber and silica fume.** Construction and Building Materials, 2020.
- BUŠIĆ, R. *et al.* **Prediction models for the mechanical properties of self-compacting concrete with recycled rubber and silica fume.** mdpi.com, 2020.
- CHEN, Z. *et al.* **Recycling of waste tire rubber as aggregate in impact-resistant engineered cementitious composites.** Construction and Building Materials, 2022.
- COPETTI, C. M. *et al.* **Evaluation of tire rubber surface pre-treatment and silica fume on physical-mechanical behavior and microstructural properties of concrete.** Elsevier, 2020
- COUTO, Karina de Fátima; BARBOSA, José Eduardo do Couto; DE CAMPOS, Patrícia Klinkerfus. **Estudo de caso sobre o processo de reaproveitamento de resíduos sólidos da construção civil.** Revista Científica e-Locução, 2021.
- DA SILVA NETO, J. A. *et al.* **Influência do pó de pedra e borracha de pneu inservível como agregados no concreto.** Holos, 2021.
- GUPTA, T., *et al.* **Effect of aggressive environment on durability of concrete containing fibrous rubber shreds and silica fume.** Structural Concrete, 2020.

Análise do plástico reciclado para produção de blocos de vedação

Willian Fernando Kovaes

Acadêmico de Engenharia Civil, Faculdade Educacional de Medianeira – UDC Medianeira, Medianeira – PR, Brasil

Eduardo Damim

2Engenheiro Civil, Mestre, Professor do Curso de Engenharia Civil, Faculdade Educacional de Medianeira – UDC Medianeira, Medianeira – PR, Brasil

RESUMO

O setor da construção civil tem buscado soluções sustentáveis e economicamente viáveis para reduzir o impacto ambiental causado pela indústria. Há uma crescente preocupação com a preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável, levando a uma transformação significativa no ramo da construção civil. A reciclagem de materiais tem sido destacada como uma alternativa para minimizar os impactos negativos do descarte inadequado de resíduos. Considerando os princípios da sustentabilidade na construção civil, este trabalho tem como objetivo investigar materiais alternativos e tecnologias apropriadas. O plástico tipo 1 PET (Polietileno Tereftalato) é um dos principais desafios a serem enfrentados devido à sua ampla utilização e degradação lenta ao meio ambiente. A incorporação de material plástico durante o processo de moldagem de blocos, seja para fins de vedação ou estruturais, tem sido objeto de estudo nos últimos anos com o princípio de adicionar uma parte ideal de material plástico perante o bloco sem que o mesmo perca a sua resistência. Este estudo teve como objetivo a análise e viabilidade do plástico PET como um material alternativo na fabricação de blocos não estruturais, visando eventualmente a fabricação de blocos de vedação feitos inteiramente de plástico reciclado. Para estabelecer uma base de dados sobre a resistência, deste bloco produzido inteiramente de material plástico foi utilizado como referência um bloco de vedação convencional produzido em concreto, perante os ensaios o bloco de material PET mostrou melhorias significativas em propriedades como resistência à compressão e tração, em comparação com outros tipos de blocos com a mesma função. Tendo resultados acima estipulados por norma. O mesmo foi distribuído dentre o ensaio de referência e mais três análises sendo elas recicladas novamente a cada ensaio para a produção do próximo bloco, com o intuito de verificar a sua perda de resistência conforme o número de reciclagem do mesmo material, com a moldagem dos blocos não necessitou um tempo de cura estimado, onde o mesmo após o resfriamento seguiu para os ensaios. Os resultados indicam um aumento significativo perante o bloco convencional de 5,81 Mpa, 6,01 Mpa e 5,75 Mpa para o bloco de referência, sendo o mínimo aceito por norma de 2,5 Mpa. Para o ensaio após a primeira reciclagem os resultados foram de 3,97 Mpa, 4,05 Mpa e 4,15 Mpa novamente acima do estimado por norma, seguindo para a segunda reciclagem os resultados foram de 2,48 Mpa, 2,11 Mpa e 2,38 Mpa, já com números abaixo da



normativa, sendo assim estimado o número máximo de duas reciclagens para o mesmo material. Esses resultados indicam que o material investigado é adequado para a fabricação de blocos a partir de PET, destinados à construção, promovendo, assim, a utilização sustentável de recursos reciclado da região.

Palavras-chave: bloco de vedação. reciclagem. inovação.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o setor da construção civil tem passado por um processo contínuo de inovação. Nesse contexto, há uma crescente busca por soluções sustentáveis e economicamente viáveis, com o objetivo de reduzir o impacto ambiental causado pela indústria da construção. Essa busca por alternativas mais sustentáveis reflete o reconhecimento da importância de adotar práticas responsáveis e de preservar os recursos naturais, resultando em uma transformação significativa no ramo da construção civil.

A preocupação com a preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável tem se tornado uma pauta cada vez mais relevante na sociedade contemporânea. Nesse contexto, a reciclagem de materiais tem ganhado destaque como uma alternativa viável e promissora para minimizar os impactos negativos causados pelo descarte inadequado de resíduos.

O setor da construção civil é um dos principais agentes de degradação ambiental, dada sua extensa e complexa cadeia produtiva que impacta no consumo de recursos naturais e na emissão de agentes poluentes no meio ambiente (AGOPYAN; JOHN, 2011).

Um estudo realizado pelo CEVE (Centro Experimental de *la Vivienda Económica*) na Argentina explorou a viabilidade do PET reciclado como um material alternativo na fabricação de blocos não estruturais. Revisitando a literatura existente sobre o tema, o estudo revelou resultados promissores. Substituindo totalmente o agregado miúdo, o PET reciclado mostrou melhorias significativas em propriedades importantes, como resistência à compressão, absorção e condutibilidade térmica, em comparação com outros tipos de blocos com a mesma função (BERETTA, 2008).

Com base nos princípios da sustentabilidade e construção civil, este trabalho tem como foco a investigação de materiais alternativos e tecnologias apropriadas. Nesse contexto, o plástico tipo 1 PET (Polietileno Tereftalato) se destaca como um dos principais desafios a serem enfrentados, devido à sua ampla utilização e à sua lenta degradação no meio ambiente. O objetivo deste estudo é produzir e avaliar esse material, visando eventualmente a fabricação de blocos de vedação feitos inteiramente de plástico reciclado.

O presente trabalho tem como objetivo analisar é produzir blocos de vedação a partir do material PET, visando eventualmente a fabricação de blocos de vedação feitos inteiramente de plástico reciclado. Além disso, serão considerados outros estudos relacionados ao tema de Plásticos reciclados implantados na construção civil, a fim de determinar a quantidade ideal de vezes em que o mesmo possa ser utilizado e se os seus resultados serão acima estimados pela norma.

Justificativa ambiental

A crescente preocupação com a preservação ambiental e a busca por soluções sustentáveis têm sido uma pauta cada vez mais relevante em diversas áreas, incluindo a construção civil. Nesse contexto, a análise do plástico reciclado para produção de blocos de vedação surge como uma oportunidade promissora para reduzir o impacto ambiental causado pela indústria da construção.

A utilização de plástico reciclado como matéria-prima na fabricação de blocos de vedação pode contribuir para a diminuição da extração de recursos naturais e para a redução do acúmulo de resíduos plásticos em aterros sanitários ou no meio ambiente. Além disso, essa abordagem possibilita o reaproveitamento de materiais que, de outra forma, poderiam levar décadas ou até mesmo séculos para se degradarem.

Alabi *et al.* (2019), apresenta dados a partir de 1950 a 2018, onde a produção global de plásticos atingiu 6,3 bilhões de toneladas, com apenas 9% reciclados e 12% incinerados. A crescente demanda por plásticos tem levado a uma preocupante geração de resíduos e poluição ambiental. O estudo revisa tipos de plásticos, seus componentes químicos nocivos e métodos de disposição. Plásticos usados em produtos consumíveis, como embalagens de alimentos e garrafas de água, contêm substâncias tóxicas. O descarte inadequado, incluindo a liberação anual de 8 milhões de toneladas nos oceanos, prejudica habitats marinhos e ameaça à saúde pública. A exposição prolongada e o calor podem liberar toxinas em alimentos e bebidas. Recomendações são apresentadas para prevenir e controlar o problema global dos resíduos plásticos.

Vários pesquisadores têm se empenhado no estudo e avaliação da viabilidade do plástico reciclado como uma opção de material alternativo na indústria da construção civil, particularmente na fabricação de blocos de vedação. Um exemplo notável é o estudo conduzido por Beretta (2008), no qual foram analisadas as propriedades do PET reciclado, revelando melhorias significativas em aspectos como resistência à compressão, absorção e condutividade térmica.

RESÍDUOS DE PLÁSTICOS RECICLADOS

A reciclagem de plástico é uma prática importante para reduzir o impacto ambiental causado por resíduos plásticos. Segundo Lopes e Navarro (2017), a reciclagem é uma alternativa para reduzir a quantidade de resíduos plásticos que acabam em aterros sanitários ou poluindo o meio ambiente. No entanto, é necessário buscar soluções para a utilização desses resíduos de forma sustentável.

De acordo com o artigo "*Reciclaje de botellas de PET para obtener fibra de poliéster*" publicado na Revista de *Ingeniería Industrial* da *Universidad de Lima* por (MANSILLA & RUIZ, 2009). Onde são apresentadas informações esclarecedoras sobre as diversas aplicações do PET reciclado, que vão além das embalagens plásticas e se estendem à indústria têxtil. Nessa perspectiva, o PET reciclado é processado em fibras curtas de poliéster, as quais, ao serem combinadas com outras fibras em proporções apropriadas, possibilitam a utilização desse material na fabricação de vestuário, enchimento de almofadas, tapetes e outros itens

têxteis.

Segundo Bolaños (2019), a questão dos resíduos sólidos representa uma preocupação e um desafio ambiental de relevância social. Atualmente, ela figura entre os tópicos essenciais para a sustentabilidade ambiental do nosso planeta. Assim sendo, o propósito deste trabalho consiste em investigar em detalhes o processo do plástico Polietileno Tereftalato (PET), bem como as tecnologias empregadas em sua reciclagem e todos os fatores a ele relacionados. Ademais, almeja-se compreender as aplicações desse material na indústria. Com esse intento, realizou-se uma revisão teórica do tema utilizando uma abordagem metodológica exploratória não experimental. A partir dessas pesquisas, será posteriormente proposta a implantação de uma unidade de reciclagem de PET, fazendo uso dos conhecimentos obtidos nesta investigação.

Tipos de plásticos que podem ser usados para a produção do blocos

Tipos de plásticos que podem ser usados para a produção do bloco: De acordo com Andrade *et al.* (2018), os principais tipos de plásticos utilizados na produção de blocos de vedação são o polietileno de alta densidade (HDPE), o polipropileno (PP) e o policloreto de vinila (PVC). Esses tipos de plásticos são escolhidos devido à sua durabilidade e resistência, além de serem facilmente encontrados em resíduos plásticos. Segundo Lopes e Navarro (2017), o polietileno de alta densidade (HDPE) é um dos plásticos mais utilizados na produção de blocos de vedação, devido à sua alta resistência e durabilidade. Além disso, o polipropileno (PP) também é bastante utilizado, sendo escolhido por sua resistência a impactos e a altas temperaturas. Já o policloreto de vinila (PVC) é utilizado com menor frequência na produção de blocos de vedação, devido à sua fragilidade e dificuldade de processamento. No entanto, Silva *et al.* (2020) afirmam que é possível utilizar PVC reciclado na produção de blocos de vedação, desde que seja feita uma gestão adequada dos resíduos plásticos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo visa avaliar o Plástico do tipo 1 PET (Polietileno Tereftalato), como matéria prima principal para os ensaios de tração e compressão onde visa reutilizar o material mais de uma vez, para se avaliar o quanto o material pode ser reutilizado e ainda alcançando a resistência exigida por norma.

O material utilizado como matriz para o compósito é de origem de coleta própria, dentro da cidade de Medianeira-PR.

O plástico foi coletado de diversos locais da cidade de Medianeira-PR, e do mesmo foram retiradas as amostras necessárias para determinação da Análise de Densidade, o plástico foi picotado, como ilustra a figura 3 em um recipiente para as demais análises futuras.

Com o material no laboratório de solos e estruturas do curso de Engenharia Civil da Faculdade Educacional de Medianeira – UDC a densidade do material foi determinada a partir das amostras do mesmo componente. Estando o mesmo pronto para o ensaio, procedeu o preparo dos três líquidos o qual o material seria submetido, dentre eles a água, álcool e pôr fim

uma mistura de água com cloreto de sódio preparado com a solução de 10% de NaCl, conforme como ilustrado na figura 1, e de acordo com as normativas vigentes.

Figura 1 - Plásticos do tipo 1 (pet).

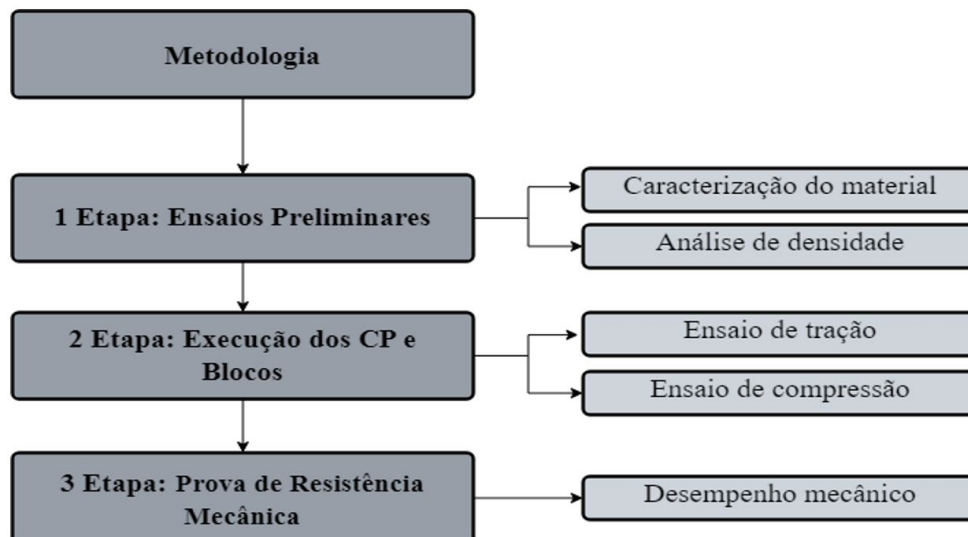


Fonte: Autor (2023).

Metodologia

O objetivo da etapa de metodologia é estabelecer os procedimentos da pesquisa de forma estruturada. Isso inclui definir os parâmetros de análise, determinar a sequência cronológica das atividades e identificar as etapas do estudo. Além disso, essa etapa visa avaliar possíveis questões e hipóteses que possam surgir durante a pesquisa, garantindo a organização e confiabilidade dos dados coletados. Os processos foram executados de acordo com o esquema ilustrado na figura 2 abaixo.

Figura 2 – Etapas.



Fonte: Autor (2023).

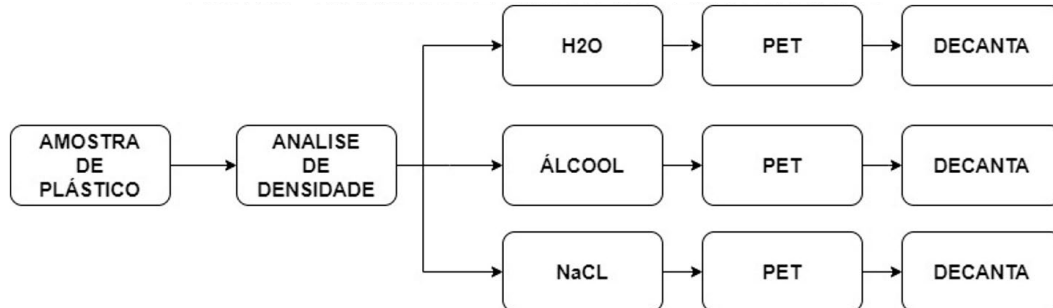
- Primeira etapa: Ensaio preliminares.

Inicialmente foram realizados ensaios de caracterização do plástico e análise da sua densidade em laboratório descritos na figura 3. Onde os ensaios do material plástico são apresentados no quadro 1.

Quadro 1 - Caracterização do material

ENSAIOS	NORMATIVAS
Análise de densidade	ISO 845:2006

Fonte: Autor (2023)

Figura 3 - Análise dos ensaios feitos em laboratório.

Fonte: Autor (2023)

- Segunda etapa: Execução dos CP.

Etapa na qual os compósitos foram distribuídos para os ensaios de tração e compressão. Utilizando as seguintes normativas para os ensaios onde os quais foram aplicados, como demonstrado na tabela 1 utilizando normas já vigente como base para os ensaios com o material plástico, já que os mesmos não possuem normativas próprias para o seu devido ensaio.

Tabela 1 - Normativas utilizadas para a segunda etapa.

NORMATIVAS
ABNT NBR 7222:2011
ABNT NBR 5739:2018

Fonte: Autor (2023)

Para a moldagem dos CP (Corpos de prova), foi utilizado os moldes empregados de moldagem para ensaio utilizados para argamassas conforme descrito na figura 4, onde apresenta a moldagem do material juntamente a utilização de uma prensa para a retirada dos possíveis vazios composto por ar no molde. Juntamente ao mesmo empregado pela norma ABNT NBR 7222:2011 Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos, empregada como base para criação do CP dentre o material não apresenta nem uma normativa vigente para a produção do corpo de prova em material plástico.

Figura 4 - Confeccção dos corpos de prova.

Fonte: Autos (2023).

Para a moldagem dos Blocos foi utilizado uma prensa na qual os blocos seguem o modelo de um bloco ecológico, conforme demonstrado na figura 5 apresentada em sequência, seguindo a mesma base dos CPs com a utilização da normativa ABNT NBR 5739:2018 Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, onde o mesmo não possui normativa própria para a produção do bloco em material plástico.

Figura 5 – Confeccção dos blocos em material plástico.

Fonte: Autor (2023).

Já o tempo de cura do material em comparação a normativas empregadas para a produção do mesmo em alvenaria ou argamassas emprega um tempo mínimo para a cura do material, já o material plástico após a sua produção pode ser levado para os devidos ensaio em seguida onde o material plástico apresenta um ligeiro tempo de resfriamento, sendo assim não necessários longos dias de descanso do mesmo.

- Terceira etapa: Prova de resistência mecânica.

Foram realizadas as provas de resistência mecânica mediante os CPs e Blocos de plásticos obtidos da etapa anterior onde a etapa atual consiste em avaliar e estimar a maior carga na qual o material pode se submeter a suportar.

Ensaio de densidade do plástico pet (polietileno tereftalato)

Os resultados obtidos pelo ensaio de Densidade no Teste 1 e Teste 3, o material se depositou no fundo do Béquer, porem com a solução de Cloreto de Sódio a 10% encontrada no Teste 2, por sua densidade ser superior perante ao material utilizado, não se depositou ao fundo, conforme demonstrado no quadro 2.

Quadro 2 - Resultados encontrados para o ensaio de densidade.

TESTE 1 - Teste em Álcool			
Tipo de Plástico	Densidade obtida (g/cm ³)	Densidade do Álcool	Teste em Álcool
PET	1,300 g/cm ³	0,789 g/cm ³	Deposita-se
TESTE 2 - Teste em Cloreto de Sódio a 10%			
Tipo de Plástico	Densidade obtida (g/cm ³)	Densidade do Cloreto de sódio	Teste em Cloreto de Sódio
PET	1,17 g/cm ³	2,16 g/cm ³	Não se depositou
TESTE 3 - Teste em Água			
Tipo de Plástico	Densidade obtida (g/cm ³)	Densidade da Água	Teste em Água
PET	1,098 g/cm ³	0,997 g/cm ³	Deposita-se

Fonte: Autor (2023).

A densidade apresentada do álcool possui densidade igual a 0,789 g/cm³, isso significa que a massa de álcool presente numa solução 70 °INPM é maior que aquela massa presente numa solução 70 °GL.

O cloreto de sódio, popularmente conhecido como sal ou sal de cozinha, é uma substância largamente utilizada, formada na proporção de um átomo de cloro para cada átomo de sódio. A sua fórmula química é NaCl, com densidade aproximada de 2,16 g/cm³. Com isso para a porcentagem de 10% utilizada para a o ensaio o Material PET se depositando-se ao fundo.

A densidade da água é uma propriedade física fundamental que desempenha um papel crucial em uma variedade de fenômenos naturais e processos industriais. Em condições normais de temperatura e pressão (25°C e 1 atmosfera), a densidade da água é de aproximadamente 0,997 g/cm³.

Com isso os resultados dos ensaios apresentam de que a densidade do plástico dentre os três ensaios se mostra superior apenas perante o teste em água e o teste em álcool, já que a sua densidade padrão do PET é de 1,37 g/cm³ sendo assim o material se depositou dentre os dois ensaios e perante o ensaio em Cloreto de Sódio a 10% não se depositou.

Características do material utilizado

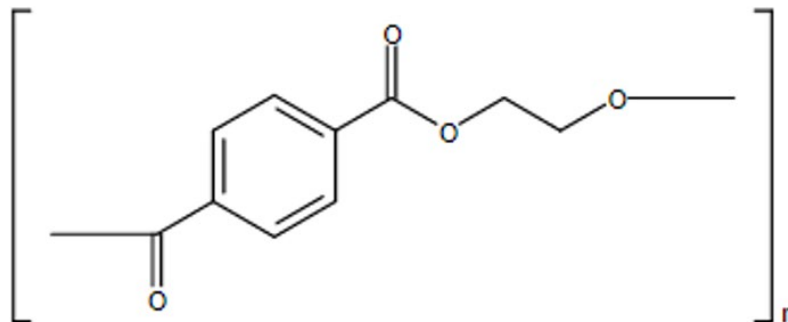
O plástico do tipo 1 PET (Polietileno Tereftalato) é um dos plásticos mais comuns e amplamente utilizados na indústria. É um material termoplástico, transparente ou translúcido, e apresenta uma série de características distintas, tais como a sua grande resistência,

durabilidade e leveza; sendo assim considerado o material plástico ideal para a grande demanda de produtos os quais são servidos e distribuídos a partir destes.

Em condições ideais, o PET pode se decompor em cerca de 50 a 100 anos. No entanto, em condições ambientais normais, como aterros sanitários ou no ambiente marinho, onde há menos luz solar, oxigênio e umidade limitada, o processo de decomposição do PET pode ser ainda mais lento, Tornando assim a sua extrema importância de ser um material que pode ser reciclado.

À diversas aplicações para PET, mas se pode destacar as garrafas para bebidas carbonatadas, óleos vegetais e produtos de limpeza; assim como no formato de fibras muito utilizados nas indústrias têxteis, apresenta excelente resistência mecânica como películas transparentes e altamente resistentes para uso em isolamentos de capacitores, películas cinematográficas, filmes e placas para radiografia (MARCZAK, 2004). A estrutura do plástico tipo 1 PET esquematizado e ilustrado na figura 7 abaixo.

Figura 7 - Estrutura química do pet.



Fonte: MARCZAK (2004).

Com a sua derivação do nome CAS Poly (ethylene terephthalate), e sua Fórmula molecular composta por $(C_{10}H_8O_4)_n$. Com suas informações descritas do material no quadro 3 logo abaixo.

Quadro 3 - Propriedades compostas.

Ponto de Ebulição (1)	> 170 °C
Ponto de Fusão (2)	240°C
Densidade (3)	1,37 g/ cm3

Fonte: CAS common chemistry (2023).

A identificação de materiais poliméricos segue um código internacional. Nesse código os símbolos são constituídos por um elemento comum, formado por três setas inseridas em um triangulo e apontadas em sentido horário, e um código numérico. O símbolo com o código numérico 1 representa o Polietileno Tereftalato (PET). Os PETs são plásticos transparentes, inquebráveis, impermeáveis e leves descritos na figura 8 logo abaixo.

Figura 8 - Simbologia técnica brasileira de identificação de materiais - 1/pet.

Fonte: <http://www.abre.org.br> (2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo buscou analisar o desempenho mecânicos e físicos e as características do Plástico Reciclado Polietileno tereftalato (PET), com fins da criação de um bloco de vedação, com o intuito de propor um novo material a ser adicionado dentro o mercado da construção civil, que possa ser comparado ao meio convencional de construção.

Os resultados estão de acordo com a ordem dos ensaios, os quais serviram de teste para elaborar os gráficos e viabilidade do material.

Durante a realização dos ensaios observou-se serem de grande influência a temperatura da qual o material era exposto, sendo assim passando da temperatura o qual o PET suporta o material acabava perdendo sua plasticidade e então rompendo os corpos de prova e blocos no seu resfriamento.

Além disso, segundo Yash Kadhane *et al.* (2022), os valores de resistência à compressão ainda dependem de fatores como a pureza total do material a ser utilizada e sua temperatura na qual o material é submetido para o derretimento, onde podem ocorrer resultados diferentes, às pesquisas que trazem procedimentos experimentais: falta de homogeneidade das misturas, graus de compactação diferentes, dentre outros.

Blocos produzidos de (pet) ensaio de compressão

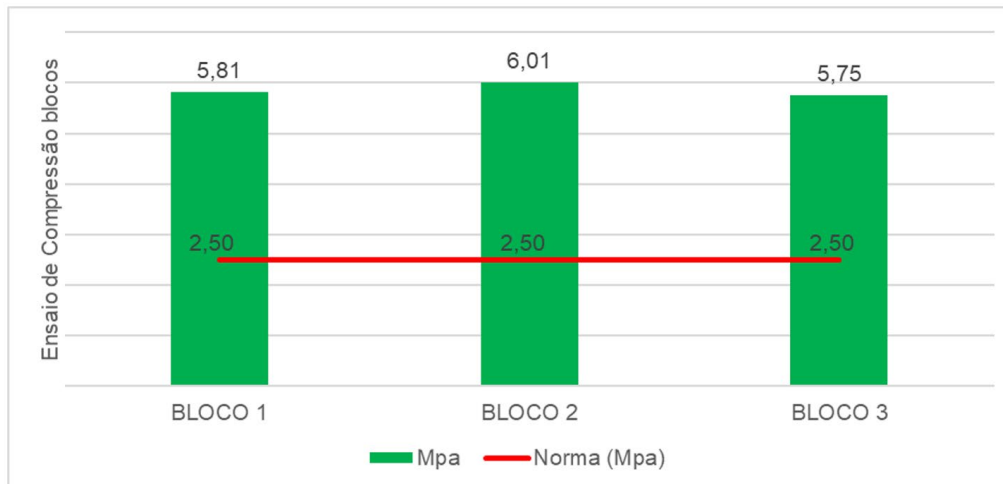
Os resultados do teste de compressão do bloco de PET produzidos para o ensaio são apresentados no gráfico 1. Foram criadas três amostras ideais de plástico reciclado, mantendo a temperatura de fusão precisa entre 170°C e 180°C, a fim de garantir a máxima resistência do material.

A norma ABNT NBR 5739:2018 Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, utilizada como base estabelece uma resistência mínima de 2,50 a 3,00 MPa. Observa-se que o desempenho do plástico compactado, quando avaliado em relação à resistência à compressão de um bloco de vedação convencional, apresenta uma leve variação acima, como demonstrado na tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Ensaio de compressão dos blocos plásticos.

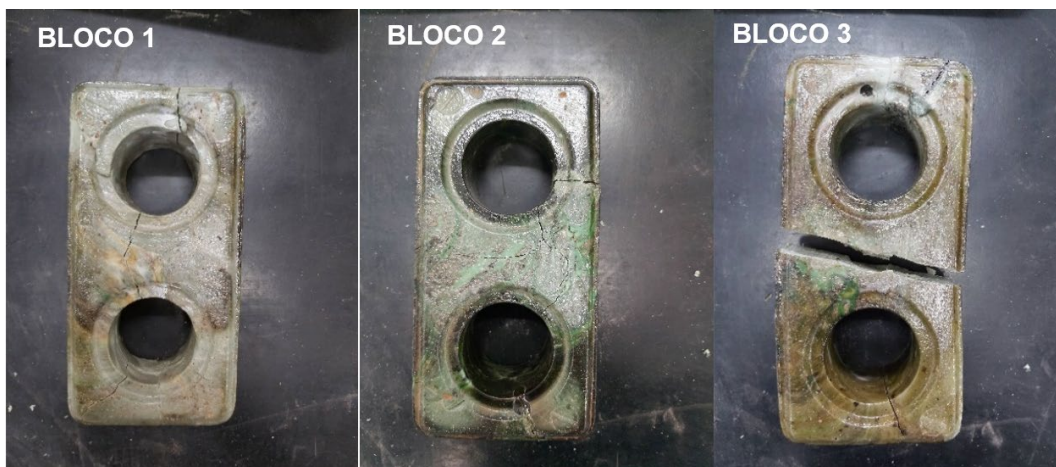
Blocos	Mpa
Bloco 1	5,81
Bloco 2	6,01
Bloco 3	5,75
Média (Mpa)	5,81
Desvio Padrão (Mpa)	0,114
Coefficiente de Variação	1,96%

Fonte: Autor (2023).

Gráfico 1 - Resultados encontrados para o ensaio de compressão.

Fonte: Autor (2023).

Os resultados obtidos com o ensaio de compressão notaram-se de que o bloco produzido de Plástico conforme demonstrados na FIGURA 9 após o seu ensaio, apresentaram uma resistência a compressão acima perante o bloco convencional de alvenaria, sendo um destaque maior do bloco dois, onde se obteve o valor de 6,01 Mpa ou seja 3,01 Mpa a mais do que o bloco tradicional.

Figura 9 - Blocos de pet já ensaiados.

Fonte: Autor (2023).

Com os resultados obtidos sendo acima perante os valores de norma, foi investigado

quantas vezes o material plástico pode ser reutilizado sem perder sua resistência, sendo assim efetuando a quebra dos blocos conforme representado na figura 10 para assim efetuar os demais ensaios.

Figura 10 – blocos de plástico reciclado rompidos e quebrados.



Fonte: Autor (2023).

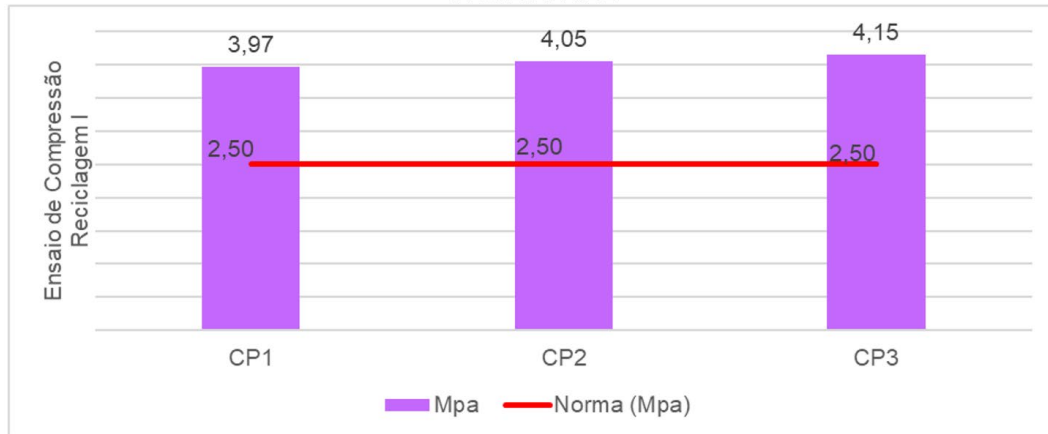
Após o material ter sido previamente rompido e quebrado, ele foi submetido ao mesmo processo de fusão entre 170°C e 180°C, para a fabricação de novos corpos de prova para os ensaios de compressão subsequentes com o material sendo reciclado a sua segunda vez, tendo como propósito avaliar sua capacidade de reutilização do mesmo, como demonstra os resultados na tabela 3 abaixo.

Tabela 3 – Corpos de provas reciclados pela primeira vez.

Corpos de prova	Mpa
CP 1	3,97
CP 2	4,05
CP 3	4,15
Média (Mpa)	4,05
Desvio Padrão (Mpa)	0,073
Coefficiente de Variação	1,80%

Fonte: Autor (2023).

O material plástico foi passado pelo seu primeiro processo de reciclagem, após o ensaio de referência, com isso observa-se de que o desempenho do material ainda se encontra acima dos valores mínimos de 2,50 a 3,00 Mpa estabelecidos por norma, com isso se tornando ainda viável trabalhar com o material com mais de uma reciclagem, como demonstrados no gráfico 2 logo abaixo.

Gráfico 2 - Ensaio de compressão em corpos de provas reciclados pela primeira vez.

Fonte: Autor (2023)

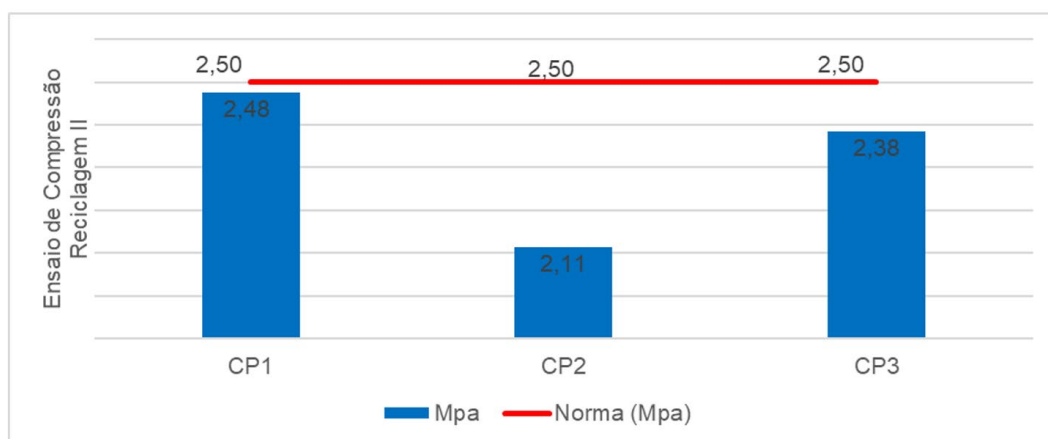
Após o segundo ciclo de reciclagem, o material plástico continua a atingir valores superiores aos estabelecidos pela norma. Como resultado, o material foi submetido a uma segunda reciclagem, mantendo a sequência do mesmo bloco previamente rompido e quebrado, como evidenciado pelos valores na tabela 4.

Tabela 4 – Corpos de provas reciclados pela segunda vez.

Corpos de prova	Mpa
CP 1	2,48
CP 2	2,11
CP 3	2,38
Média (Mpa)	2,38
Desvio Padrão (Mpa)	0,153
Coefficiente de Variação	6,44%

Fonte: Autor (2023)

O gráfico 3 a seguir exibe os resultados obtidos após a análise dos dados, permitindo observar que os corpos de prova, após sua segunda reciclagem com o mesmo material, não conseguem mais alcançar a resistência mínima à compressão estabelecida, que varia de 2,50 MPa a 3,00 MPa. Sendo o valor mais alto obtido no ensaio foi de 2,48 MPa.

Gráfico 3 - ensaio de compressão em corpos de provas reciclados pela segunda vez.

Fonte: Autor (2023).

Apesar de o segundo ensaio não atingir a resistência mínima, procedeu-se um terceiro ensaio com o objetivo de determinar os valores que o material pode demonstrar após ter passado por quatro ciclos de reciclagem, apresentado na tabela 5 a seguir.

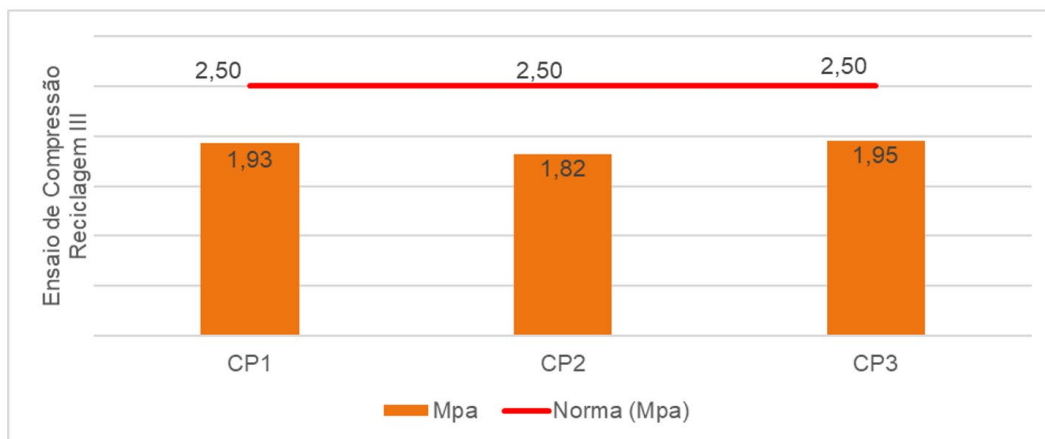
Tabela 5 – Corpos de provas reciclados pela terceira vez.

Corpos de prova	Mpa
CP 1	1,93
CP 2	1,82
CP 3	1,95
Média (Mpa)	1,93
Desvio Padrão (Mpa)	0,056
Coefficiente de Variação	2,89%

Fonte: Autor (2023).

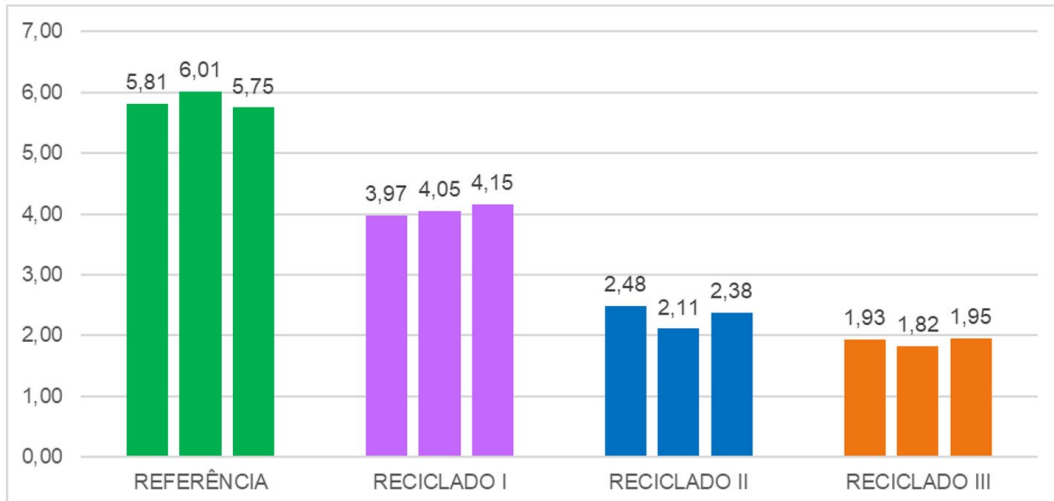
O desempenho dos corpos de prova durante o terceiro ciclo de reciclagem mostrou resultados conforme o esperado, como ilustrado no gráfico 4 abaixo. Isso destaca que o material atingiu seu ponto máximo de reciclagem.

Gráfico 4 - Ensaio de compressão em corpos de provas reciclados pela terceira vez.



Fonte: Autor (2023).

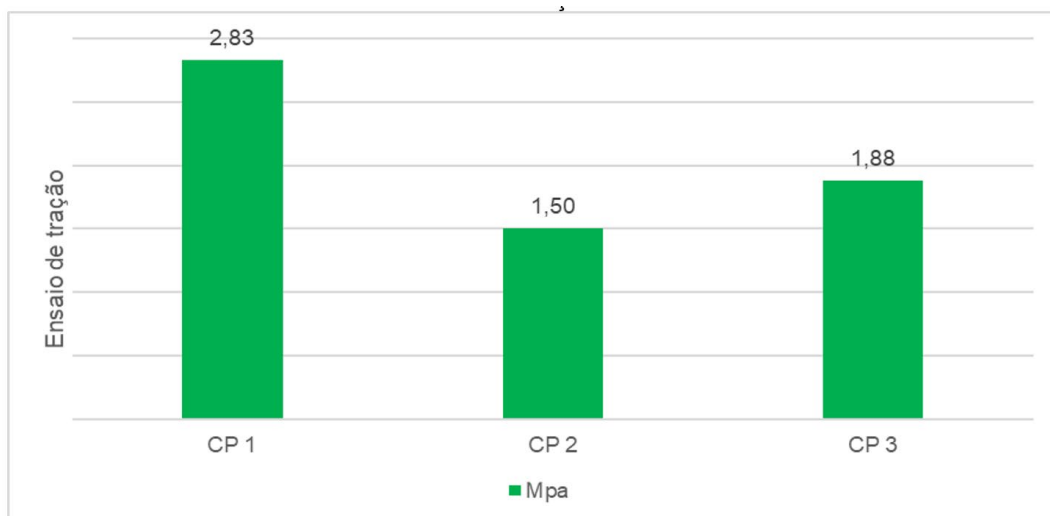
O comportamento dos corpos de prova revelou uma resistência que excedeu os valores normativos estabelecidos, mesmo após duas reciclagens consecutivas do mesmo material. No entanto, após esse ponto, o material plástico deixou de atingir a resistência mínima de compressão, com isso se aplicando o número máximo de reciclagem do mesmo material dentre duas vezes, com resultados apresentados no gráfico 5 abaixo informado.

Gráfico 5 – Resultados encontrados dentro o numero de reciclagem para o ensaio de compressão.

Fonte: Autor (2023)

Corpo de prova produzido de (pet) ensaio de tração

Os resultados obtidos no ensaio de tração do corpo de prova inteiramente produzido de (PET) são ilustrados no gráfico 6, onde foi confeccionado 1 amostra ideal de plástico reciclado na sua temperatura exata de derretimento e plasticidade do mesmo.

Gráfico 6 - Ensaio de tração em CP reciclados.

Fonte: Autor (2023)

A carga a ser aplicada no ensaio deve ser contínua, estabelecida pela norma NBR 12142/91 na qual vai ser seguida como base para o ensaio do corpo de prova de plástico (PET), com a variação de carga de 0,09 a 1,2 MPa.

Percebe-se que o comportamento do plástico traçado, quando avaliado em relação a resistência à tração de um corpo de prova convencional de concreto, se observa uma pequena variação do comportamento, na tabela 6 encontram-se os resultados dentro o ensaio.

Tabela 6 - CP e resultados de tração.

Corpos de prova	Mpa
CP 1	2,83
CP 2	1,50
CP 3	1,88
Média (Mpa)	1,88
Desvio Padrão (Mpa)	0,556
Coefficiente de Variação	29,62%

Fonte: Autor (2023).

Análise estatística dos resultados

Os dados que permaneceram dentro dos limites estatísticos conforme apresentados no quadro 4, foram submetidos, a comparação múltipla, análise de variação (ANOVA) e os testes de Tukey.

Quadro 4 - Resultados para o teste de Tukey.

Par de tratamentos	Tukey HSD Q estatística	Valor p de Tukey HSD	Inferência de Tukey HSD
A versus B	23,7492	0,0010053	**p<0,01
A vs C	46,6187	0,0010053	**p<0,01
A vs D	52,1162	0,0010053	**p<0,01
B vs C	22,8696	0,0010053	**p<0,01
B vs D	28,3671	0,0010053	**p<0,01
C versus D	5,4975	0,0193891	**p<0,05

Fonte: Autor (2023).

No quadro 4, encontramos todas as respostas obtidas por meio das análises dos métodos de Tukey, comparando o Bloco de referência com os demais blocos com o número de reciclagem. A análise revela o seguinte.

Os itens marcados em verde na tabela, mediante o ensaio de Tukey, todos os Blocos ensaiados sejam eles o bloco de referência como os blocos com demais números de reciclagens apresentaram valores estatisticamente satisfatórios, indicando casos em que houve diferenças significativas nas resistências entre os blocos ensaiados.

Essas análises estatísticas são valiosas para compreender a eficácia dos tratamentos e suas influências na resistência do bloco de referência produzido por sua primeira vez de material plástico em comparação com os blocos já reciclados do mesmo.

Resultado dos dados estatísticos descritivos conforme apresentados no quadro 5, foram submetidos, a comparação múltipla, para a análise dos tratamentos independentes.

Quadro 5 - Estatística descritiva dos tratamentos independentes.

Tratamento	A	B	C	D	Total Agrupado
Observações N	3	3	3	3	12
Soma	17,5700	12,1700	6,9700	5,7200	42,4300
Significar	5,8567	4,0567	2,3233	1,9067	3,5358
Soma dos quadrados	102,9387	49,3859	16,2669	10,9174	179,5089
Varição amostral	0,0185	0,0081	0,0366	0,0056	2,6372
Amostra padrão. Dev. É	0,1361	0,0902	0,1914	0,0751	1,6372
Padrão. Dev. De média	0,0786	0,0521	0,1105	0,0433	0,4726

Fonte: Autor (2023).

Ao analisar tratamentos independentes, é comum utilizar medidas resumitivas como média, mediana moda e desvio padrão. A média fornece um valor central que representa a tendência geral dos dados, enquanto a mediana indica a posição central da distribuição, sendo menos sensível a valores extremos. A moda identifica o valor mais frequente no conjunto de dados.

O desvio padrão, por sua vez, quantifica a dispersão dos dados em torno da média, oferecendo *insights* sobre a variabilidade entre os tratamentos. Através da estatística descritiva, é possível visualizar a amplitude dos dados, identificar padrões de comportamento e avaliar a consistência das observações em cada grupo de tratamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em resumo, este estudo ressalta a crescente importância de buscar soluções sustentáveis na construção civil. A análise do plástico tipo 1 PET como alternativa para a produção de blocos não estruturais revelou resultados promissores, destacando-se não apenas pela viabilidade técnica, mas também pelo potencial em promover práticas mais sustentáveis na indústria da construção. A incorporação de material plástico durante a moldagem de blocos apresentou melhorias notáveis em propriedades cruciais, como resistência à compressão e tração, superando as expectativas normativas.

A avaliação da resistência desses blocos ao longo de ciclos de reciclagem indicou a viabilidade de até duas reciclagens, contribuindo para compreender os limites e potenciais desse material. Os resultados positivos estabeleceram uma base sólida para considerar o plástico PET como uma alternativa sustentável na produção de blocos de construção.

A pesquisa também destacou a dispensa da necessidade de um tempo de cura estimado durante a moldagem dos blocos, permitindo que fossem resfriados e submetidos aos ensaios imediatamente. Os dados revelaram um aumento significativo em relação aos blocos convencionais, ultrapassando o mínimo aceito pela norma de 2,5 MPa: 5,81 MPa, 6,01 MPa e 5,75 MPa para o bloco de referência. Após a primeira reciclagem, os resultados foram de 3,97 MPa, 4,05 MPa e 4,15 MPa, novamente superando as estimativas normativas. No entanto, após a segunda reciclagem, os resultados foram de 2,48 MPa, 2,11 MPa e 2,38 MPa, ficando abaixo das normativas, indicando um máximo estimado de duas reciclagens para o mesmo material.

No âmbito mais amplo da construção civil, este estudo ressalta a necessidade contínua de explorar práticas mais ecoeficientes. A bem-sucedida implementação de materiais reciclados, como o PET, não apenas reduzirá o impacto ambiental da indústria, mas também promoverá a gestão responsável de resíduos e contribuirá para a preservação dos recursos naturais. Ao considerar os desafios e benefícios apresentados, é evidente que a integração de materiais reciclados na construção civil atende às crescentes demandas por práticas sustentáveis, representando um passo significativo em direção a um setor mais consciente e responsável ambientalmente. Este estudo oferece uma contribuição valiosa para o avanço de iniciativas sustentáveis na construção civil, incentivando a adoção de práticas mais ecológicas e contribuindo para um futuro mais sustentável e equilibrado.

REFERÊNCIAS

_____. **NBR 7222: Concreto e argamassa** – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. 2011.

_____. **NBR 5739: Concreto** - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos 2018.

AGOPYAN, Vahan e JOHN, Vanderley Moacyr. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Blucher. Acesso em: 31 maio 2023., 2011

MARCZAK, R. J. (2004). **Polímeros como materiais de engenharia**. Porto Alegre. UFRGS.

BARRETO JML, COSTA HN DA, CÂNDIDO LF, CORREIO AEBC. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de blocos de concreto prensados sem função estrutural com incorporação de PET reciclado**. *Matéria* (Rio J) [Internet]. 2019;24(Matéria (Rio J.), 2019 24(2)). [Acessado em 02 março 2023], Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620190002.0672>

CÂNDIDO, Luis Felipe; BARRETO, José Maurício Lima; CABRAL, Antônio Eduardo Bezerra. **Avaliação de Blocos de Concreto Produzidos com PET Reciclados**. ENTAC 2014 [Acessado 24 fevereiro 2023], Disponível em: <http://doi.org/10.17012/entac2014.57>

CHAVES, Marcos; SALES, Jaqueson; SOUZA, Tatiane. **Estudo Comparativo Sobre a Utilização de Blocos Sustentáveis na Construção Civil**. [Acessado em 02 março 2023], Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/25443> E pub RUNA- Repositório Universitário de Ânima em 09 de junho 2022.

FERREIRA E. M. *et al.* (2007). **Estudo de garrafas PET incorporadas aos blocos de concreto – aplicação alternativa na construção**. In: Anais do XI Encontro Latino-Americano de Iniciação Científica e VII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, p. 492-494

BUTTLER, A. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural**. 2007.

RODRIGUES, L. *et al.* **Utilização do resíduo sólido PET (polietileno tereftalato) na fabricação de blocos de concreto estrutural para pavimentos rígidos**. researchgate.net, 2009.

SAFINIA, S.; ALKALBANI, A. **Use of Recycled Plastic Water Bottles in Concrete Blocks**. *Procedia Engineering*, v. 164, p. 214–221, 1 jan. 2016.

DERKACZ, F. *et al.* **Viabilidade Técnica da produção de Blocos de Concreto de Alta Resistencia Preparados com Plásticos Reciclados.** anpet.org.br, [s.d.].

BERWANGER, C. **Avaliação da Utilização de Polietileno Tereftalato (PET) e Poliestireno Expandido (EPS) Reciclados na Produção de Blocos de Concreto.** 2021.

CARMELO, W. *et al.* **Propriedades Físico-Mecânicas de Blocos de Concreto para Pavimentação e com Incorporação de Resíduo PET Oil.** ufcg.edu.br, [s.d.].

LAZZERIS, F.; ALIONÇO, H.; DUARTE, T. **Estudo de viabilidade técnica da produção de blocos de concreto de alta resistência com uma blenda de PE+ PET para uso em pavimentação intertravada.** 2019.

SILVA, E. DA *et al.* (2020). **Uso de Politereftalato de Etileno (PET) como agregado em bloco de concreto.** rsdjournal.org, n. 11, [s.d.].

XIOMARA, E.; MARTINEZ, M. **Proposta para a construção de habitação social nas Honduras com blocos de resíduos de plástico.** (2022).

Mansilla Pérez, L.; Ruiz, M. (2009). **Reciclaje de botellas de PET para obtener fibra de poliéster.** Ingeniería Industrial, (27), 123-137.

Bolaños, J. (2019). **Reciclado de Plástico PET.** Arequipa: Universidad Católica San Pablo. [Acessado em 31 outubro 2023]

ALABI, Okunola A. *et al.* **Efeitos na saúde pública e no meio ambiente do descarte de resíduos plásticos:** uma revisão. J Toxicol Risk Assess, v. 5, n. 021, p. 1-13, 2019. [Acessado em 07 agosto 2023], disponível em doi: 10.23937/2572-4061.1510021.

DA COSTA, Denise Costa *et al.* (2022). **Substituição do agregado graúdo do concreto por resíduo de PET para a fabricação de cobogó.** Research, Society and Development, v. 11, n. 7, p. e39211729925-e39211729925.

KUROIWA, Barbara Touron *et al.* (2022). **Uso de plástico como agregado para confecção de blocos de concreto.** [Acessado em 12 agosto 2023], disponível em: <https://repositorio.fei.edu.br/handle/FEI/4702>.

Estudo de caso: gerenciamento de resíduos sólidos gerados na construção civil, no município de Altamira, Pará

Cristiane Almeida Rodrigues
Francinaldo Chagas de Oliveira
Mikaely Santos Tavares
Rosidilson do Socorro Oliveira Gomes
Maysa Lorrane Medeiros de Araújo
Gustavo Gomes Lima
Rafael Oliveira da Silva
Alexandre Augusto Cardoso Lobato
Cláudia Barbosa Cordeiro

RESUMO

A destinação de resíduos sólidos oriundos da construção civil na cidade de Altamira no Pará, é um problema que atualmente vem aumentando significativamente, devido à falta de uma disposição adequada, gerando diversos impactos ambientais, sociais e econômicos. Para mitigar essa situação, deve haver um gerenciamento eficiente, capaz de realizar melhorias quanto a destinação desses resíduos sólidos. Diante disso, este trabalho tem como objetivo avaliar a geração desses resíduos da construção civil e propor alternativas que possam colaborar com o correto gerenciamento de resíduos, bem como sua destinação, sendo reutilizado em diversos serviços de obras da própria construção civil.

Palavras-chave: sustentabilidade. meio ambiente. construção civil. segregação.

ABSTRACT

The disposal of solid waste from civil construction in the city of Altamira in Pará is a problem that is currently increasing significantly, due to the lack of proper disposal of the same, thus generating various environmental, social and economic impacts. To mitigate this situation, there must be efficient management, capable of making improvements regarding the destination of this solid waste. In view of this, this work aims to evaluate the generation of this construction waste and propose alternatives that can collaborate with the correct management of waste, as well as its destination, being reused in various services of works of civil construction itself.

Keywords: sustainability. environment. civil construction. segregation.



INTRODUÇÃO

As discussões sobre as questões ambientais vêm ocorrendo de modo crescente, desde a conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente, no ano de 1972, em Estocolmo. Isto advém da constatação de que os recursos naturais são limitados e o meio ambiente não tem capacidade de absorver a quantidade atual dos resíduos gerados (HOOD, 2006).

A construção civil é um dos setores mais importantes na economia e movimentou no último ano cerca de R\$ 325,1 bilhões em 2022 (CEDRA, 2022), sendo responsável por milhões de empregos diretos e indiretos. Porém, ela é também um dos setores que mais produzem lixo e consomem 12 recursos naturais, desde a produção dos insumos utilizados até a execução da obra e sua operação ao longo de décadas (CBCS, 2015).

É neste contexto que entra o gerenciamento de resíduos sólidos, no qual, as obras devem ser direcionadas através do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) devendo atender as normas e diretrizes vigentes. De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente, os resíduos da construção civil são provenientes de obras, reforma, reparos, preparação e escavação de terrenos (CONAMA, 2002).

O Conama, em sua resolução 307, classifica os resíduos sólidos da construção civil em quatro classes nomeadas em letras alfabéticas que vai de A até E. Estes resíduos vão desde agregados até materiais perigosos e através destas classes é dada o destino adequado a cada material podendo gerar economia nas obras e garantindo que os materiais poluentes tenham seu descarte correto (CONAMA, 2002).

Desta forma o presente estudo visa acompanhar e avaliar a geração de resíduos sólidos originados na construção civil no município de Altamira-PA, bem como realizar a análise dos dispositivos descritos na RESOLUÇÃO DO CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA Nº 307, de 5 de julho de 2002, conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo decreto de nº 99.274, de 6 de julho de 1990.

Levando em consideração os seguintes pontos: A geração de resíduos sólidos através do estudo de caso em construções civis na cidade de Altamira-PA; Por quais motivos que os materiais foram descartados; Os atuais procedimentos de destinação final para os resíduos sólidos da construção civil; O grau de responsabilidade da empresa quanto geradora de resíduos da construção civil, em reformas, reparos e demolições no que tange o processo de reciclagem para reutilização no próprio canteiro de obras.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esse projeto consiste em um estudo de caso, e tem como objetivo levantar informações referentes ao processo de gerenciamento de resíduo sólidos, gerados na construção civil na cidade de Altamira-PA. A metodologia utilizada será pesquisa qualitativa, pesquisa bibliográfica descritiva utilizando publicações nacionais e livros impressos, específicos da área de gerenciamento de resíduos sólidos.

De acordo com Gil (2008), as pesquisas descritivas possuem como objetivo a

descrição das características de uma população, fenômeno ou de uma experiência. Os dados bibliográficos foram agregados informações obtidas em sites na internet, pertencentes a organizações governamentais e não governamentais, que divulgam textos e dados relacionados com as temáticas abordadas no presente trabalho.

O presente estudo é classificado como uma pesquisa quali quanti, de forma a realizar verificação de dados estatísticos, realização de entrevistas, visitas em campo, para desenvolver um estudo de caso. Conforme Silva (2005), é a interpretação do ambiente natural onde o pesquisador *in loco* é o instrumento que analisará o a situação indutivamente. A metodologia de pesquisa qualitativa é aquela na qual o pesquisador busca obter resultados aprofundados através da averiguação com certo número de pessoas. Por se tratar de uma pesquisa exploratória (que busca definir como é um cenário), é recomendada para quem deseja fazer uma busca mais geral e depois definir pontos. A pesquisa quantitativa é baseada em números, para isso é necessário validar e analisar os dados obtidos através de: observação, entrevistas, vistorias, análises. De acordo com Silveira e Gerhardt, esta modalidade de pesquisa é norteada pelo positivismo, considerando que a realidade só pode ser compreendida por meio na análise de dados brutos.

Para o desenvolvimento deste estudo, foi utilizado a pesquisa de campo, que segundo Gonçalves, a pesquisa de campo exige que o pesquisador tenha um encontro muito mais direto com o objeto de estudo. Somente assim, reúne informações concretas para serem documentadas. Foram pesquisadas inúmeras fontes didáticas e de cunho profissional como livros técnicos, teses, TCC, periódicos, sites de internet, normas técnicas, legislação federal, estadual e municipal. A bibliografia provou sua utilidade como embasamento teórico, por meio de materiais impressos e digitais.

Para atingirmos o objetivo esperado, o processo foi determinado em três etapas, sendo: ETAPA 01 – Realização de vistorias em obras junto as empresas, referente a gestão dos resíduos; ETAPA 02 – Diálogo com a prefeitura através das suas secretarias para entender como este resíduo é descartado no aterro sanitário do município e quais os critérios e condicionantes quanto a geração de resíduos no processo de licenciamento da obra; ETAPA 03 - Análise e tabulação dos dados obtidos.

Vistorias em obras para análise de geração de resíduos sólidos

Na primeira etapa desse projeto, foram realizadas diversas vistorias em canteiros de obras de diferentes construtoras de pequeno e grande porte, na cidade de Altamira. Com isso, foram realizadas entrevistas com os responsáveis pela gestão dos resíduos gerados e conseqüentemente uma abordagem sucinta aos colaboradores.

Dessa forma, foi possível mapear e identificar o grau de conhecimento dos funcionários de acordo a cada empresa, e observar no que tange à divulgação das informações realizada pela organização junto a pauta de conscientização e educação ambiental. Além disso, foi verificado informativos como por exemplo: placas, informações nos recipientes de descartes, entre outras que são julgadas necessárias para um bom funcionamento e gerenciamento do processo.

RESULTADOS

Resíduos sólidos gerados pela construção civil

Segundo Pinto (1999), antigamente não havia indicadores que apresentassem as perdas na construção civil, e pouco se acompanhava a expressividade da geração de resíduos de construção e demolição, a não ser as grandes quantidades de entulho que iam se formando em ambientes urbanos. Hoje, no Brasil as referências acessíveis indicam a relevância das perdas na construção e quantidades de RCD (Resíduos de Construção e Demolição) gerados, em cidades de grande e médio porte que já se comprova domínio na formação dos RSU (Resíduos Sólidos Urbanos).

O mesmo autor, afirma ainda que o Brasil tem evoluído constantemente quanto aos processos construtivos, sendo que nos processos de construção a perda de materiais variam entre 20% à 30%, conforme o nível técnico do executor. Ainda, o autor traz na tabela 1 abaixo, a relação de diferentes tipos de materiais, e apresenta a porcentagens da perda de cada um em canteiros de obra brasileiros.

Tabela 1 - Perda de materiais em processos construtivos.

Materiais	FINEP/ITQC (3)
Concreto usinado	9 %
Aço	11 %
Blocos e Tijolos	13 %
Cimento	56 %
Cal	36 %
Areia	44 %

Fonte: Adaptado de Pinto (1999, p. 17)

A tabela 1 traz um estudo de Souza et al (1998, *apud* PINTO, 1999) feito em diversos canteiros no ano de 1998, e traz informações sobre as principais perdas de materiais nas obras. Com base na tabela, é possível concluir que o cimento é o material que apresenta maior perda, já o concreto usinado fica em último lugar, tendo o menor valor de perda. Vale destacar, que os construtores devem investir em melhorias tecnológicas atendendo as necessidades do mercado, aumentando a competitividade, porém sempre tendo consciência da utilização correta dos recursos não renováveis. Logo, a tabela 2 traz consigo os maiores índice de composição do RCD (PINTO, 1999).

Tabela 2 - Composição de RCD de obras brasileira.

Material	Composição dos RCD em obras brasileiras típicas (%)
Argamassas	64,0
Concreto	4,2
Madeira	0,1
Componentes cerâmicos	11,1
Blocos de concreto	0,1
Tijolos	18,0
Ladrilhos de concreto	0,4
Pedra	1,4
Cimento amianto	0,4
Papel e orgânicos	0,2
Solo	0,1
TOTAL	100,0

Fonte: Adaptado de Pinto (1999, p. 1p)

Conforme a Tabela 2 de Composição dos RCD das obras brasileiras percebe-se que a argamassa é o material mais presente nos resíduos de construção e demolição, representando 64% do RCD de uma obra. Ainda, os tijolos ficam em segundo lugar nesta classificação, representando 18% do total de resíduos. E em terceiro lugar estão os componentes cerâmicos, com 11,1%. Esses três itens representam mais de 90% dos resíduos de construção e demolição, chamando a atenção pelo seu alto índice de desperdício. Vemos nos estudos de casos a seguir as tratativas que as empresas adotam para minimizar esses desperdícios de materiais, sendo em reutilização ou destinação ao botafora público municipal.

Nagalli (2014) ressalta as práticas de gerenciamento de resíduos, que inicia-se pela não geração de resíduos, que seria optar por produções de materiais no próprio canteiro de obra. Outro fator seria a minimização, esta tem o objetivo de incluir a tecnologia e capacitação nos métodos construtivos diminuindo o desperdício. Já a reutilização é usar os materiais para outros fins, e beneficiá-los para produção de outros materiais. E por último o descarte correto de acordo com sua classificação.

Nagalli (2014) destaca que se deve tomar cuidados com os entulhos sujeito a reaproveitamento, isto por causa de sua diferença na composição. Uma vez que em meio aos entulhos podem existir materiais indesejáveis, como metais, plástico, entre outros. Diante disto, sempre que possível é recomendado que os resíduos que compõem os entulhos, sejam expelidos e qualificados ainda na fonte.

Com isso, pode-se constatar que é possível reciclar os Resíduos de Construção e Demolição, que se enquadram na classe A, tornando-os agregados. Ainda, pode-se também fazer a reciclagem de algumas embalagens utilizadas, o que reduziria o desperdício de materiais neste setor.

Estudo de caso – obra de construção

As informações obtidas na etapa anterior, foram levantadas onde foi possível identificar que as empresas são conhecedoras da resolução normativa; CONAMA nº 307 - documento principal onde trata todas as questões de destinação e classificação dos resíduos da categoria, o RCD – resíduos da construção civil e demolição.

Foi também identificado que as empresas de uma forma geral, já possuem em seus processos, algum tipo de gestão de resíduo, segregam os materiais por classe, e mantem separados em um local dentro do canteiro de obra, até que sejam coletados e descartados, esse serviço de descarte, na sua maioria são executados de forma terceirizada, as empresas fazem contratação de uma empresa que tenha autorização para esse tipo de atividade, e assim descartam os resíduos gerados em suas dependências.

Com a realização das vistorias, foi possível evidenciar que as empresas de maior porte possuem um processo mais implementado, ou seja, funcionários orientados e mais comprometidos com o processo, já as empresas de porte menor, era perceptível uma certa deficiência, processo fragilizado precisando de melhoria, faltando implementação de gestão de resíduo.

As visitas em obra se iniciaram no dia 01 de abril de 2023, quando ela se apresentava na fase de levantamento das paredes. O canteiro de obras estava de forma limpa e organizada, visto que não havia materiais espalhados de forma que favoreceriam o seu desperdício. Além do mais, os resíduos estavam separados, o que facilitaria o processo de reutilização ou reciclagem.

Disposições de resíduos

A forma que a obra descartava seus resíduos de fases anteriores, era de forma adequada. Eles eram dispostos separadamente em um canto específico para ser recolhido ao container de transporte para ser conduzido ao destino que é o aterro municipal de Altamira (figura 1 e 2).

Figura 1 e 2 – Disposição de resíduos de demolição.



Fonte: Autores, 2023.

Além disso, foi observado que a separação de resíduos na obra era algo realizado continuamente. Restos de madeira, resíduos de demolição, embalagens de cimentos e lixo

peçoal de trabalhadores eram dispostos em locais distintos.

Vale ressaltar que a existência de resíduos de demolição em uma obra de construção, induz em falta de planejamento de projeto ou mão de obra não qualificada que resulta em correções durante o processo executivo.

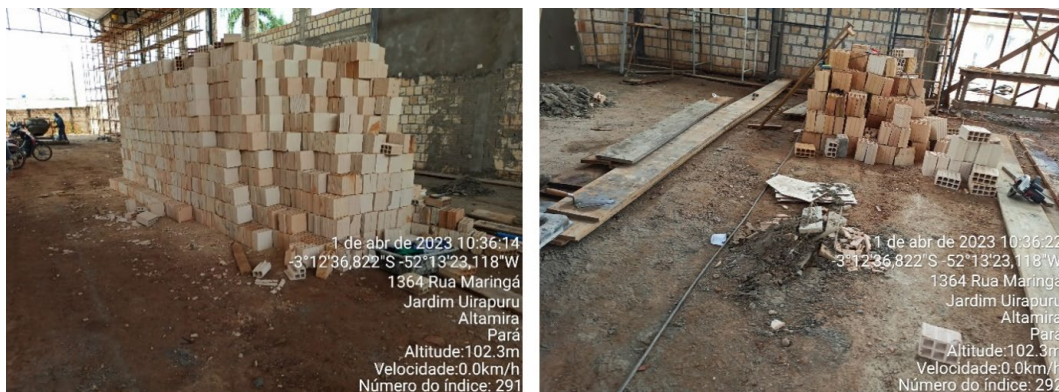
Figura 3 e 4 – Disposição de resíduos.



Fonte: Autores, 2023.

Pode-se observar nas figuras 3 e 4, madeira, lata, papel, plásticos e ferragens, não houve a dedicação para realizar a separação desses materiais, sendo um ponto de melhoria para a empresa, estar segregando para possível reciclagem, bem como poderiam trazer risco para a saúde dos colaboradores, de uma vez que as madeiras apresentam pregos com pontas expostas. Ao ser questionado, o supervisor afirmara que esses materiais seriam separados até o final do dia.

Figura 5 e 6 – Disposição de materiais ainda não utilizados.



Fonte: Autores, 2023.

Quanto aos materiais que ainda estavam sendo utilizados (figuras 5 e 6), a disposição era dentro do galpão, objeto da construção que já se encontra coberto, porém, com ocorrência de tijolos quebrados próximo a pilha de tijolos, segundo o supervisor, esse resíduo é originado devido ao atrito entre os blocos no momento do seu transporte.

Aterro sanitário

O Aterro Sanitário trata-se de um sistema de disposição final de resíduos sólidos fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais que garantem um confinamento seguro no que tange as questões de saúde pública e meio ambiente. Para se considerar que esta tecnologia atende a um bom desempenho, ele deve ser constituído por: impermeabilização de base, cobertura diária e final, drenagem e tratamento de percolados e drenagem de gases (Guizelini, 2011).

A visita ao aterro sanitário Municipal de Altamira-PA, foi de grande relevância para o entendimento do processo de destinação final dos resíduos gerados pela construção civil e demolição. Observamos a área de deposição dos entulhos, que é uma área separada dos resíduos residenciais, uma área de baixada, onde é realizado o depósito dos materiais sólido, que são espalhados pelo trator e compactados. Esses materiais de restos de construção civil que chegam ao aterro não são reaproveitados, devido estarem misturados com outros materiais, observamos que são misturados com outros entulhos como madeira, plásticos, papelão, terra, entre outros, são dispostos em camadas no aterro apropriado para este tipo de material.

Toda essa disposição de entulhos traz consigo uma grande problemática, pois como há um volume significativo de material, ocupa um espaço maior, quando comparado aos resíduos orgânicos. Além disso, quando se une o grande volume de entulho com a ausência de um sistema de reciclagem desses materiais, colabora para o aumento dos impactos ambientais. Nesse sentido, a busca por alternativas que viabilizem uma destinação ambientalmente adequada para os RCC vem crescendo com o passar dos anos. Dias (2014) apresenta as obras geotécnicas como uma alternativa viável para a reutilização desse material.

“No Brasil, desde a década de 1980, existem pesquisas desenvolvidas utilizando resíduos de construção os quais a maioria em obras de pavimentação, onde o uso destes materiais é promissor e tecnologicamente adequado. Todavia, o uso em pavimentação não garante uma reciclagem massiva deste resíduo, porque o mercado não é capaz de consumir mais de 50% deste material, surgindo a necessidade da aplicação em outros tipos de obras geotécnicas” (DIAS, 2014, p. 5).

Figura 7 e 8 – Disposição de Material misturado no aterro municipal.



Fonte: autores, 2023.

Podemos observar nas figuras 7 e 8, as disposições de diversos tipos de materiais

que serão cobertos e compactados, evidenciando que não há o processo de reciclagem desses materiais, como pneus, madeiras, papelão, plásticos, entre outros.

Transporte de materiais

Para conhecer e entender melhor o processo de transporte dos resíduos gerados pela construção civil e demolição, visitamos a empresa responsável pela realização da logística desses materiais. Empresa estabelecida na cidade de Altamira a um ano apenas, possui liberação de operação expedida pela secretaria de Meio Ambiente - SEMMA, Alvará de funcionamento emitido pela Prefeitura Municipal de Altamira-PA, ou seja, dentro da legalidade a que se impõe as leis ambientais. Seu CNAE é voltado para a coleta e transporte de resíduos não perigosos, sendo de origem doméstica, urbana ou industrial, por meio de caçambas, veículos etc. Os materiais de subclasse compreendem também: a coleta de entulhos e refugos de obras e de demolições e a transferência definitiva de resíduos não perigosos para o aterro sanitário.

Durante este trabalho, observamos uma grande quantidade de caçambas coletando materiais sobras de construção civil e demolições, porém esses materiais não chegam todos ao aterro municipal, buscamos entender melhor juntamente com a empresa de transporte desse material. Devido a região de Altamira possuir terrenos com a superfície bastante irregulares, há necessidade de se utilizar muito aterro para planificação dos terrenos em construção.

Com isso, a procura por resíduos de demolição ou planificação de terra em obras urbanas é grande, desta forma, há um acordo de cavalheiros para reutilização desse material dentro da área urbana, em obras solicitantes. Segundo a responsável pela empresa de transporte de resíduos, esse processo de retirar a caçamba de entulho de uma obra e levar para outra obra, está amparado legalmente pelas leis ambientais vigentes no município, gerando documento de destinação final para a obra que produziu o material.

A administradora garantiu que o serviço de coleta de resíduos de construção é muito lucrativo já que o tema sustentabilidade é o maior incentivador, juntamente com leis específicas sobre a destinação ambientalmente correta de resíduos. A conscientização e a preocupação com o destino de resíduos aumentam e, conseqüentemente, crescem as oportunidades para trabalhar nesse ramo.

Obra de demolição

A edificação residencial situada a avenida Brigadeiro Eduardo Gomes, no bairro Esplanada do Xingu em Altamira-PA, está com projeto em execução, onde será feito a demolição da edificação existente, para construção de nova edificação com objetivo de atividade comercial. A vistoria se deu para entender melhor o processo de destinação final do resíduo gerado a partir da demolição do imóvel.

Figura 9



Figura 10



Fonte: Autores,2023

Podemos verificar nas figuras 9 e 10 o início da demolição, iniciando pelo forro, fiação elétrica e em seguida as paredes, que já se encontram prontas para serem demolidas e os resíduos gerados, serem dispostos em um local dentro do próprio canteiro de obras para que seja segregado em montante suficiente para encher uma caçamba em seguida transportá-los até sua destinação final.

Figura 11



Figura 12



Fonte: Autores, 2023

Após a demolição das paredes da residência, os resíduos gerados foram armazenados na área das dependências da construção, como mostra a figura 11 e 12, podemos verificar também a presença de madeira junto aos entulhos da demolição, visto que, esse material será reaproveitado para aterrar outra área de interesse da própria companhia de construção, a madeira está sendo separada para descarte separadamente.

As construtoras dificilmente desperdiçam esse tipo de material, pois é bastante utilizado para preenchimentos de terrenos em áreas alagadas dentro da própria região, dessa forma diminuindo a destinação ao aterro municipal, ficando somente aquele material de refugo que se encontra misturado com outros materiais que são destinados ao depósito específico no aterro municipal.

DISCUSSÃO

Ressalta-se que, além de reduzir o impacto no meio ambiente, é também uma das preocupações do município de Altamira, a geração, suas segregações, bem como a destinação e ainda como são gerenciados, o município através de secretaria de meio ambiente, acompanha e fiscaliza o processo.

Entende-se, ainda, que além das preocupações ecológicas, também é preciso estar atento às leis e regulamentações que regem esse impacto, sendo um aspecto importante da gestão de resíduos. Defende-se neste projeto, sobre o que é necessário saber sobre os resíduos da construção civil, como são geridos, política de conscientização nas instituições privadas, incluindo seus impactos, quais iniciativas que já existem e como implementá-las.

Também verbalizar sobre o que é necessário e como criar um plano de Gerenciamento de resíduos da construção civil (PGRCC). Além disso, entender a importância desse plano para diminuir a produção de resíduos, as formas de reaproveitá-los e por fim qual a melhor destinação para cada resíduo.

Algumas iniciativas são necessárias para gerenciar efetivamente os resíduos, pois a construção civil deve desempenhar um papel no controle desse problema. Alcançar este objetivo, requer tomar todas as medidas para garantir a sustentabilidade.

Verificou-se a existência de ações que poderão ser adotadas para reduzir os impactos dos resíduos oriundos da construção civil no município de Altamira-PA.

Sobre o reaproveitamento e o uso de materiais de construção

Ressalta-se que a primeira resolução ponderada a fim de controlar a geração de diversos resíduos, seria amortizar. Portanto para que isso aconteça, é necessário e importante que seja usado materiais de construção sustentáveis, uma vez que o impacto, caso houvesse, seria mínimo. Nota-se que estes materiais sustentáveis foram desenvolvidos não só para serem ecologicamente corretos, mas também para minimizar o desperdício no local, o que significa uma redução significativa nos custos de matéria-prima.

Defende-se ainda, a existência e a possibilidade de reaproveitamento de matérias-primas parcialmente desmontadas em outras vertentes do projeto sem comprometer a qualidade. Embora muitas coisas possam ser usadas para fins diferentes daqueles para os quais foram originalmente feitas, algumas coisas não são mais adequadas para construção ou mesmo reutilização.

Percebe-se a existência de outras opções, onde, reciclar os materiais que não poderão ser mais utilizados, de um modo geral, seria viável a sua reciclagem. Sabe-se que, eles poderão ser transformados em materiais sustentáveis, ou matérias-primas, ou seja, torna-se extraordinário e formidável que os resíduos gerados passarão de lixo para reciclagem, as sobras de madeiras, poderão ser transformadas em móveis, como cadeiras, mesários e etc. Alguns resíduos de canos de PVC, garrafas, caixas de madeira, poderão ser decompostos como luminárias, vasos de plantas, dentre vários outros exemplos.

Para Pacheco Torgal (2007), os materiais recicláveis apresentam vantagens

ambientais óbvias, pelo facto de esgotada a sua vida útil poderem vir a gerar outros materiais. Incluem-se nestes quase todos os materiais metálicos. Bem assim como os materiais de origem geológica. Se se optar pela reciclagem de produtos, em vez do fabrico de materiais a partir de novas matérias-primas, pode-se reduzir o impacto negativo ambiental. Um produto que pode ser facilmente reciclado tem vantagens em relação a um produto que é Congresso Construção 2007, 17 a 19 de dezembro, Coimbra, Portugal 5 inicialmente 'verde', mas que não pode ser reciclado. Na indústria de construção, grande parte dos produtos ou materiais têm baixo potencial de reciclagem. No entanto, há produtos que podem ser reciclados várias vezes, mas, hoje em dia, este potencial raramente é usado. Na Suécia, em 1992, o nível de produtos reciclados era de 5% e na Alemanha, em 1990, foram reciclados 29% dos produtos. Para o ano 2000, ambos países têm o objetivo de atingir os 60%. Na Holanda, as empresas de demolição, na fase de concurso, têm que declarar a quantidade de material que será vendido para reciclagem, juntamente com uma apresentação de como irão publicitar esta situação.

Segundo Cabral (2011, p.30) a seguir estão dispostas algumas sugestões para a destinação final de componentes de obras:

- O entulho de concreto, se não passar por beneficiamento, pode ser utilizado na construção de estradas ou como material de aterro em áreas baixas. Caso passe por britagem e posterior separação em agregados de diferentes tamanhos, pode ser usado como agregado para produção de concreto asfáltico, de sub-bases de rodovias e de concreto com agregados reciclados; artefatos de concreto, como meio-fio, blocos de vedação, briquetes, etc.
- A madeira pode ser reutilizada na obra se não estiver suja e danificada. Caso não esteja reaproveitável na obra, pode ser triturada e usada na fabricação de papel e papelão ou pode ser usada como combustível;
- O papel, papelão e plástico de embalagens, bem como o metal podem ser doados para cooperativas de catadores;
- O vidro pode ser reciclado em novo vidro, em fibra de vidro, telha e bloco de pavimentação ou, ainda, como adição fabricação de asfalto;
- O resíduo de alvenaria, incluindo tijolos, cerâmicas e pedras, pode ser utilizado na produção de concretos, embora possa haver redução na resistência à compressão, e de concretos especiais, como o concreto leve com alto poder de isolamento térmico. Pode ser utilizado também como massa na fabricação de tijolos, com o aproveitamento até da sua parte fina como material de enchimento, além de poder ser queimado e transformado em cinzas com reutilização na própria construção civil;
- Os sacos de cimento devem retornar à fábrica para utilização com combustível na produção do cimento;
- O gesso pode ser reutilizado para produzir o pó de gesso novamente ou pode ser usado como corretivo de solo;

Importante destacar que os resíduos perigosos devem ser incinerados ou aterrados com procedimentos específicos. Alguns resíduos como os de óleos, de tintas e solventes, agentes abrasivos e baterias podem ser reciclados (Monteiro, 2011).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho pretendeu entender como o gerenciamento dos resíduos gerados na construção civil é feito em empresa de pequeno e grande porte para que possamos identificar se o descarte é feito em local adequado conforme indica as normas vigentes, a partir de um estudo de caso no qual foi feita pesquisas bibliográficas e *in loco*, além disso, foram realizados também entrevista com o responsável pelo órgão municipal fiscalizador das obras da cidade.

Para se atingir uma compreensão da geração de resíduos sólidos, definiu-se quatro objetivos específicos. Os dois primeiros referem-se a análise e verificação dos motivos que levaram aos descartes dos materiais da construção civil. Verificou-se que as empresas possuem, de forma geral, o conhecimento das normas e fazem a segregação dos materiais, nem que seja de forma simples, e mantem separados os resíduos por classe, para que empresas terceirizadas recolham e descartem em locais adequados. Em uma das obras foi possível verificar que havia resíduos de demolição o que sugeria que poderia haver um desperdício de material por conta do mal planejamento, o que poderia ter levado a contratação de mão de obra não qualificada.

Depois, verificou-se os atuais procedimentos adotados e qual grau de responsabilidade que as empresas geradoras tem em relação ao processo de reciclagem para reutilização no próprio canteiro de obras, e pôde ser percebido que as empresas normalmente reutilizam as madeiras que foram usadas como escoras ou fôrma de pilares e lajes e o restante é descartado.

Os resultados da pesquisa mostram que não há correspondência técnica entre as normas e leis brasileiras acerca das conformidades técnicas do PGRS. As obras visitadas realizam uma ou outra atividade voltada para o gerenciamento adequado. No entanto, estão longe de cumprir todas as exigências que são preconizadas pelas normas e leis acerca das ações que devem ser tomadas.

Em pesquisas futuras, pode-se aplicar a pesquisa em obras fora da cidade de Altamira, com o objetivo de ampliar o espaço amostral podendo assim comparar os métodos utilizados nas cidades vizinhas no qual o número de habitantes é menor e conseqüentemente a área urbanizada também é menor, tendo muitas obras em áreas mais afastadas e consideradas rurais.

Pode-se dizer que o armazenamento de resíduos restantes dentro da construção civil, é de extrema importância enfatizar os diversos perigos existentes, ou até mesmo o dever e cautela em seu manuseio. No entanto, estes resíduos restantes, poderão gerar riscos a população no município de Altamira-PA, e até ameaçar as fronteiras e alguns perímetros da região, ultrapassando os limites da construção civil.

Verificou-se ainda, que se houver dentro de uma construção civil ou dentro de um canteiro de obras, há existência de produtos líquidos e químicos quando são lançados na água, podem causar graves riscos de contaminação da população, fauna e flora no município de Altamira. Dessa forma, a fim de evitar que isso ocorra, seria ideal a construção de contenção de trincheiras e capelas para gases tóxicos, com intuito de tornar mínimo os riscos à saúde da população Altamirense.

REFERÊNCIAS

_____. **Lei 6938 de 2 agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e da outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 21 set. 2021. 072-081, jan./jun. 2006. 2010. 2021.

ABNT/**NBR 10004/04** – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Resíduos sólidos – Classificação. São Paulo, 2004.

ALMEIDA, F. E. **Análise numérica do processo de ressecamento de um rejeito fino da mineração de ferro**. Ouro Preto: Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, 2009. 108 p. (Dissertação de Mestrado).

ALMEIDA, J. R. de. *et al.* **Planejamento ambiental**: caminho para participação popular e gestão ambiental para nosso futuro comum. Rio de Janeiro: THEX, 1999.

ALVES, A. E. B.; QUELHAS, K. M. V. **Manual sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Fortaleza, ago. 2004.

ÂNGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos da construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: Acesso em: 05 out.2021.

ARRUDA, Paua Tonani Matteis de. **Responsabilidade decorrente da poluição por resíduos sólidos**. De acordo com a lei 12.305/2012 institui a política nacional de

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), NBR – **Resíduos sólidos** – Classificação (2004). Disponível em: <http://www.suape.pe.gov.br>. Acesso em 14 set. 2021.

BARRETO, **Ismeralda Maria Castelo Branco do Nascimento**. Gestão de resíduos na construção civil. Aracajú: SENAI/SE; SENAI/DN/ COMPETIR; SEBRAE/SE/

BLUMENSCHHEIN, R. N. **Gestão de Resíduos Sólidos em Canteiros de Obras** -Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico – Dossiê Técnico. 2007.

BRASIL, **Resíduos sólidos** – Classificação, Norma Brasileira ABNT NBR 10004, Segunda edição 31.05.2004 Válida a partir 30.11.2004. Brasília, DF, 2004. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br>. Acesso em: 21set. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **CONAMA nº 420**. Resolução nº 420, de 28

BRASIL. **Resolução CONAMA no 307**, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critério e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 jul. 2002. Disponível em:

CABRAL, Antônio Eduardo Bezerra, MOREIRA, Kelvya Maria de Vasconcelos. **Manual sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Fortaleza, ago. 2011.

CARNEIRO, A. P. *et al.* **Reciclagem de entulho para materiais de construção**. Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001.

CBCS – **Conselho Brasileiro de Construção Sustentável**. Disponível em: Acesso em 10 de agosto de 2015.

CEDRA, Mateus. **Análise da relevância e da evolução da pauta de exportações brasileiras**. 2022.

CONAMA, **Resolução nº 275**, de 19 de junho de 2001. Brasília: MMA/CONAMA. 2001.

CONAMA, **Resolução nº 307**, de 05 de julho de 2002. Brasília: MMA/CONAMA. 2002.

COSTA, N. A. A. da. **A reciclagem do resíduo de construção e demolição**: uma aplicação da Análise Multivariada. Tese de Doutorado, Universidade Federal de caso em empreendimento comercial e residencial em Londrina/ PR. 2013. 103f. de dezembro de 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 21 set. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br> Acesso em: 02 set. 2021.

EL-DEIR, S.G. **Resíduos sólidos Perspectivas e desafios para a gestão integrada**. Recife: EDUFRPE, 2014.

FERREIRA, Alice Cristina Alves *et al.* **Gestão de resíduos sólidos na construção civil**. Revista pensar engenharia, v.2, n.2, jul/2014. gestão integrada. Recife: EDUFRPE, 2014.

GIL, Antonio Carlos. **Elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GUIZARD, João Batista Ricardo, *et al.* Aterro sanitário de Limeira: Diagnóstico Ambiental. Revista Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 3, n. 1, p.

HOOD, R. DA S. S. **Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação**. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. https://www.unifesp.br/reitoria/dga/images/legislacao/residuos2/CONAMA_RES_CONS_2002_307.pdf. Acesso em: 20 mar. 2023

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. 2. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE. 2000.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção**. In: SEMINÁRIO RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS, 2000, São

JUNIOR, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. 2005. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br>. Acesso em 30 set. 2021.

KARPINSKI, Luisete Andreis *et al.* **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil**: uma abordagem ambiental. Porto Alegre. Edipucrs, 2009.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos da construção e demolição**. 2001. 207f. Tese (Doutorado) - Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEVY, Salomon Mony; HELENE, Paulo R. L. **Reciclagem do entulho de construção civil para utilização como aregado de argamassas e concretos**. 1997. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

MANUAL de **Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <http://www.resol.com.br/cartilha4/gerenciamento/gerenciamento.asp>. Acesso em 22 de ago. 2021. MONTEIRO, J.H.P. *et al.* Manual de Gerenciamento integrado de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2011.

MARQUES, NETO. **Gestão de resíduos de construção e demolição**. São Carlos: Rima, 2005.

MEDEIROS, J. **Parâmetros de uma Pista Experimental Executada com Entulho Reciclado**. Anais da 35ª Reunião Anual de Pavimentação. Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 1997.

MEDEIROS, L.; MORAES, M. **Reciclagem e Reutilização dos Resíduos Sólidos da Construção Civil**. 2014. Disponível em: <http://www.fea.fumec.br>. Acesso em: 02

MENDES, C. S. **Diagnóstico do aproveitamento dos resíduos sólidos da construção civil em São Luís**, MA, 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 2014. Monografia - Universidade Tecnológica do Paraná, Londrina, 2013.

NUNES, J. **Introdução geral**: sociedades, naturezas e desenvolvimento viável. In: VIEIRA, Paulo F.; WEBER, Jacques. **Gestão dos recursos naturais renováveis e desenvolvimento: novos desafios para a pesquisa ambiental**, São Paulo: Cortez, Paulo. Disponível em < <http://www.recycle.pcc.usp.br>. Acesso em 27 set. 2021.

PAZ, Y.M.; MORAIS, M.M. **Coleta seletiva de óleo de fritura e responsabilidade socioambiental empresarial**. In: Resíduos sólidos: perspectivas e desafios para a

PIMENTEL, Ubiratan Henrique Oliveira. **Análise da geração de resíduos da construção civil na cidade de João Pessoa/ PB**. 2013. 190f. Tese (Doutorado) Dinter - promovido pela Universidade Federal da Bahia e Universidade Federal Paraíba, 2013.

PINTO T. B. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil** - a experiência do SINDUSCON - SP. São Paulo: Obra limpa; Instituto e técnicas em construção civil. SINDUSCON - SP, 2005.

PINTO, T. P. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1999. 189p. Panorama Atual do Setor de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição no Brasil, 2016. Disponível em: <http://www.infohab.org.br>. Acesso em: 20 set. 2021. resíduos sólidos. 2ª ed. 2011.

RIBEIRO, G. C. **Avaliação do gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição (RCD) no município de Torres**, Rio Grande do Sul, 2013. 100p. Monografia - Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2013.

ROCHA, Leonardo. **Disposição de resíduos sólidos numa voçoroca e seus impactos sobre as águas**: um estudo de caso em Uberlândia / MG. 2006. 169 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia.

Santa Catarina (UFSC), 2003. **Panorama Atual do Setor de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição no Brasil, 2016**. Disponível em: <http://www.infohab.org.br> Acesso em 21 set. 2021.

SCALONE, Paola Arima. **Gerenciamento de resíduos da construção civil**: estudo set. 2021.

SILVA, José Carlos Teixeira da, et. al. **Correlação entre gestão da tecnologia e gestão ambiental nas empresas**. São Paulo. Maio 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br> Acesso em: 26 set. 2021.

SILVA, M. B. L. **Novos materiais à base de resíduos da construção e demolição (RCD) e resíduos de produção de cal (RPC) para uso na construção civil**. 2014. 86f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

SINDUSCON/SE, 2005.

TAUCHEN, J.; BRANDLI, L.L. **A gestão ambiental em instituições de ensino superior**: modelo para implantação em campus universitário. Rev. Gest. Prod. [online]. 2006, vol.13, n.3, pp. 503-515.

XAVIER, Paulo Peixoto, *et al.* **Resíduos**: como lidar com recursos naturais. São Leopoldo: Oikos, 2012.

ZORDAN, S. E. **A utilização do concreto como agregado, na confecção do concreto**. 1997. 140f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

Avaliação da resistência mecânica do solo residual basáltico estabilizado com RCD e fibra

Carina Tauana de Campos Pessini
Eduardo Damim

RESUMO

O crescimento no setor de engenharia foi muito significativo nos últimos anos, tendo foco no desenvolvimento de métodos construtivos mais produtivos. O objetivo é alcançar agilidade, estabilidade e segurança nas obras, utilizando materiais com melhor desempenho mecânico e maior durabilidade, a fim de reduzir custos. O solo é considerado um material de baixo custo, amplamente presente nas obras de engenharia, é natural adaptá-lo às condições específicas de cada aplicação, no nosso caso temos os solos residuais de basalto que são predominantes na região Oeste do Paraná. No entanto, muitas vezes, os solos encontrados não atendem totalmente aos requisitos do projeto, o solo argiloso desta pesquisa apresenta tensões de ruptura baixas, impossibilitando o seu uso amplo. Para contornar essa situação, podemos melhorar as propriedades do solo existente, criando um novo material que atenda melhor às exigências do projeto. A escolha do método de melhoramento do solo deve considerar a economia e a finalidade da obra. Uma alternativa sustentável e econômica é a utilização de materiais reciclados, como o Resíduo de Construção e Demolição (RCD) e fibras. Este trabalho teve como objetivo avaliar a técnica de estabilização e reforço nos teores de 0,50% de microfibras polipropileno e 50g de RCD para cada 100g de solo em relação ao peso de solo seco, buscando uma melhoria das propriedades mecânicas. Para avaliar a resistência mecânica do solo residual basáltico estabilizado com RCD e fibras, são necessários testes de laboratório. Com a pesquisa, pode-se concluir que, em relação ao solo-natural, a adição de RCD aumenta a resistência média em 115,18%. A adição da fibra em relação ao solo natural aumenta a resistência média em 145,24%. Já a adição de ambas em conjunto incorporadas aumentam a resistência média em relação ao solo natural 161,35%. O resultado mais satisfatório foi obtido com a mistura de solo-RCD-fibra trabalhando em conjunto, cada uma fazendo o seu papel promovendo o ganho de resistência. As metodologias estudadas apresentaram-se tecnicamente viáveis, sendo possível a aplicação na prática de geotecnia.

Palavras-chave: desempenho mecânico. microfibras de poliéster. propriedades do solo. solo argiloso. sustentável.



INTRODUÇÃO

Atualmente, o mundo tem tido um crescimento elevado no departamento de engenharia. Nos últimos anos, principalmente no desenvolvimento de métodos construtivos mais produtivos, gerando agilidade, obras mais estáveis e seguras, que muitas vezes requerem materiais com maior desempenho mecânico e maior durabilidade, a fim de diminuir custos.

O solo é considerado o material mais barato, pois está presente em grande quantidade, no substrato da maioria das obras de engenharia. Portanto, é natural adaptá-lo às condições especiais de cada aplicação. No entanto, para isso é necessário caracterizar adequadamente as suas propriedades geotécnicas.

Segundo Rojas (2012, p. 1), é comum que em alguns lugares encontramos solos que não atendam parcial ou totalmente aos requisitos de projeto. A realização de obras de Engenharia sobre solos com características geotécnicas deficientes, torna-se, na maioria das vezes, inviável economicamente. Uma das alternativas à disposição que o engenheiro geotécnico tem para viabilizar técnica e economicamente a execução da obra é melhorar as propriedades do solo existente, de modo a criar um novo material capaz de atender da melhor forma às exigências do projeto.

A escolha do método a ser utilizado no melhoramento do solo deve ser baseado na economia e ainda na finalidade da obra. A utilização de materiais reciclados, como o RCD, e fibras pode ser uma alternativa sustentável e econômica para essa prática. Para avaliar a resistência mecânica do solo residual basáltico estabilizado com RCD e fibras, é necessário realizar testes de laboratório, os mesmos permitem determinar as propriedades mecânicas do solo estabilizado, como à resistência, à tração e ao cisalhamento.

Em estudos recentes, Rocha (2019) aponta um ganho de resistência ao cisalhamento com a incorporação de microfibras de polipropileno, promovendo um aumento da capacidade de absorção de energia. Sendo assim as fibras diminuem a fragilidade do solo, dessa forma, quanto maior a quantidade de fibras, maior resistência o compósito pode adquirir.

Segundo Silva *et al.* (2019) um material que vem sendo utilizado no melhoramento de solos é o Resíduo de Construção e Demolição (RCD). Este resíduo apresenta baixa periculosidade e é proveniente de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil. Seus componentes segundo a CONAMA 469/15 são tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, rochas, resinas, madeira e compensado, forros, argamassa, gesso, telhas, plástico e tubulações.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a resistência mecânica do solo residual basáltico estabilizado com RCD e fibra, buscando contribuir para o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis e eficientes para a estabilização de solos.

SOLOS RESIDUAIS BASALTO

De acordo com Chiossi (2013) o basalto é formado por um dos principais tipos de rochas magmáticas, que também é conhecida como uma rocha ígnea, pois a sua origem

se dá pelo resfriamento e consolidação do magma vulcânico, material que se encontra em estado de fusão no interior da crosta terrestre, aliados sempre aos fatores importantes como pressão e temperatura.

Os solos residuais de basalto apresentam textura argilosa de cor vermelha escura, devido a disponibilidade de ferro na rocha mãe, possuem boa capacidade de suporte, permeabilidade de baixa à intermediária. Quando compactados tendem a melhorar sua capacidade de suporte e reduzir a permeabilidade significativamente (DIEMER, 2008).

No Paraná, segundo Souza *et al.* (2012), é possível encontrar uma enorme região que tem a característica do solo residual de basalto. Apontado também, que os solos residuais de basalto do Paraná são bem drenados e muito profundos, e apresentam também um alto índice de fertilidade, sendo assim apresenta alto desempenho na área agrícola.

ESTABILIZAÇÃO FÍSICA DE SOLOS

O solo estabilizado é um solo cujas propriedades são parciais ou totalmente alteradas pela adição de diferentes materiais antes da compactação ou pela inserção de aditivos *in situ*. Dependendo da natureza e quantidade de aditivos, todas as propriedades do solo podem sofrer mudanças radicais e permanentes. (USBR, 1998).

A estabilização de um solo consiste na atribuição de resistência a deformações e ruptura necessária para que o solo atenda às especificidades da função a qual foi destinado, essa técnica trás melhorias para permeabilidade e durabilidade do mesmo (SENÇO, 2001).

O solo pode ser estabilizado adicionando novos agregados para correção granulométrica; ou mecanicamente, sendo submetido ao processo de compactação, dessa forma, é conferido ao solo a diminuição do volume de vazios e percolação de água, aumento da densidade, compacidade, durabilidade e resistência mecânica; ou quimicamente com a adição de agentes estabilizadores químicos como cimento, cal, pozolana, betumes e aditivos fluídos, que provocam reações químicas em contato com os minerais presentes no solo, assim, promovem o preenchimento dos poros e melhoram as propriedades físicas e mecânicas (BRITO e PARANHOS, 2017).

Solo com fibras

O reforço do solo pode ser descrito como um grupo de técnicas usadas para melhorar as propriedades de engenharia do solo, como resistência ao cisalhamento, resistência à tração, compressibilidade e condutividade hidráulica, no reforço de solos vários tipos de fibras podem ser empregues. As características de comportamento de cada uma delas, que por sua vez irá afetar o comportamento do material compósito, são intimamente relacionadas ao material, do qual são compostas e de seu processo de fabricação.

De acordo com Jamshidi *et al.* (2010) as fibras utilizadas como reforços do solo variam em termos da essência (natural ou sintetizada), padrão (tiras, folhas, grades, barras, fibras, pó), rugosidade (áspero ou liso) e rigidez. Nesse sentido, podem ser utilizados materiais poliméricos ou naturais. Dentre os poliméricos, destacam-se os geossintéticos e as fibras sintéticas, podendo estas ser ou não recicladas.

Fibras de polímeros são a solução mais promissora para aplicações de reforço de solo. Os polímeros podem dar origem a diferentes tipos de fibras, de acordo com suas denominações e comportamentos. As fibras de poliéster são muito semelhantes em aparência ao polipropileno e podem ser usadas nessas mesmas aplicações, mas com um custo maior (TAYLOR, 1994).

Solo com RCD

Estudos da utilização do RCD misturado com diferentes tipos e funções de solos na engenharia se mostra tecnicamente viável, pois o RCD pode ser agregado às boas propriedades dos solos, como a redução do número de vazios, além da predominância da fração arenosa apresentar quantidades significativas de massa cimentícia e outros materiais classificados como Classe A pela Resolução CONAMA nº 307, os quais são fracionados, sendo assim melhoram o arranjo granulométrico após a compactação (SCARABELOT e SILVA, 2019).

Os resíduos de construção são constituídos a partir de minerais e outras matérias como madeira, gessos, metal, restos de tintas e esmaltes, que são gerados durante obras e demolições de edificações.

Pacheco-Torgal *et al.* (2013) explicam que a reciclagem de RCD é de primordial importância por ser sustentável e gerar vantagens econômicas. Previne o aumento de áreas utilizadas para disposição e também evita a exploração de materiais não-renováveis. Impactos causados pela exploração de materiais não-renováveis incluem extensivo desmatamento, dano à superfície do solo, poluição do ar e de recursos hídricos.

RESULTADOS OBTIDOS

Esta pesquisa propõe avaliar o comportamento de compósitos de solo-RCD, solo-fibra e solo-RCD-fibra, onde sua matriz é o solo residual basáltico. Será realizado a prova de resistência mecânica, especificamente o ensaio de resistência à compressão não confinada de acordo com a NBR 12770 (ABNT, 2022). Para se verificar a influência de ambas as adições trabalhando separadas e em conjunto e analisar se as adições provocam melhoramento em relação ao solo natural para posterior utilização como matéria. Os resultados estão divididos de acordo com a ordem das misturas ensaiadas.

Ensaio de compactação

A compactação é um método de estabilização onde é aplicado uma energia mecânica, o qual gera um aumento na massa específica aparente seca do material e redução dos seus vazios, aumentando a resistência ao cisalhamento e redução da permeabilidade e compressibilidade. O objetivo do ensaio é determinar o valor de umidade que leva o maior valor de massa específica seca, para a energia de compactação aplicada (DNER, 1994)

Os ensaios de compactação foram realizados seguindo a norma NBR 7182 (ABNT, 2016), sem reuso de material, em cilindros grandes. Para o ensaio no solo natural, foi utilizado uma amostra de 25kg de solo, dividida em partes iguais, para a produção de cinco

corpos de prova, compactados com 26 golpes e 5 camadas. Os corpos de prova foram moldados de acordo com a tabela 1.

Tabela 1 - Dados do ensaio para solo natural.

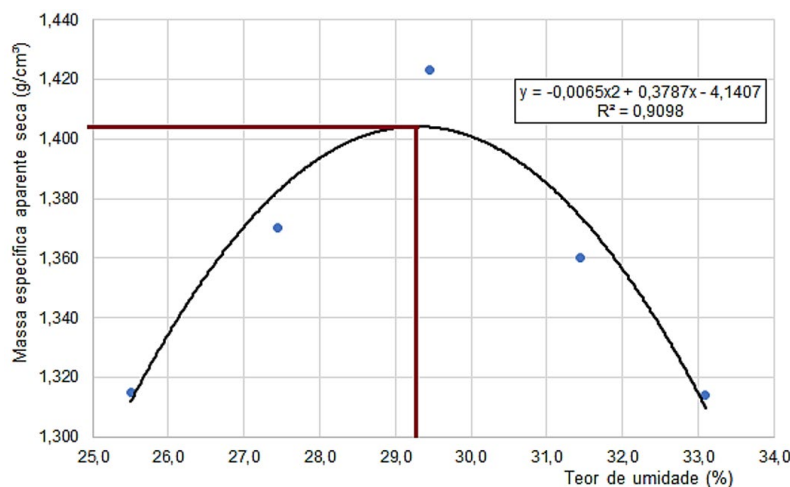
Energia Normal	26 GOLPES		5 CAMADAS		
Molde N°	01	02	03	04	05
Peso do cilindro (g)	4274	4280	4394	4208	4200
Cilindro + Solo Úmido(g)	7701	8019	8289	8071	7865
Peso do solo úmido	3427	3739	3895	3863	3665
Volume do cilindro (cm ³)	2077	2142	2114	2161	2096
Massa específica aparente úmida (g/cm ³)	1,650	1,746	1,842	1,788	1,749

Fonte: Autora (2023)

Foi retirado duas amostras do interior dos corpos de prova do solo natural, foram levadas para a estufa cerca de 48 horas, para que houvesse a desidratação e assim determinar os valores da massa específica aparente seca e úmida do solo, com isso construído a curva de compactação, com isso foi possível extrair os valores da massa específica aparente seca máxima e a umidade ótima.

No gráfico 1 podemos observar a curva de compactação e a linha na vertical, que determina o teor de umidade ótima do solo natural sendo ele 29,3%.

Gráfico 1 - Curva de compactação do solo.



Fonte: Autora (2023)

No gráfico podemos observar os resultados encontrados, a massa específica aparente seca máxima 1,405 (g/cm³) e o resultado da Umidade Ótima 29,30 (%).

Desta forma, os procedimentos executados para os CPs com adição de RCD e/ou fibra foram:

- Destorroamento do solo e passagem na peneira 4,8mm;
- Umedecimento até a umidade ótima encontrada, foi adicionado 450ml de água destilada para atingir a umidade correta;
- Homogeneização e adição de RCD e/ou fibra na quantidade especificada em relação ao peso de solo seco 2,116kg;

- Solo-RCD, foi adicionado 50g de RCD para 100 kg de solo, e solo-fibra foi incorporado, 10,60g de fibras ou 0,5% para 2,116 kg de solo;
- Homogeneização da mistura e compactação dos corpos de prova;
- Os mesmos também foram compactados em 3 camadas, sendo os 26 golpes efetuados em cada camada, com um soquete de aproximadamente 4,536kg em um molde cilíndrico metálico grande possuíam diâmetro de 100mm.
- Ensaio de compressão não confinada.

A tabela 2 apresenta a quantidade em massa dos componentes utilizados nos compósitos estudados.

Tabela 2 - Dosagem dos materiais utilizados nos compósitos.

COMPÓSITOS	Quantitativo dos componentes					
	Quantidades de mistura pro corpo de prova					
	Solo úmido (g)	Solo seco (g)	RCD (g)	Microfibra de polipropileno (g)	Água (g)	Umidade 8%
Solo + RCD	2300	2116	1060	-	450	
Solo + Fibra	2300	2116	-	10,60	450	
Solo + RCD + Fibra	2300	2116	1060	10,60	450	

Fonte: Autora (2023)

O solo foi dividido em saquinhos plásticos pesando 2,300kg e umedecidos com 450ml de água, para no dia seguinte estarem bem homogeneizados.

Como próximo passo, tivemos a homogeneização do solo solo-RCD, solo-fibra, solo-RCD-fibra. Cada mistura teve um total de 6 corpo de provas.

Os corpos de prova não precisaram de tempo de cura, sendo assim foram envolvidos em plástico filme e sacolas plásticas, para evitar a perda de umidade e como próximo passo serão rompidos.

Solo natural

Para a realização do ensaio no solo natural foi separado 5 amostras de solo pesando 2,300kg umedecido com 450 ml de água destilada para correção de umidade, sem nenhum tipo de adição, os corpos de prova possuíam diâmetro de 100mm, realizados e cilindros pequenos, sem reuso de material.

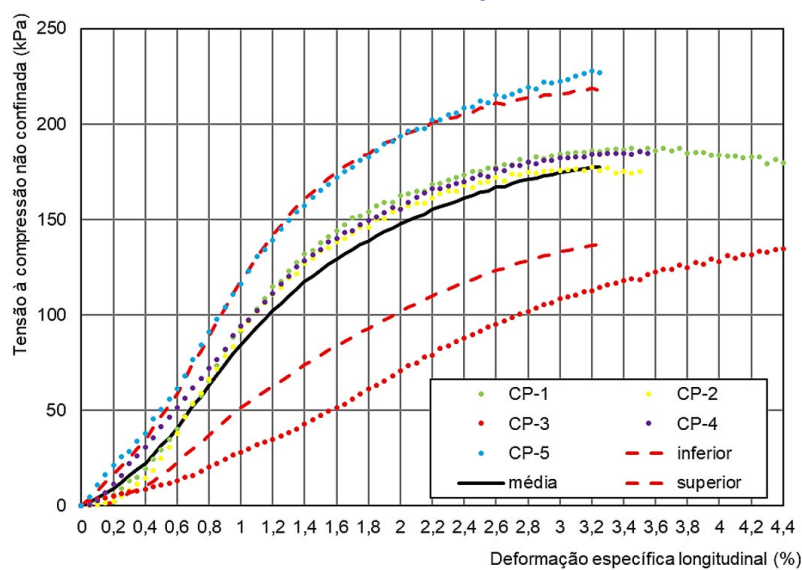
A resistência mínima encontrada é de 141,2 kPa e a resistência máxima de 232,9 kPa, descrito na tabela 3.

Tabela 3 - Análise dos resultados de resistência à compressão não confinada solo natural.

	(kPa)	(%)
	q_u	ϵ_u
Média	185,0	3,89842
Desvio padrão	32,7	0,87984
Mínimo	141,2	3,19092
Máximo	232,9	5,41650
Coefficiente de variação	17,7%	22,6%

Fonte: Autora (2023)

De acordo com o gráfico 2 podemos observar que o CP-3 se distancia das demais, a mesma foi descartada por meio de análise estatística.

Gráfico 2 - Limites estatísticos para o solo natural.

Fonte: Autora (2023)

Na tabela 4 encontra-se os dados para resistência média, desvio padrão e coeficiente de variação, resistência mínima, média e máxima, dentro dos limites estatísticos.

Tabela 4 - Análise dos resultados após o tratamento dos dados.

	(kPa)	(%)
	q_u	ϵ_u
Média	195,9	3,51890
Desvio padrão	25,1	0,26820
Mínimo	177,3	3,19092
Máximo	232,9	3,79140
Coefficiente de variação	12,8%	7,6%

Fonte: Autora (2023)

Solo – RCD

Para os compósitos com adição de RCD, houve mudança no comportamento do solo, pouco ganho de resistência onde a média ficou em 213,1 kPa e a máxima ficou em

261,7 kPa, descritos na tabela 5.

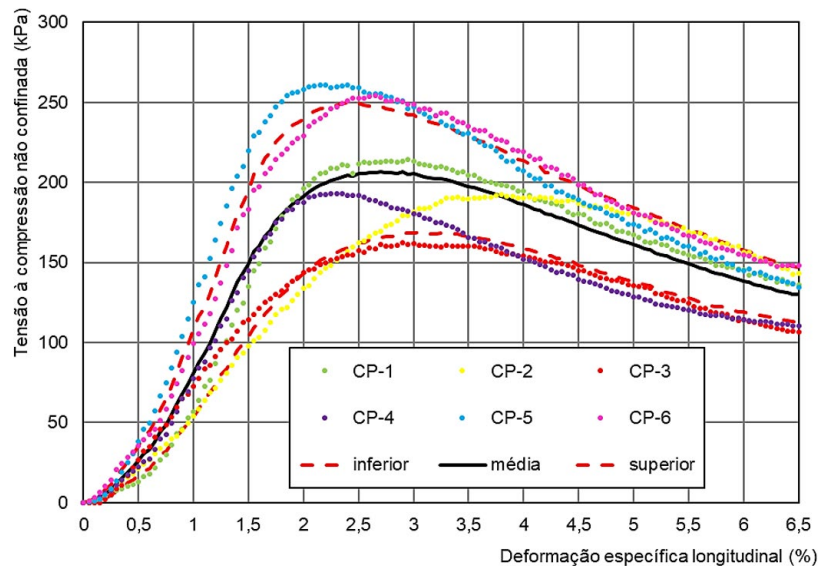
Tabela 5 - Análise dos resultados de resistência à compressão não confinada SOLO-RCD.

	(kPa)	(%)
	q_u	ϵ_u
Média	213,1	2,79507
Desvio padrão	38,7	0,60800
Mínimo	162,2	2,16165
Máximo	261,7	3,85576
Coefficiente de variação	18,2%	21,8%

Fonte: Autora (2023)

No gráfico 3 podemos notar que a amostra de número cinco ultrapassa o limite inferior, sendo assim a mesma foi descartada por meio de análise estatística.

Gráfico 3 - Limites estatísticos para o solo natural.



Fonte: Autora (2023)

Foi realizado o tratamento estatístico dos resultados, removendo os dados fora dos limites, como demonstra na tabela 6.

Tabela 6 - Análise dos resultados após o tratamento dos dados.

	(kPa)	(%)
	q_u	ϵ_u
Média	203,4	2,92175
Desvio padrão	34,1	0,58457
Mínimo	162,2	2,27008
Máximo	254,6	3,85576
Coefficiente de variação	16,8%	20,0%

Fonte: Autora (2023)

Solo – fibras

O ensaio de solo-fibra foi adicionado 0,50% de microfibras de polipropileno, houve

uma mudança significativa de comportamento entre os corpos de prova, como podemos observar na tabela 7, com resistência à compressão na média de 268,7 kPa que é superior em relação ao do solo natural.

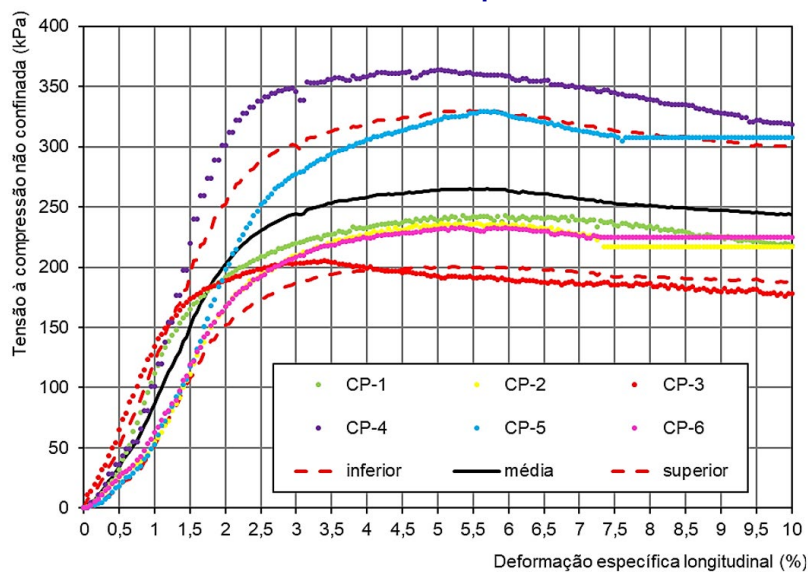
Tabela 7 - Análise dos resultados de resistência à compressão não confinada solo-fibra.

	(kPa)	(%)
	q_u	ϵ_u
Média	268,7	5,05921
Desvio padrão	62,6	0,90223
Mínimo	205,1	3,37089
Máximo	363,7	6,00564
Coeficiente de variação	23,3%	17,8%

Fonte: Autora (2023)

No gráfico 4 estão ilustrados os resultados que estão dentro dos limites com todos os dados individuais e a curva da média e dos limites superior e inferior. Podemos notar que o CP-4 ultrapassou o limite da linha inferior, então o mesmo foi descartado por meio de análise estatística.

Gráfico 4 - Limites estatísticos para o solo natural.



Fonte: Autora (2023)

Após o tratamento estatístico dos resultados, podemos observar na tabela 8 que houve uma diferença significativa no coeficiente de variação e na resistência média.

Tabela 8 - Análise dos resultados após o tratamento dos dados.

	(kPa)	(%)
	q_u	ϵ_u
Média	249,7	5,07446
Desvio padrão	46,7	1,00786
Mínimo	205,1	3,37089
Máximo	329,0	6,00564
Coeficiente de variação	18,7%	19,9%

Fonte: Autora (2023)

O solo reforçado com fibra tende a apresentar mais deformação antes da ruptura o que lhe confere um maior patamar de escoamento, em relação ao solo não reforçado, já que as fibras deslizam e mantêm o corpo de prova parcialmente íntegro.

Solo – RCD – fibra

Para as misturas de solo-RCD-fibra é possível observar um grande aumento nas resistências, onde resistência máxima atingiu 306,9 kPa, descrita na tabela 9.

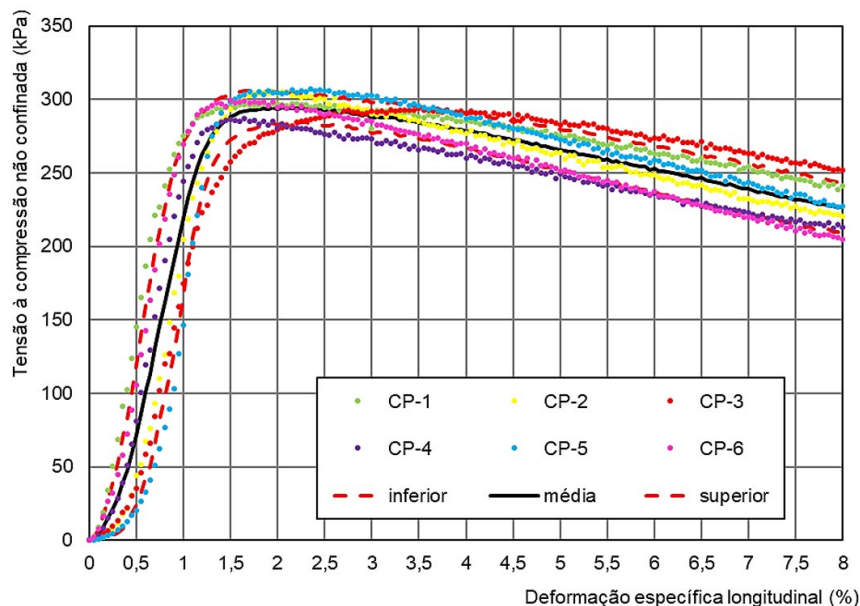
Tabela 9 - Análise dos resultados de resistência à compressão não confinada solo - RCD - fibra.

	(kPa)	(%)
	q_u	ϵ_u
Média	298,5	2,20218
Desvio padrão	7,4	0,71547
Mínimo	286,8	1,49067
Máximo	306,9	3,50247
Coefficiente de variação	2,5%	32,5%

Fonte: Autora (2023)

Podemos observar no gráfico 5 que nenhum CP ultrapassou os limites inferior e superior, sendo assim não há necessidade de tratamento estatístico dos resultados.

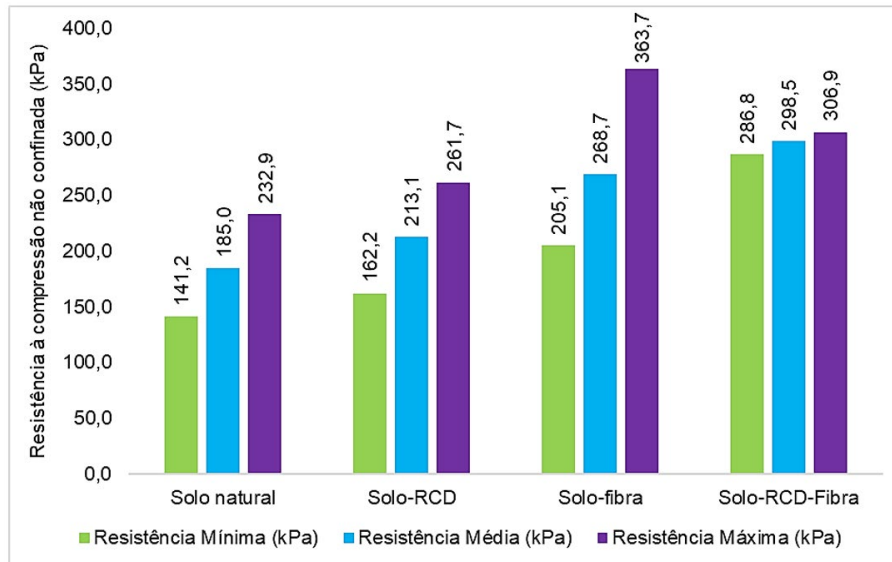
Gráfico 5 - Limites estatísticos para o solo natural.



Fonte: Autora (2023)

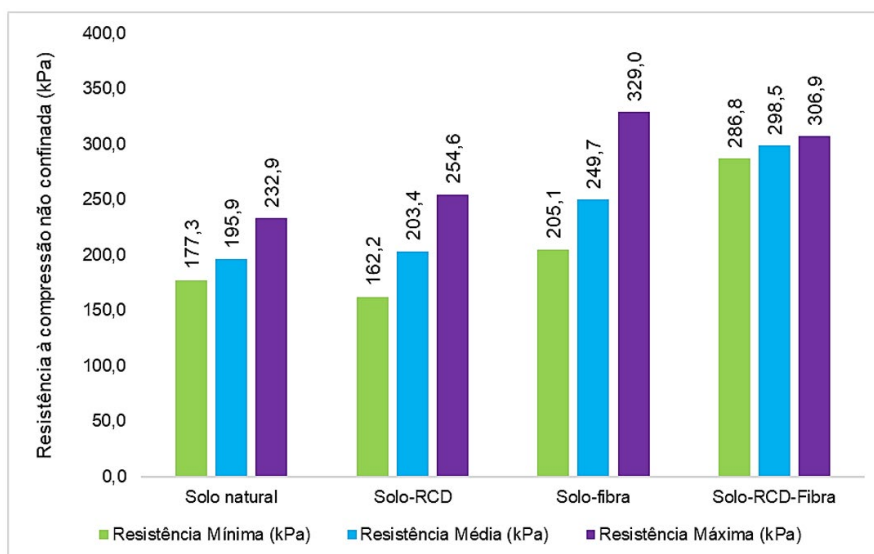
Análise dos resultados

No gráfico 6 é feita uma análise comparativa das variações entre as resistências mínima, média e máxima dos compostos, solo natural, solo-RCD, solo-fibra e solo-RCD-fibra.

Gráfico 6 - Análise comparativa das resistências sem tratamento estatístico.

Fonte: Autora (2023)

Algumas amostras saíram fora da linha de curva, como citado acima nos resultados obtidos, então as mesmas foram descartas. Sendo assim a resistência mínima, média e máxima tiveram variação de acordo com o gráfico 7, onde compara as resistências após a correção de dados.

Gráfico 7 - Análise comparativa das resistências com tratamento estatístico.

Fonte: Autora (2023)

Os gráficos foram submetidos a comparação múltipla, análise de variação (ANOVA) e os testes de Tukey, Sheffé, Bonferroni e Holm (1999) para avaliar diferenças significativas do ganho de resistência. A tabela 10 mostra os dados de entrada para a realização dos testes.

Tabela 10 - Dados de entrada 4 tratamentos independentes.

TRATAMENTO	Solo-Natural (A)	Solo-RCD (B)	Solo-Fibras (C)	Solo-RCD-Fibra (D)
DADOS DE ENTRADA	187,57	214,16	243,78	298,42
	177,27	192,69	237,28	305,50
	185,96	162,15	205,11	294,25
	232,88	193,20	329,00	286,81
	-	254,62	233,13	306,87
	-	-	-	299,31

Fonte: Autora (2023)

Observa-se na tabela 11 os dados da verificação ANOVA, nela podemos ver que o valor de p é menor que 0,001 demonstrando que um ou mais tratamentos possuem ganho de resistência significativos.

Tabela 11 - ANOVA.

Fonte	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	Estatística F	Valor P
A	35243	3	11748	12.0	< .001
Resíduos	15626	16	977		

Fonte: Autora (2023)

As análises realizadas de acordo com o método de Tukey e Scheffe (1953-1976) informam que o solo natural (A) não apresenta diferença significativa para o tratamento solo-RCD (B) e solo-fibra (C), significando que o tratamento utilizado não é estatisticamente suficiente para apontar um aumento de resistência. Na análise feita entre solo-RCD (B) o método informa que não apresenta diferença significativa para o tratamento solo-fibra (C). E também, não existe diferença significativa na comparação entre solo-fibra (C) e solo-RCD-fibra (D). Todas as outras comparações ilustradas na tabela 12 marcadas com a cor verde apresentaram diferenças estatisticamente significativas.

Tabela 12 - Resultados Tukey e Scheffe.

TESTES	TUKEY HSD		SCHEFFE	
	Valor - P	Inferência	Valor - P	Inferência
A x B	0,984	Insignificante	0,988	Insignificante
A x C	0,088	Insignificante	0,130	Insignificante
A x D	<0,001	*** p < .001	0,001	*** p < .001
B x C	0,131	Insignificante	0,184	Insignificante
B x D	<0,001	*** p < .001	0,001	*** p < .001
C x D	0,085	Insignificante	0,126	Insignificante

Fonte: Autora (2023)

Na tabela 13 as análises foram realizadas de acordo com o método de Bonferroni e Holm comparados simultaneamente, o solo natural (A) não apresenta diferença significativa

para o tratamento solo-RCD (B) e solo-fibra (C), significando que o tratamento utilizado não é estatisticamente suficiente para apontar um aumento de resistência. Na análise feita entre solo-RCD (B) o método informa que não apresenta diferença significativa para o tratamento solo-fibra (C). E também, não existe diferença significativa na comparação entre solo-fibra (C) e solo-RCD-fibra (D).

As comparações ilustradas em verde como solo natural (A) com solo-RCD-fibra (D) e solo-RCD (B) com solo-RCD-fibra (D), apresentaram diferenças estatisticamente significativas.

Tabela 13 - Resultados Bonferroni e Holm.

TESTES	BONFERRONI		HOLM	
	Valor - P	Inferência	Valor - P	Inferência
A x B	1,000	Insignificante	0,729	Insignificante
A x C	0,127	Insignificante	0,081	Insignificante
A x D	<0,001	*** p < .001	0,001	*** p < .001
B x C	0,196	Insignificante	0,081	Insignificante
B x D	<0,001	*** p < .001	<0,001	*** p < .001
C x D	0,122	Insignificante	0,081	Insignificante

Fonte: Autora (2023)

Através dessas análises estatísticas podemos compreender a eficácia dos tratamentos e suas influências na resistência do solo em comparação com o solo natural.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo buscou avaliar o desempenho mecânico de compósitos de solo-RCD, solo-fibra e solo-RCD-fibra através da incorporação de Resíduo de Construção e Demolição (RCD) e microfibras de polipropileno, a fim de verificar a influência de ambas as adições separadas e em conjunto.

A partir da análise dos resultados dos ensaios de laboratório executados nessa pesquisa, podemos notar que a adição de microfibras de polipropileno, promoveram melhorias nas propriedades e características micro e macroestruturais do compósito, quando comparado ao solo de referência. As fibras, possuem capacidade de sofrer maiores deformações até atingir a ruptura, o que resultou no aumento da sua coesão, as fibras proporcionaram um emaranhado que envolve e une as partículas do solo promovendo um efeito de ancoragem.

As fibras foram dispostas aleatoriamente na proporção de 0,50% em relação ao peso seco do solo, as mesmas se mostram bem eficazes alcançando o objetivo pretendido, mas o processo de fabricação artesanal ao qual foram submetidos podem ter influenciado numa possível diminuição do desempenho do material.

O RCD foi classificado como uma mistura de pedrisco e areia, sendo adicionado na

proporção 50g de resíduo para cada 100g de solo em relação ao solo seco, onde se obteve resultados satisfatórios, apresentando viabilidade do reuso, visando substituir recursos naturais que estão ficando cada vez mais escassos.

A resistência à compressão não confinada apresentou diferenças significativas entre os modelos estudados. O compósito solo-RCD suporta uma tensão máxima de 261,7kPa. O compósito solo-fibra suportou uma tensão máxima de 363,7kPa. O compósito solo-RCD-fibra suporta uma tensão máxima de 306,9kPa.

Dentre as misturas avaliadas, sendo elas solo-RCD, solo-fibra e solo-RCD-fibra, o método que obteve melhores resultados de resistência foi solo-fibra que obteve em relação ao solo natural um ganho de resistência de 156,16% para tensão máxima.

Sendo assim, tendo em vista os resultados apresentados, pode-se concluir que é tecnicamente viável a utilização de microfibras de polipropileno e RCD para reforço do solo residual basáltico.

REFERÊNCIAS

- _____. NBR 6459: **Agregado miúdo** – Determinação do limite de liquidez. 2017.
- _____. NBR 6457: **Amostras de solo** – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 2016.
- _____. NBR 7181: **Análise Granulométrica**. 2016.
- _____. NBR 6508: **Determinação da massa específica**. 1984.
- _____. NBR 12770: **Determinação da resistência à compressão não confinada**. 2022.
- _____. NBR 7180: **Determinação do limite de plasticidade**. 2016.
- _____. NBR 7182: **Ensaio de Compactação**. 2016.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- BRITO, Laís Costa; PARANHOS, Haroldo da Silva. **Estabilização de Solos**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 06. Ano 02, Vol. 01. p. 425-438, 2017.
- CHIOSSI, N. J. **Geologia aplicada à Engenharia**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 307**, 5 de julho de 2002.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 469**, 29 de julho de 2015.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – **DNER 162/94 – Solos – Ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas**. 1994. 7 p.

DIEMER, F.; et. al. **Propriedades geotécnicas do solo residual de basalto da região de Ijuí/RS. Teoria e Prática na Engenharia Civil**, Ijuí (RS), n. 12, p. 25-36, out. 2008.

JAMSHIDI, R.; TOWHATA, I.; GHIASSIAN, H.; TABARSA, A. R. **Experimental evaluation of dynamic deformation characteristics of sheet pile retaining walls with fiber reinforced backfill**. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, v. 30, n. 6, p. 438-446, 2010.

NOBREGA, M. T. **As reações dos argilo-minerais com a cal**. In: **REUNIÃO ABERTA DA INDÚSTRIA DA CAL**, 5., Anais... Brasília: Associação Brasileira de Produtores de Cal, 1985.

PACHECO-TORGAL, F.; TAM, V. W. Y.; LABRINCHA, J. A.; DING, Y.; BRITO, J. **Handbook of recycled concrete and demolition waste**. Philadelphia: Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, 2013.

ROCHA, Sabrina Andrade, 2019. **Avaliação da influência de fibras de polipropileno na resistência efetiva de um solo argiloso**. Dissertação de mestrado. UFSCAR- Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 120 p.

ROJAS, J. W. J. **Estudo da resistência, condutividade hidráulica e lixiviação de um solo argiloso cimentado e contaminado**. 2012. 193 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SCARABELOT, C. D. P.; SILVA, C. R. da. **Estudo do Comportamento Geotécnico de Predominância do Resíduo da Construção Civil em Solo Argiloso para Aplicação em Obras de Recuperação Ambiental**. In: REGEO/ GEOSSINTÉTICOS 2019, São Carlos/SP. Anais IX Congresso Brasileira de Geotecnia Ambiental. São Carlos: EESC, 2019. p. 113 – 118.

SENÇO, W. de. **Manual de técnicas de pavimentação**. 1 ed. São Paulo: Pini, 2001.

SILVA, A.C.; FUCALE, S.; FERREIRA, S.R.M. **Efeito da adição de resíduos da construção e demolição (RCD) nas propriedades hidromecânicas de um solo arenoargiloso**. Revista: Matéria, v.24, n.2, 2019.

SOUZA, M. L; *et al.* **Avaliação de solos residuais de rochas basálticas e a ocorrência de feições erosivas. Para Desenvolver a terra, Maringá (PR)**, n. 13, dez. 2012.

TAYLOR, G.D.; **Materials in Construction**. London: Longman Scientific & Technical, 2 ed, 1994. 284 p.

TULLIO, L. **Formação, Classificação e Cartografia dos Solos**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019.

USBR – **U.S. Department of the interior** – Bureau of Reclamation. Earth Manual. 3. ed. Denver: Bureau of Reclamation, 1998.

Estudo de viabilidade e eficiência energética para galpões industriais

Study of goals and energy efficiency for industrial warehouses

Marcelo Pezarin Ribeiro

Faculdade de Tecnologia Prefeito Hiranir Sanazar

Matheus de Souza Beruchi Alvarenga

Faculdade de Tecnologia Prefeito Hiranir Sanazar

Maxwell Farias Freitas Pinto de Moraes

Faculdade de Tecnologia Prefeito Hiranir Sanazar

Fernanda Laureti Thomaz Ferreira

Faculdade de Tecnologia Prefeito Hiranir Sanazar

Antônio Carlos Santos de Arruda

Faculdade de Tecnologia Prefeito Hiranir Sanazar

RESUMO

Esta pesquisa aborda como tema principal o estudo da eficiência energética voltado à iluminação de um galpão industrial. Os estudos discorrem sobre a possibilidade de troca de lâmpada fluorescente e mistas por lâmpadas LED, instalação de sensores de presença e substituição de telhas comuns por telhas translúcidas. A coleta de dados foi realizada por meio de medições e contagem quantitativa. No referencial teórico, foram abordados os temas relevantes sobre eletricidade no contexto de iluminação. As análises realizadas mostram que as lâmpadas LEDs são superiores as lâmpadas fluorescentes, visto que, geram melhor eficiência luminosa, maior durabilidade e melhor conforto visual, e possibilitam um retorno econômico sobre o investimento aplicado, gerando uma viabilidade sobre o processo.

Palavras-chave: eficiência energética. quantitativa. viabilidade.

ABSTRACT

This research addresses as its main theme the study of energy efficiency focused on the lighting of an industrial warehouse. The studies focused



on the possibility of exchanging fluorescent and mixed lamps for LED lamps, installing presence sensors and replacing common tiles with translucent tiles. Data collection carried out through measurements and quantitative counting. In the theoretical framework, topics relevant to electricity in the context of lighting addressed. The analyzes carried out show that LED lamps are superior to fluorescent lamps, as they generate better luminous efficiency, greater durability, and better visual comfort, and enable an economic return on the investment applied, generating viability in the process.

Keywords: energy efficiency. quantitative. viability.

INTRODUÇÃO

A eficiência energética refere-se à utilização eficiente da energia, com o objetivo de maximizar a produção de bens e serviços, enquanto se minimiza o consumo de energia. Contudo, é considerada uma importante ferramenta para reduzir o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e para a redução dos custos de energia.

Isso pode ser alcançado através de várias práticas, tais como a utilização de tecnologias de ponta, a melhoria da eficiência dos processos produtivos, o uso de fontes renováveis de energia, a implementação de políticas de conservação de energia e a conscientização dos consumidores sobre o uso eficiente de energia.

A eficiência energética é fundamental nos dias de hoje, ela transcende a mera busca por otimização do consumo de recursos; ela se estende à essência das discussões sobre sustentabilidade, competitividade econômica e alívio das mudanças climáticas. Aliado aos cuidados ambientais, as fontes produtoras de energia e a crescente demanda de consumo energético, a relação intrínseca entre eficiência energética e custos, exige uma análise cuidadosa dos dados e resultados apresentados a fim de uma total compreensão.

Este artigo visa explorar a relação entre a eficiência energética e os custos associados, com o intuito de minimizar o consumo de energia elétrica a fim de apresentar ganhos a longo prazo. A análise metódica dessa relação pode oferecer ideias valiosas para gestores, formuladores de políticas industriais, permitindo-lhes tomar decisões estratégicas que beneficiem, tanto o desempenho financeiro quanto a sustentabilidade do meio ambiente.

A transição energética é um processo em que a sociedade está se movendo em direção a uma matriz energética mais sustentável e de baixo impacto ambiental. Isso envolve a redução da dependência de fontes de energia não renováveis, e a adoção de fontes de energia limpa. Para alcançar esses objetivos, estão sendo adotadas novas tecnologias, investindo em pesquisa e desenvolvimento de energias renováveis e implementando políticas que incentivam práticas sustentáveis relacionadas ao assunto.

DESENVOLVIMENTO

Este estudo discute a implementação de medidas eficientes para redução do consumo energético em ambientes internos. São exploradas três abordagens específicas: a substituição de lâmpadas antigas (mistas e fluorescentes) por lâmpadas de LED (*Light Emitting Diodes*, em português Diodo Emissor de Luz), a instalação de telhas translúcidas para aproveitamento da iluminação natural e a incorporação de sensores de presença. Cada abordagem é analisada em termos de sua eficácia na redução dos gastos com energia elétrica, bem como seus impactos ambientais e econômicos. Além disso, são discutidas as vantagens e desafios de cada medida e seu potencial para serem adotadas em diferentes contextos.

Inicialmente, foi realizado um levantamento detalhado do sistema de iluminação existente. Isso inclui a identificação de todas as luminárias, lâmpadas, reatores e controles de iluminação. Além disso, é importante ressaltar o consumo de energia atual. A primeira parte do levantamento trouxe a identificação e registro detalhados de todos os componentes do sistema de iluminação existente.

Componentes de iluminação (Galpão)

A substituição de lâmpadas tradicionais, como as lâmpadas mistas e fluorescentes, por lâmpadas de LED tem se mostrado uma estratégia eficaz para redução do consumo de energia elétrica. As lâmpadas de LED oferecem maior eficiência luminosa e durabilidade, resultando em menor consumo de eletricidade e menos necessidade de substituição ao longo do tempo (AGOSTINHO *et al.*, 2017). Essa abordagem não apenas contribui para a economia de energia, mas também para a diminuição dos custos de manutenção. As principais características, segundo Botelho e Figueiredo (2012) de uma lâmpada LED são: Alto índice do IRC contribui para um melhor direcionamento do fecho luminoso, baixa potência e eficiência luminosa elevada, não contribui com a elevação de temperatura do ambiente devido a não emissão de raios ultravioletas. A Tabela 1 apresenta o detalhamento dos componentes antigos utilizados que serão substituídos.

Tabela 1 - Detalhamento dos componentes antigos.

Detalhamento		
Características	Lâmpada Mista	Lâmpada Fluorescente
Potência	250 Watts	40 Watts
Quantidade	60 Unidades	144 Unidades
Potência Total	15000 Watts	5760 Watts
Fluxo Luminoso	5500 Lumens	3600 Lumens
Temperatura de cor	3800 Kelvin	5000 Kelvin
Vida Útil	6000 Horas	8000 Horas
Valor Unitário	R\$42,90	R\$16,99
Valor Total	R\$2.574,00	R\$2.446,56

Fonte: Próprio autor (2023)

NBR/ISO 8995-Iluminação em ambientes de trabalho

A iluminação adequada proporciona a capacidade de visualizar com clareza o ambiente, garantindo que as pessoas possam se movimentar com segurança e realizar tarefas visuais de forma eficaz, precisa e confortável, sem gerar fadiga visual ou desconforto. Essa iluminação pode ser obtida por meio de fontes naturais, artificiais ou por uma combinação de ambas.

Iluminância (E) → relação entre o fluxo luminoso, em lumens, que incide perpendicularmente sobre uma superfície plana, pela área dessa superfície em m² [lx (lux)]. É através da iluminância que se vê os objetos e pode ser medida com luxímetro.

Luminância (L) → intensidade luminosa, emitida por uma fonte de área emissiva igual a 1 m², em uma determinada direção, com intensidade luminosa de 1 candela (nessa mesma direção) [cd/m²].

Eficiência luminosa (Ef) → relação do fluxo luminoso emitidos pela potência consumida pela lâmpada [lm/W].

Temperatura de cor (TC) → cor emitida por um corpo negro imaginário em função da sua temperatura [K (Kelvin)]

Índice de reprodução de cores (Ra ou IRC) → a capacidade de uma fonte de luz, ao iluminar um objeto, de fazer com que este reproduza suas cores naturais. Este índice varia em uma escala de 0 a 100 e quanto mais elevado, melhor é o equilíbrio de cores.

Intensidade luminosa (I) → luz emitida por um corpo negro à temperatura de fusão da platina (1768°C) sob a pressão de 101325 newtons por metro quadrado (1 atmosfera) na direção perpendicular a uma superfície plana de área igual a 1/600000 metros quadrados [cd (candela)].

Fluxo luminoso (ϕ) → quantidade de luz visível que atinge uma dada superfície emitido no interior de um ângulo sólido igual a um esferorradiano, por uma fonte luminosa puntiforme de intensidade invariável e igual a uma candela, de mesmo valor em todas as direções [lm (lúmen)].

Grandezas e unidades

Iluminância

$$E = \phi/A$$

Sendo:

E - Iluminância

ϕ - fluxo luminoso

A - Área

Luminância

$$L = I/A$$

Sendo:

L - Luminância

I - Intensidade luminosa

A - Área

Eficiência luminosa

$$Ef = \phi/P$$

Sendo:

Ef - Eficiência luminosa

ϕ - Fluxo luminoso

P - Potência

Requisitos para o planejamento da iluminação

Os requisitos de iluminação recomendados para diversos ambientes e atividades estão estabelecidos nas tabelas desta seção da seguinte maneira. A Tabela 2 apresenta em detalhes a recomendação de iluminação para cada ambiente conforme a norma técnica.

Coluna 1: Lista de ambientes (áreas), tarefas ou atividades

Coluna 2: Iluminância mantida (Em lux)

Coluna 3: Índice limite de ofuscamento unificado (UGRL)

Coluna 4: Índice de reprodução de cor mínimo (Ra)

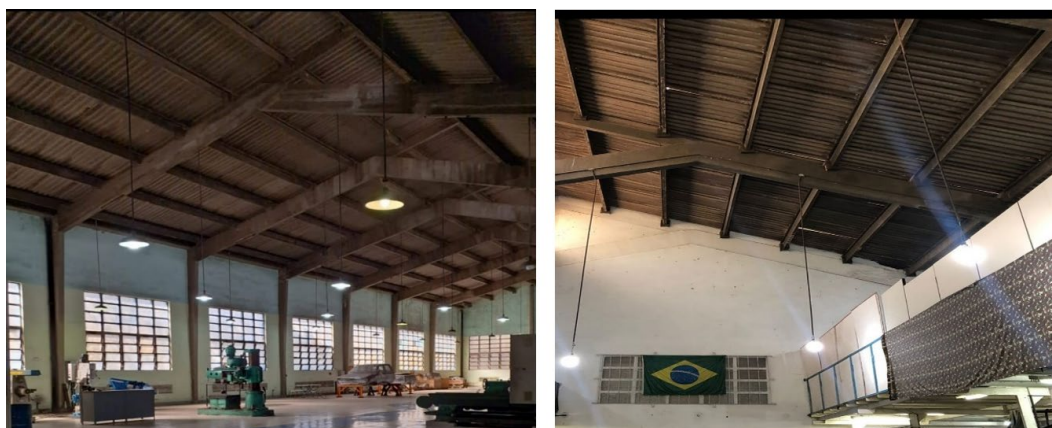
Tabela 2 – Nível de luminosidade de cada ambiente.

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	Em lux	UGRL	RA
Usinagem grosseira e média Tolerâncias > 0,1 mm	300	22	60
Usinagem de precisão: retificação Tolerâncias < 0,1 mm	500	19	60
Usinagem de placa ≥ 5 mm	200	25	60
Ferramentaria; fabricação de equipamento de corte	750	19	60
Montagem: bruta	200	25	80
Montagem média	300	25	80
Montagem: fina	500	22	80
Montagem de precisão	750	19	80
Vestiário	200	25	80
Arquivamento, cópia, circulação	300	19	80
Escrever, teclar, ler, processar dados	500	19	80
Desenho técnico	750	16	80

Fonte: ABNT NBR ISO/CIE Norma Brasileira © ISO/CIE 2002 - © ABNT 2013 ICS ISBN 978-85-07- 8995-1

Logo a seguir, a figura 1 mostra o perfil de iluminação do ambiente interno do galpão.

Figura 1 - Sistema de iluminação do galpão.



Fonte: Próprio Autor (2023)

ESTUDO DO CASO

A empresa inicia os trabalhos às 06:00 horas e finaliza às 22:00 horas, trabalhando em dois turnos de segunda à sábado. O quadro 1 apresenta as informações de expediente de trabalho e os custos por cada KW/h.

Quadro 1 – Dados do expediente de trabalho.

Expediente	Carga horária	Custo KW/h
26 dias mensais	06:00 às 22:00	R\$ 0,26 fora de ponta
16 horas diárias	18:00 às 21:00 horário de ponta	R\$ 0,42 ponta

Fonte: Empresa Enel São Paulo (2023)

Medição do Consumo

Para entender o consumo de energia atual, é necessário medir o consumo elétrico das luminárias em operação. Isso pode ser feito por meio de medidores de energia ou pelo uso de registros de consumo elétrico.

Uso mensal da iluminação: 16 h x 26 dias = 416 h/mês

Considerando:

- 78 h/mês de ponta
- 338 h/mês fora de ponta

Consumo de Energia Atual

Com base nos dados coletados durante o levantamento, é possível calcular o consumo de energia atual do sistema de iluminação. Isso envolve multiplicar a potência de cada lâmpada pelo tempo de uso diário.

Consumo (kwh) = potência (w) x horas de uso por dia (h) x dias de uso no mês / 1000.

Consumo Mensal Fora ponta (kWh) = 20760 W x 338 h/mês / 1000 = 7.017 kWh

Consumo Mensal de ponta (kWh) = 20760 W x 78 h/mês /1000 = 1.619 kWh

Consumo Anual (kWh) = 103.634 kWh

Custos Atuais

Baseando-se nos dados informados em relação aos custos em kWh temos:

- Custo kWh fora de ponta: R\$0,26, sendo 338 h/mês fora de ponta
- Custo kWh ponta 18:00 às 21:00: R\$0,42, sendo 78 h/mês de ponta
- Considerando essas informações, temos:
- Custo mensal (R\$) = Consumo mensal (kWh) x Custo (R\$)

- Custo mensal (R\$) = $(7.017 \times 0,26) + (1.619 \times 0,42) = \text{R\$ } 2.504,40$
- Custo anual (R\$) = R\$ 30.052,80

Tabela 3 - Total dos valores mensais gastos pelo galpão

Dados mensais da empresa	
Potência total	20.760 W
Consumo mensal de energia	8.636 kwh
Custo mensal	R\$ 2.504,40

Fonte: Próprio autor (2023)

PROJETO

A avaliação do projeto de eficiência energética de iluminação, envolve a seleção das melhores opções tecnológicas disponíveis no mercado para atingir a redução de custos. Além da eficiência, é importante destacar a qualidade de luz oferecida, isso inclui características como: temperatura de cor, o índice de reprodução de cores (IRC), a distribuição de luz, fator de potência e entre outros. A durabilidade e a vida útil são fatores críticos e inversamente proporcionais aos custos gerando economia a longo prazo. A Tabela 4 apresenta o detalhamento dos componentes novos a serem utilizados.

Tabela 4 - Detalhamento dos componentes novos.

Detalhamento		
Características	Lâmpada LED (OUROLUX)	Lâmpada LED tubular
Potência	100 watts	18 watts
Quantidade	60 unidades	144 unidades
Potência Total	6000 watts	2592 watts
Fluxo Luminoso	1850 lumens	1850 lumens
Temperatura de cor	6500 kelvin	6500 kelvin
Vida Útil	25000 horas	25000 horas
Valor Unitário	R\$ 147,12	R\$ 17,90
Valor Total	R\$ 8.827,20	R\$ 2.577,60

Fonte: Próprio autor (2023)

Viabilidade Econômica

Com base nos dados coletados e na análise realizada, é possível determinar a viabilidade econômica do projeto. Isso envolve a avaliação do potencial de economia de energia e dos custos associados à implementação das melhorias.

A amortização de gastos e redução de custos são estratégias essenciais para empresas e indivíduos alcançarem uma gestão financeira mais eficiente e sustentável. A amortização envolve o pagamento gradual de dívidas ou despesas ao longo do tempo, reduzindo o impacto financeiro imediato.

A combinação inteligente de amortização de gastos e redução de custos pode resultar em uma melhor saúde financeira. As tabelas 5 e 6 apresentam os valores com a

aplicação do novo modelo de iluminação.

Projeção de consumo de energia com lâmpadas de LED

Potência total 8.592 W

Tabela 5 - Valores referente ao consumo do novo modelo de iluminação

Dados	Consumo
Consumo Mensal Fora ponta (kWh)	= 8.592 W x 338 h/mês / 1000 = 2.904 kwh
Consumo Mensal de ponta (kWh)	= 8.592 W x 78 h/mês /1000 = 670 kwh
Consumo mensal total (kWh)	= 3.574 kwh
Consumo Anual (kWh)	= 42.889 kwh

Fonte: Próprio autor (2023)

Considerando essas informações, temos:

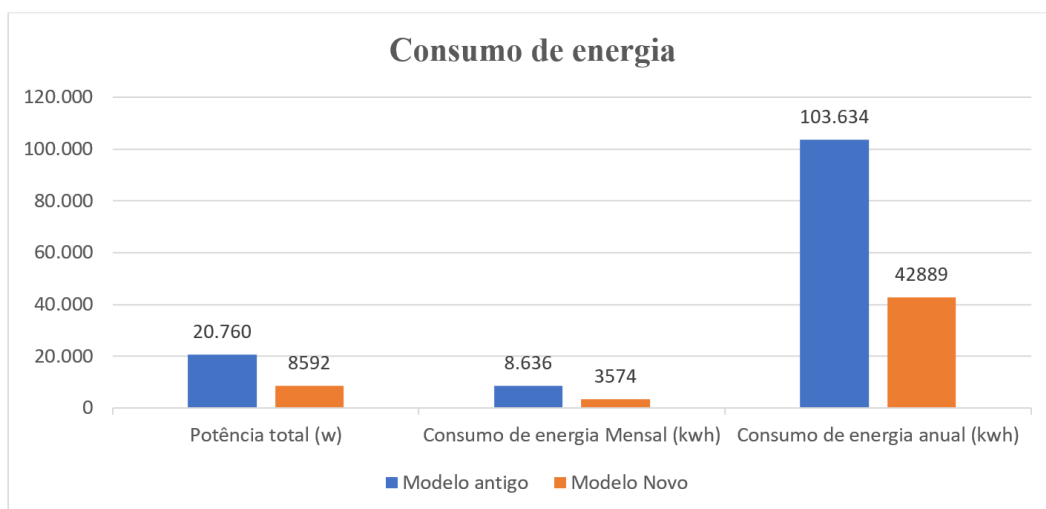
Tabela 6 - Valores referente ao custo do novo modelo de iluminação

Dados	Consumo
Custo mensal	= (2.904 x 0,26) + (670 x 0,42) = = R\$ 1.036,44
Custo anual	= R\$ 12.437,28

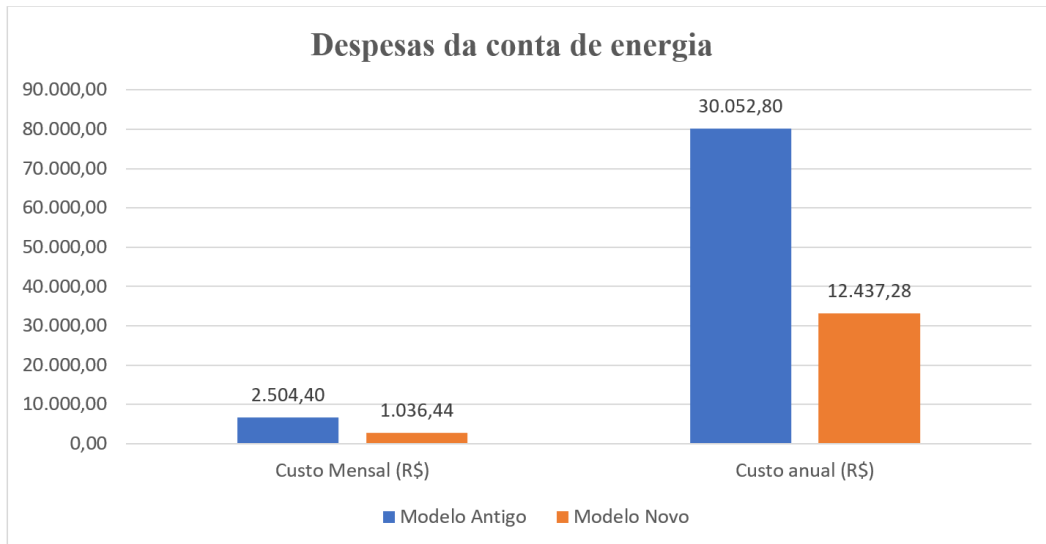
Fonte: Próprio autor (2023)

Com base nos dados informados, foi feito um gráfico comparativo entre o consumo de energia e os custos gerados por ele entre o modelo antigo e o novo modelo proposto de iluminação. O gráfico 1 e 2 apresenta um comparativo de valores entre custos e consumo.

Gráfico 1 - Consumo de energia.



Fonte: Próprio autor (2023)

Gráfico 2 – Despesas da conta de energia.

Fonte: Próprio autor (2023)

Identificação de oportunidades de melhoria

Identificar oportunidades de melhoria na iluminação de um ambiente envolve avaliar o espaço, analisar os sistemas de iluminação existentes e buscar tecnologias mais eficientes, como lâmpadas LED e sensores de presença, controles de iluminação, iluminação natural, reposicionamento das lâmpadas e treinamento e conscientização de uso adequado da iluminação. Além disso, é importante manter um monitoramento constante e realizar manutenção para alcançar economia de energia e um ambiente mais sustentável.

Instalação de Telhas Translúcidas

A utilização de telhas translúcidas em locais estratégicos proporciona uma alternativa inteligente para otimizar a iluminação interna durante os períodos em que a luz natural é suficiente.

Essa técnica reduz a dependência de iluminação artificial durante o dia, resultando em economia de energia elétrica e, por conseguinte, diminuição dos custos operacionais. Além disso, a introdução de iluminação natural também pode melhorar a qualidade do ambiente interno, contribuindo para o bem-estar dos ocupantes destas áreas.

A área do telhado demanda de 308 telhas no total e como forma de melhoria recomenda-se que para a área de galpões industriais a média de utilização esteja entre 20 e 35% do total de telhas, nesse caso representam cerca de 20% do telhado. Com 20% de telhas translúcidas é possível gerar em torno de 70% de translucidez. A Tabela 7 apresenta o detalhamento das telhas.

Tabela 7 - Detalhamento das telhas

Detalhamento		
Características	Telha Fibrocimento	Telha Polipropileno
Quantidade	248	60
Garantia	5 Anos	5 Anos
Valor Unitário	R\$52,90	R\$129,90
Valor Total	R\$ 13.119,20	R\$ 7.794
Custo de Manutenção	Médio	Baixo
Dimensões das Telhas: 2,44 x 1,10 x 5 mm		

Fonte: Próprio autor (2023)

Incorporação de Sensores de Presença

A instalação de sensores de presença em ambientes internos possibilita a ativação e desativação automática da iluminação com base na detecção de movimento. Essa abordagem garante que os espaços estejam iluminados apenas quando houver ocupantes, evitando o desperdício de energia em áreas vazias.

A eficácia dos sensores de presença reside na sua capacidade de equilibrar a conveniência da iluminação automática com a necessidade de economia de energia. Com a implementação de sensores de presença podemos integrar as tecnologias a fim de reduzir ainda mais os custos e aumentar a vida útil das lâmpadas. A Tabela 8 apresenta o detalhamento dos sensores de presença.

Tabela 8 - Detalhamento dos sensores de presença.

Detalhamento Sensor de presença	
Quantidade	16 Unidades
Vida Útil	3 Anos de Garantia
Valor Unitário	R\$47,12
Valor Total	R\$753,92

Fonte: Próprio autor (2023)

Valores de aplicação

A economia e segurança de um projeto de eficiência energética são fundamentais para residências, empresas e indústrias. Quando se trata de planejar, construir ou atualizar um projeto é crucial considerar não apenas a funcionalidade, mas também os custos, investimentos e a aplicação inteligente de recursos.

Neste estudo, foi explorado como esses elementos desempenham um papel crucial no contexto das aplicações do projeto garantindo que todas as mudanças realizadas atuem de maneira confiável.

Esta análise fundamenta-se em equações nas quais tenham como objetivo específico identificar e mensurar se existe ou não viabilidade econômica em um determinado investimento, ou seja, se existe ou não rentabilidade, e caso exista, quão rentável é o investimento (EHRlich & MORAES, 2011). A tabela 9 apresenta os valores de investimento

para cada componente.

Tabela 9 - Valores dos componentes a serem aplicados no projeto.

Item	Quant. (Uni)	Vida Útil (h)	Valor Unit. (R\$)	Valor total (R\$)
Lâmpada de LED	60	25000	147,12	8.827,20
Lâmpada Tubular de LED	144	25000	17,90	2.577,60
Sensor de Presença	16	26298*	47,12	753,92
Telha de Polipropileno	60	43830*	129,90	7.794,00
Mão de obra p/ elétrica	-	-	-	5.000,00
Total do investimento	-	-	-	24.952,72

Fonte: Próprio autor (2023)

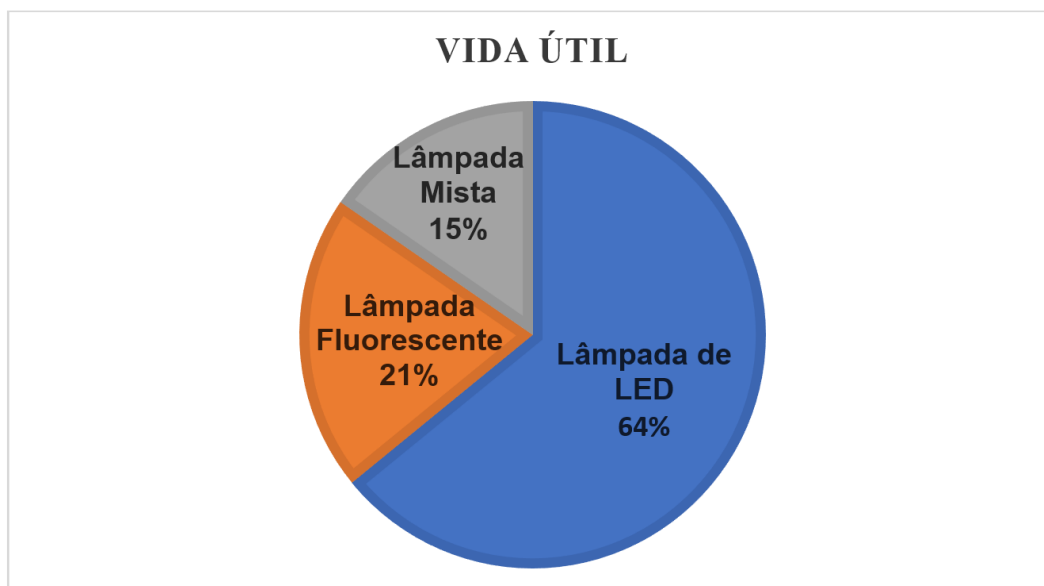
Obs. (*) refere-se a uma estimativa da vida útil baseando-se na sua garantia em horas obtidas pelo fornecedor.

Os valores de mão de obra, foram obtidos através de pesquisas com prestadores de serviços da área, no caso foi usado um valor médio entre eles, como parâmetro de custo para a aplicação.

Durabilidade no sistema de iluminação

É compreensível dizermos que durabilidade é um ponto positivo no quesito eficiência, observa-se uma enorme diferença de durabilidade, em termos de vida útil de cada lâmpada que fora mais utilizada. Se tomarmos a razão entra a durabilidade de lâmpada LED com as demais, temos que, para uma lâmpada LED trocada dentro de seu período de durabilidade, já teríamos trocado, no mínimo, 3 (três) lâmpadas fluorescentes e 4 (quatro) lâmpadas mistas. O gráfico 3 apresenta um comparativo de suas durabilidades.

Gráfico 3 - Comparação de durabilidade – vida útil (h).



Fonte: Próprio autor (2023)

PAYBACK

A redução de custos ao longo do tempo é uma estratégia para acelerar a amortização de investimentos e melhorar a rentabilidade a longo prazo. Isso pode ser alcançado por meio de economias geradas ou outras medidas que reduzam os gastos. À medida que os custos continuam a diminuir, a empresa pode reinvestir os recursos economizados em novos projetos, expandindo mais em seus negócios e aumentando sua capacidade de geração de lucros.

De acordo com Hirschfel (2014), o *payback*, ou método do prazo de retorno de um projeto, nada mais é que a extensão de tempo necessário para que seus fluxos de caixa nominais cubram o investimento inicial. Dessa forma, a redução de custos não apenas contribui para a amortização de investimentos, mas uma estratégia de gestão fundamental para maximizar o retorno sobre o investimento. Ela promove a estabilidade financeira, o crescimento sustentável e a competitividade no mercado. O período de amortização é o tempo necessário para que o projeto pague por si mesmo em termos de economia de energia. A tabela 11 apresenta o retorno financeiro do projeto.

Tabela 11 – PAYBACK.

Projeto	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Investimento	R\$ 24.952,72	-	-	-	-
Economia	R\$ 17.615,52	R\$ -7.337,20	R\$ 10.278,32	R\$ 27.893,84	R\$ 45.509,36
Saldo	R\$ - 7.337,20	R\$ 17.615,52	R\$ 17.615,52	R\$ 17.615,52	R\$ 17.615,52
Acumulado	R\$ - 7.337,20	R\$ 10.278,32	R\$ 27.893,84	R\$ 45.509,36	R\$ 63.124,88

Fonte: Próprio autor (2023)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os benefícios da iluminação LED são inegáveis e sua viabilidade é evidente. A transição para lâmpadas LED não apenas resulta em economia de energia e custos operacionais reduzidos, mas também melhora a qualidade da iluminação e contribui para o bem-estar dos usuários. Além disso, essa tecnologia LED é ambientalmente responsável, reduzindo a pegada de carbono da iluminação industrial. Estudos demonstram, nestas condições, que essa mudança pode resultar em reduções substanciais no consumo de energia, com ganhos consideráveis.

À medida que avançamos em direção a um futuro mais sustentável e eficiente em termos de energia, a iluminação LED se destaca como uma solução indispensável. Recomenda-se a sua implementação em larga escala, não apenas para galpões industriais mais também para empresas que buscam vantagens financeiras, mas também como parte de um compromisso com a preservação ambiental.

A análise feita por meio do *payback* foi fundamental para demonstrar a viabilidade do projeto. Por meio dos cálculos foi estimado o tempo necessário para recuperar o capital investido, sendo ele, a partir do 3º ano, através desta análise financeira pode se tomar decisões mais solidas sobre realocação de recurso em seu empreendimento. De modo a economizar energia com uso de materiais mais eficientes.

REFERÊNCIAS

ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. Banco de Informações da Geração (BIG), 2017. Página inicial. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 15 out. 2018.

ATCO. Atco: **Telhas Translucidas Polipropileno**. 2018. Disponível em: <https://atco.com.br/telhas-translucidas-polipropileno/>. Acesso em: 15 de out. de 2023.

BOTELHO, M. H. C. & FIGUEIREDO, M. A. **Instalações Elétricas Residenciais Básicas**. 1.ed. São Paulo: Edgar Blücher Ltda. 2012. 156 p.

COMPANY. Fitec. **Telha Translúcida e os Benefícios Iluminação Natural Para Sua Empresa**. s.d. Página inicial. Disponível em: <https://fitecbrasil.com.br/telha-translucida/#proporcao~>. Acesso em 15 de out. De 2023.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. 15ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A. 2013. 443 p.

EHRlich, P. J., & MORAES, E. A. **Engenharia Econômica: Avaliação e Seleção de Projetos de Investimentos**. 6ª ed. São Paulo: Atlas S.A. 2011. 186 p.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia Econômica e Análise de Custos**. 7ª ed. São Paulo: Atlas S. A. 2014. 519 p.

INMETRO. **Portaria 389**. 25 de agosto de 2014. Inmetro: legislação. Página 3. 29 p. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/rtac002154.pdf>> Acesso em: 18 de out. De 2023.

MERLIN. Leroy. **Como calcular telhado**. 2023. Disponível em: <https://www.leroymerlin.com.br/dicas/como-calcular-telhado>> Acesso em: 26 de out. De 2023.

NORMA Técnica Brasileira. **NBR 16753** - Poliéster reforçado com fibras de vidro - Chapas planas, telhas e domos contínuos - Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro. 2019. 14 p.

NORMA Técnica Brasileira. **NBR/ISO 8995** – Iluminação em ambientes de trabalho. Rio de Janeiro. 2013. 46 p.

Capítulo 20

Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico

Economic feasibility analysis of a photovoltaic system

Ruan Magi do Prado Costa

Graduando em Engenharia Elétrica

Victor da Silva Santos

Pós Graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho

Rafael Lima de Oliveira

Mestre em Engenharia Elétrica

<http://lattes.cnpq.br/6212659806406513>

RESUMO

Com as crescentes preocupações relacionadas ao setor energético, cresce a procura por fontes de geração de energia que explorem o potencial das fontes renováveis. No presente estudo foi realizada uma análise do impacto econômico final para o consumidor, gerado por um sistema fotovoltaico, considerando aspectos legais, financeiros e estéticos. A análise perpassará todas as etapas do processo, desde o planejamento, seleção dos componentes, execução da instalação e homologação junto à concessionária. Do ponto de vista econômico serão realizados estudos do consumo de energia, no período de um ano, antes e depois da implementação do sistema fotovoltaico em uma residência na cidade de Itaperuna. Ao final deste estudo, o presente artigo buscará apresentar dados que demonstrem a vantagem de se utilizar um sistema fotovoltaico para atender a demanda de uma residência unifamiliar.

Palavras-chave: fontes renováveis; viabilidade econômica; matriz energética.



ABSTRACT

With growing concerns related to the energy sector, the demand for energy generation sources that exploit the potential of renewable sources is growing. In the present study, an analysis was carried out of the final economic impact on the consumer, generated by a photovoltaic system, considering legal, financial and aesthetic aspects. The analysis will cover all stages of the process, from planning, selection of components, installation execution and approval with the dealership. From an economic point of view, energy consumption studies will be carried out over a period of one year, before and after the implementation of the photovoltaic system in a residence in the city of Itaperuna. At the end of this study, this article will seek to present data that demonstrate the advantage of using a photovoltaic system to meet the demand of a single-family residence.

Keywords: renewable sources; economic viability; energy matrix.

INTRODUÇÃO

A energia é um tema abordado em todos os segmentos do ensino formal, na educação não formal, na mídia e também em conversas cotidianas (YERGIN, 2014). Por consequência dessas ações, o consumo global de energia vem aumentando a cada ano de forma exponencial. No entanto, a taxa de restabelecimento de recursos, como carvão, petróleo e o gás natural é muito lenta em comparação à taxa de consumo. Deste modo, se torna muito importante a busca por tecnologias que empregam recursos energéticos sustentáveis (BASHIR *et al.*, 2018).

Neste cenário, a busca por tecnologias que utilizem fontes de energia renováveis como água e sol são fundamentais. A energia solar fotovoltaica é a opção mais adequada para atender às crescentes necessidades de energia (BASHIR *et al.*, 2018). Com isso ela vem sendo a melhor opção para o futuro por ser a fonte de energia mais abundante da natureza, proporcionando eficiências de produção sólidas e crescentes (KANNAN; VAKEESAN, 2016).

A primeira conquista na captação da luz solar para energia elétrica foi feita em 1941 por Russell Ohl, através da invenção de células solares baseadas em semicondutores que incorporam a engenharia bandgap da junção PN de silício. O segundo objetivo principal foi alcançado em 1991 por B. O'Regan e M. Gratzel ao fabricar uma célula solar barata de alta eficiência baseada em filme de dióxido de titânio (TiO₂) coloidal sensibilizado por corante em um processo simples. Recentemente, devido à emergente pertinência na segurança ambiental e na geração de energia, o dióxido de titânio (TiO₂) tem cativado a atenção de pesquisadores de todo o mundo (BASHIR *et al.*, 2018).

No Brasil inicialmente, seu uso englobava em sua maioria, sistemas isolados em pequena escala em áreas sem conexão com o Sistema Interligado Nacional (SIN) (HOLDERMANN *et al.*, 2014). Os agentes do setor elétrico brasileiro são divididos de acordo com as atividades que desempenham geração, transmissão, distribuição e comercialização. Esta divisão visa aumentar a concorrência nos segmentos de geração e comercialização

e também regulariza a distribuição de energia e transmissão. Monopólios naturais que são regulamentados pelo governo brasileiro. O poder atual do sistema é baseado em usinas gigantes conectadas por linhas de transmissão elétrica de alta tensão para subestações, localizadas em áreas povoadas (HOLDERMANN *et al.*, 2014). Contudo, o Brasil está em crescimento exponencial em quantidades de usinas fotovoltaicas instaladas à rede elétrica, após a divulgação da Resolução Normativa nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que padronizou a inclusão da energia fotovoltaica na matriz energética brasileira, através das modalidades de micro e minigeração distribuídas (ANEEL, 2012).

O crescimento da geração distribuída no Brasil se baseia nas regulações de normas junto ao crescimento exponencial das tecnologias, esses feitos impulsionaram um aumento significativo na geração distribuída do País (ABSOLAR, 2018). A publicação feita pelo Portal Solar (2018), diz que atualmente a energia solar é a terceira fonte de energia renovável mais importante do mundo e que fica atrás apenas das hidráulicas e eólicas. A energia solar vem adquirindo um crescimento exponencial ao decorrer dos anos e isso é importante para o setor energético mundial, esses novos métodos de gerações de energia são importantes para o futuro da energia (PORTAL SOLAR, 2018).

O crescimento da geração distribuída no Brasil se baseia nas regulações de normas junto ao crescimento exponencial das tecnologias, esses feitos impulsionaram um aumento significativo na geração distribuída do país (ABSOLAR, 2018). A publicação feita pelo Portal Solar (2018), diz que atualmente a energia solar é a terceira fonte de energia renovável mais importante do mundo e que fica atrás apenas das hidráulicas e eólicas. A energia solar vem adquirindo um crescimento exponencial ao decorrer dos anos e isso é importante para o setor energético mundial, esses novos métodos de geração de energia são importantes para o futuro da energia (PORTAL SOLAR, 2018).

Um dos principais fatores para o avanço do mercado de energia fotovoltaica foi a diminuição do preço dos sistemas. De acordo com (SCHMELA, 2015), em 2015 a produção mundial chegou à marca de 230 giga watts (GW), mais de quarenta vezes a produção de 2006 (SCHMELA, 2016). Em 2020 estava previsto até 700 giga watts (GW) de potência instalada. O Brasil é beneficiado pelo alto índice de irradiação solar em grande parte do seu território, portanto, a busca por instalações de sistemas fotovoltaicos, tornou-se incessante após a redução de impostos nos inversores e nos módulos solares. Dessa forma, novos incentivos como linhas de créditos e financiamentos com taxas de juros especiais aqueceram ainda mais o mercado, pequenas usinas geradoras de energia vem sendo dia a dia sendo implementadas, visando acessibilidades. Às concessionárias disponibiliza geração próxima ao consumidor, atendendo pontos isolados de sistemas de transmissão, possibilitando uma produção em pequena escala, protegendo contra impactos ambientais e amplificando a matriz energética (ANEEL, 2018).

Por consequência, a energia fotovoltaica tornou-se uma atratividade como forma de economia junto ao crescimento energético no Brasil, segundo (ANEEL, 2021), dados de 2019 mostram que a energia solar fotovoltaica no Brasil cresceu em torno de 212% com 2,4 giga watts (GW) instalados. Em 2020, o nicho de energia fotovoltaica cresceu em 70% (ANEEL, 2021). A estimativa para 2024, é que mais de 887 mil sistemas de energia solar sejam conectados à rede convencional. Do ponto de vista técnico, isso estabelecerá

uma grande economia em relação às distribuidoras convencionais, mostrando que há um amplo espaço para o desenvolvimento dessa matriz energética no País, além das pautas de manutenção e preservação ao meio ambiente do País. (PORTAL SOLAR, 2023).

Embora seja uma energia limpa, renovável e que apresenta benefícios ambientais, a implementação de um sistema fotovoltaico ainda gera muitas incertezas por parte do consumidor. Aspectos como viabilidade técnica, custos do projeto, instalação, homologação junto a concessionária de energia, estética do imóvel, durabilidade dos dispositivos, manutenções e garantias são questionamentos comuns na hora de optar por adquirir esse empreendimento.

Neste sentido, é importante realizar uma análise geral dos aspectos que envolvem todo o processo de implementação de um sistema fotovoltaico, visando fornecer ao consumidor um panorama econômico do possível retorno financeiro. Além disso, com a crescente busca por energia limpa no país, a análise desse sistema contribuirá para sanar dúvidas sobre sistemas fotovoltaicos e a expansão do mercado de energia, onde é formada motivação por parte dos pesquisadores, empreendedores e do governo, podendo servir como referências para outros projetos semelhante.

DESENVOLVIMENTO

Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

A instalação do sistema fotovoltaico, foi realizada em 10/11/2021 na cidade de Itaperuna, localizada no Rio de Janeiro. O sistema de micro geração on-grid foi implementado para suprir a demanda de uma residência. As seguintes suposições foram adotadas para a análise:

- Local de instalação: Itaperuna – RJ.
- A instalação foi realizada em um telhado colonial.
- A categoria do cliente é de um Residencial Bifásico.
- A tarifa utilizada nos cálculos foi de R\$ 0,754/kWh.

A Figura 1 apresenta a média diária de irradiação do sol na cidade de Itaperuna em kWh/m².dia, que tem informações base para o desenvolvimento de dimensionamento do sistema.

Sendo assim, utilizou-se as contas de eletricidade do consumidor durante o período de um ano para que pudesse ser feito o dimensionamento correto do local. Esse somatório constituiu-se em um consumo de 3631(kWh) anual, mostrado na Tabela 1.

Figura 1 - Média Diária de irradiação de Itaperuna

Estação: Itaperuna
 Município: Itaperuna, RJ - BRASIL
 Latitude: 21,201° S
 Longitude: 41,949° O
 Distância do ponto de ref. (21,197229° S; 41,902815° O): 4,6 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal (kWh/m ² .dia)												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	6,18	6,37	5,23	4,58	3,85	3,60	3,71	4,52	4,92	5,23	5,12	6,03	4,94	2,77
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	21° N	5,60	6,08	5,35	5,12	4,65	4,55	4,59	5,26	5,21	5,10	4,74	5,40	5,14	1,53
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	19° N	5,67	6,13	5,38	5,09	4,59	4,47	4,53	5,21	5,20	5,14	4,79	5,48	5,14	1,65
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	24° N	5,48	5,99	5,33	5,15	4,73	4,64	4,68	5,32	5,21	5,05	4,65	5,27	5,12	1,34

Fonte: Cresceb, 2023.

Tabela 1 – Consumo e Valores de Unidade Consumidora.

Número	Leitura	Consumo (kWh)	Valor
1	11/11/2021	249	R\$ 332,07
2	13/12/2021	211	R\$ 273,33
3	11/01/2022	383	R\$ 534,54
4	11/02/2022	328	R\$ 473,79
5	15/03/2022	266	R\$ 341,17
6	13/04/2022	270	R\$ 387,89
7	13/05/2022	259	R\$ 327,88
8	14/06/2022	283	R\$ 331,11
9	14/07/2022	327	R\$ 363,84
10	12/08/2022	360	R\$ 388,70
11	14/09/2022	344	R\$ 388,22
12	14/10/2022	351	R\$ 420,92
Total		3631	R\$ 4.563,46

Fonte: ENEEL, Novembro (2023).

De acordo com os dados do (CRESESB), a irradiação do sol média diária na cidade de Itaperuna é de 5,12 quilowatts-hora por metro quadrado dia (kWh/m² dia), considerando-se o maior mínimo mensal. Os módulos foram instalados em telhado colonial apontados para o norte com a inclinação de 21°, sendo possível obter o melhor aproveitamento da irradiação. Para o cálculo da irradiação média anual local utilizou-se a Equação 1.

$$HSP = \frac{IR}{K} \quad (1)$$

Onde:

HSP: Horas de Sol Pleno, em horas/dia;

Ir: Irradiação Solar Média Diária, em kWh/m² dia;

k: Taxa Constante de 1 kW/m².

$$HSP = \frac{5,12 \frac{kWh}{m^2}}{1 \frac{kW}{m^2}} = 5,12 \text{ h. dia}$$

Nos dados apresentados na figura 1, a cidade onde o sistema foi instalado tem uma incidência de irradiação muito alta e registrou uma média de 5,12 horas de sol pleno. Conforme a indicação da equação 2, é possível seguir com o cálculo da Potência de Pico. É necessário, portanto, para que o sistema seja dimensionado corretamente, considerar todas as perdas que estão englobadas como, por exemplo, perdas por sujeira na superfície do módulo, eficiência do inversor, carregamento do inversor, perdas por queda de tensão devido à resistência dos conectores e dos cabeamentos, temperatura operacional, inclinação do telhado, degradação desigual dos módulos, entre outros. Sendo assim, é recomendado considerar uma perda total de eficiência em torno de 20% (PINHO; GALDINO, 2014). Diante disto, o sistema fotovoltaico foi dimensionado com 80% de taxa de desempenho e com uma média mensal de 550kWh.

$$P_p = \frac{\left(\frac{C_m - T_m}{TD}\right)}{HSP * 30} \quad (2)$$

Onde:

P_p : Potência de Pico do Sistema (kWp);

C_m : Consumo Médio Mensal (kWp);

T_m : Taxa mínima de Energia (kWp);

Td: Taxa de Desempenho;

HSP: Horas do Sol Pleno.

$$P_p = \frac{\left(\frac{550 - 50}{0,80}\right)}{5,12 * 30} = 4,069 \text{ kWp}$$

Na presente análise, de acordo com a Resolução nº 414 de 2010 da (ENEEL, 2010) o consumidor do grupo b com a categoria de serviço bifásico tem tarifa mínima correspondente de 50 kWh por mês. É necessário ao dimensionar o sistema fotovoltaico, subtrair o valor da tarifa mínima de 50 kWh do consumo médio mensal do consumidor 550 kWh (ENEEL, 2010), conforme cálculo da potência máxima na equação 2.

Dimensionamento dos módulos solares

Desse modo, com os dados referentes da máxima potência, calcula-se a quantidade de módulos fotovoltaicos solicitado para que atenda a demanda pretendida, através da Equação 3. Nesta análise foram utilizados módulos com potência máxima de 460 watts.

$$n = \frac{P_p}{P_{ps}} \quad (3)$$

Onde:

n: Número de Módulos Solares;

P_p : Potência de Pico do Sistema;

P_{ps} : Potência Máxima do Módulo Solar.

$$n = \frac{4,069}{550} = 9,02 \text{ módulos}$$

A Figura 2 apresenta o sistema fotovoltaico instalado, com deslocamento azimutal para o norte geográfico, objetivando uma maior captação e absorção da irradiação solar.

Figura 2 - Sistema de Energia Solar.



Fonte: Autor, 2023.

Tendo-se optado pela instalação de 9 módulos fotovoltaicos, a potência máxima do sistema será calculada conforme exibido na equação 4:

$$P_p = n \times P_{ps} \quad (4)$$

Onde:

P_p : Potência de Pico do Sistema;

n : Número de Módulos Solares;

P_{ps} : Potência máxima do Painel Solar.

$$P = 9 \times 460 = 4,14 \text{ kWp}$$

Com o objetivo de otimizar o desempenho do sistema fotovoltaico e baseado nas informações técnicas disponibilizadas pelos fabricantes dos módulos fotovoltaicos e dos inversores, utilizou-se no projeto um inversor de 4 kW da marca BelEnergy. Portanto, o sistema fotovoltaico será composto por 9 painéis fotovoltaicos monocristalinos de 460W e 1 inversor de 4kW.

Com isso, a usina instalada é capaz de suprir a média mensal de energia necessária (450 kWh) para atender à demanda do cliente.

A partir do dimensionamento proposto, no desenvolvimento da análise sobre os materiais, obteve-se informações importantes sobre o inversor Belenergy de 4kW. De acordo com a (Belenus, 2023) esse inversor tem 120 meses (10 anos) de garantia, valor estimado em R\$ 4.557,73. Uma foto do inversor instalado está apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Inversor Belenergy 4kW.

Fonte: Autor, 2023.

Componentes utilizados no Sistema Fotovoltaico

A partir do dimensionamento realizado, o orçamento dos equipamentos fotovoltaicos foi desenvolvido em colaboração com a EVOSOLAR, uma empresa especializada na implementação de equipamentos fotovoltaicos, conforme a Tabela 2. Além disso, foram levantados aspectos de serviços e equipamentos necessários para que a usina esteja em funcionamento. Na Tabela 3 apresenta-se um orçamento completo para a instalação do sistema fotovoltaico (EVOSOLAR, 2022).

Tabela 2 - Orçamento dos Equipamentos CC do Sistema de 4 kWp

ITEM	DESCRIÇÃO	QTD
1	Módulo Solar Fotovoltaico Monocristalino Half Cell 460Wp – Módulo 120 Células 460W mono – Belenergy – MFVHO-MD-120-460W	9
2	Inversor de corrente monofásico 2mppt 220v 4KW BELENERGY PLUS	1
3	Ac Box-Clamper- 16 ^a	1
4	Perfil Regular Smart 3,3m – Pelétrica	7
5	Grampo Terminal Smart 30/35/40mm Pelétrica	8
6	Junção U 14cm Alumínio – Pelétrica	14
7	Fita epdm Smart – Pelétrica	14
8	Suportes Ganchos Gancho	14
9	Porca p/ Cabeça de Martelo m8 inoxpar	12
10	Parafuso martelo Inox-inoxpar-m8 x25	12
11	Cabo PP classe 4 – 0,6/1kv – 3x6,0MM ²	55
12	Conector CA	4

Fonte: autor, 2023.

Tabela 3 - Orçamento da Usina de 4 kWp

Descrição	Valor
Equipamentos CC	R\$ 9900,00
Equipamentos CA	R\$ 1.000,00
Projeto	R\$ 500,00
Homologação	R\$ 800,00
Instalação	R\$ 2.400,00
Total	R\$ 15.400,00

Fonte: o autor (2023).

Viabilidade Econômica do Sistema

A análise da viabilidade econômica do sistema foi baseada nos dados apresentados na Tabela 4. Nesta tabela são exibidos os valores mensais de consumo, em kWh, e da conta de energia elétrica, em R\$ (reais).

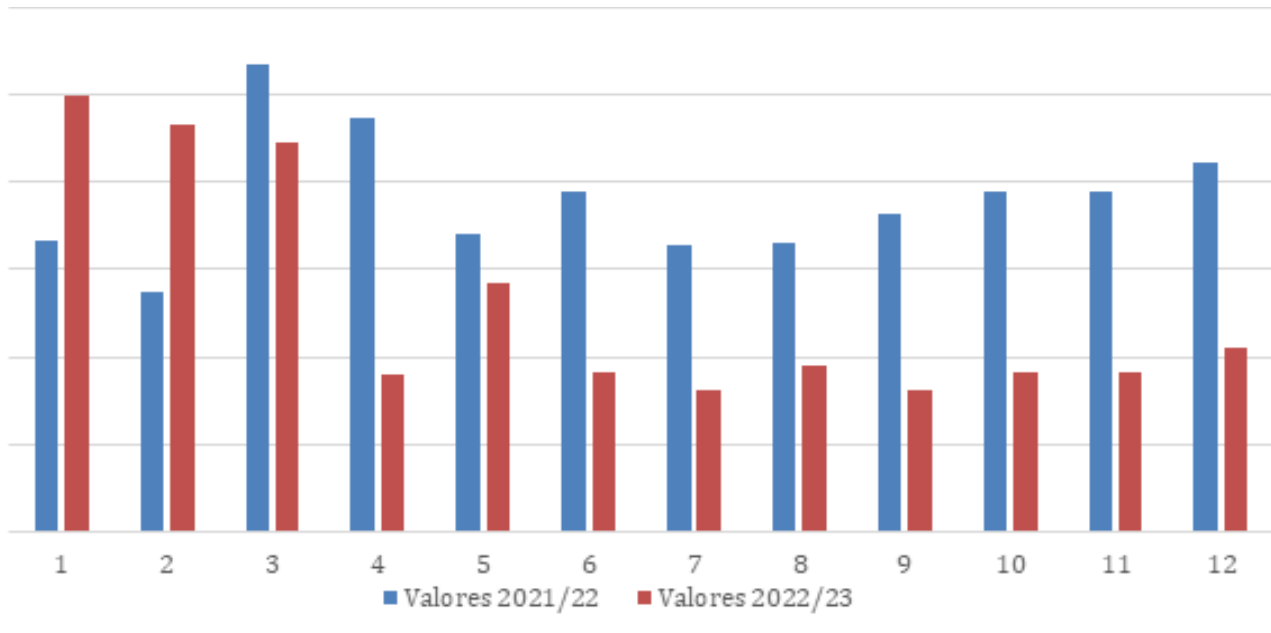
Tabela 4 - Consumo anual em kWh, valores e comparativos entre eles.

Mês	Ano 2021/2022 Consumo (kWh)	Ano 2022/2023 Consumo (kWh)	Valor Ano 2021/2022	Valor Ano 2022/2023
Novembro	249	410	R\$ 332,07	R\$ 498,07
Dezembro	211	410	R\$ 273,33	R\$ 464,32
Janeiro	383	371	R\$ 534,54	R\$ 444,35
Fevereiro	328	364	R\$ 473,79	R\$ 178,53
Março	266	506	R\$ 341,17	R\$ 283,53
Abril	270	380	R\$ 387,89	R\$ 182,32
Mai	259	284	R\$ 327,88	R\$ 161,90
Junho	283	200	R\$ 331,11	R\$ 190,03
Julho	327	201	R\$ 363,84	R\$ 161,03
Agosto	360	238	R\$ 388,70	R\$ 182,65
Setembro	344	320	R\$ 388,22	R\$ 182,65
Outubro	351	448	R\$ 420,93	R\$ 210,89
Total	3631	4132	R\$ 4.563,47	R\$ 3.140,27

Fonte: Autor, 2023.

O gráfico apresentado na Figura 4, exibe de forma comparativa (antes e depois da instalação do sistema fotovoltaico) o comportamento do consumo de energia elétrica do cliente através do valor de sua fatura de energia elétrica. Nota-se que após a instalação do sistema fotovoltaico, no ano de 2022, tem-se uma pequena oscilação nos valores, o cliente consumiu mais do que ele contratou e os valores vieram mais alto, mas logo após esses dois meses de calor intenso o gráfico se normalizou mantendo a tendência de consumo e uma média constante até completar um ano de instalação.

A Tabela 4, exibe o valor da fatura de energia elétrica mensal após a instalação do sistema fotovoltaico, tendo como valor médio R\$ 102,48. Já a Tabela 5, exibe o valor da fatura de energia elétrica mensal antes da instalação do sistema fotovoltaico, tendo como valor médio R\$ 380,29.

Gráfico 2 - Comparativos de gastos em 2021/22 e 2022/23

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 4 - Conta de Energia após Instalação do sistema

Número	Leitura	Consumo (kWh)	Valor
1	12/11/2022	203	R\$ 97,75
2	13/12/2022	212	R\$ 99,10
3	12/01/2023	174	R\$ 90,36
4	10/02/2023	140	R\$ 69,88
5	14/03/2023	144	R\$ 82,93
6	13/04/2023	175	R\$ 90,04
7	15/05/2023	190	R\$ 88,94
8	15/06/2023	215	R\$ 99,97
9	13/07/2023	152	R\$ 88,60
10	14/08/2023	129	R\$ 142,13
11	14/09/2023	146	R\$ 182,65
12	16/10/2023	219	R\$ 97,42
Total		2099	R\$ 1.229,77

Fonte: Autor (2023).

Tabela 5 - Conta de energia antes da instalação do sistema.

Número	Leitura	Consumo (kWh)	Valor
1	11/11/2021	249	R\$ 332,07
2	13/12/2021	211	R\$ 273,33
3	11/01/2022	383	R\$ 534,54
4	11/02/2022	328	R\$ 473,79
5	15/03/2022	266	R\$ 341,17
6	13/04/2022	270	R\$ 387,89
7	13/05/2022	259	R\$ 327,88
8	14/06/2022	283	R\$ 331,11

9	14/07/2022	327	R\$ 363,84
10	12/08/2022	360	R\$ 388,70
11	14/09/2022	344	R\$ 388,22
12	14/10/2022	351	R\$ 420,92
Total		3631	R\$ 4.563,46

Fonte: Autor (2023).

O cálculo da economia gerada devido a instalação do é realizada através da subtração da média dos valores antes da instalação pela média dos valores depois da instalação, ou seja, R\$.

Segundo FM2S (2020), o payback é o tempo necessário para que se recupere o valor investido, ou seja, caracteriza-se como o tempo necessário para que o custo do projeto comece a dar lucro para o investidor. Deste modo, calcula-se o valor do investimento da usina sendo descontado anualmente o valor referente à economia do cliente (PORTAL SOLAR, 2022). Portanto, o payback deste projeto será o valor total do projeto (R\$ 15,400.00) dividido pelo resultado da economia mensal (R\$ 277,81), ou seja, 56 meses.

Na sequencia da análise calculou-se o custo do investimento conforme a Equação 7 e considerando-se 25 anos de vida útil, tempo de garantia que a (BELENERGY, 2021) oferece, o valor do investimento da instalações do sistemas teve um custo de R\$ 38,88Wp, incluindo-se módulos, instalação, homologação, projeto, acessório, inversores entre outros.

$$I = Pt \times C \quad (7)$$

Onde:

I: Investimento;

Pt: Potência Nominal Total do Sistema (Wp);

C: Custo do Sistema (R\$/Wp).

$$I = 4,00 \times 3,88 = R\$ 15,400.00$$

O próximo passo é o cálculo do balanço econômico. Para estimar os benefícios, é necessário calcular o valor produto na quantidade de energia gerada pelas tarifas de energia elétrica estimada no ano, conforme exibido na Equação 8. Através dessa equação é possível achar o benefício da economia anual do consumidor, ou seja, o quanto ele vai economizar em sua conta de eletricidade. De acordo com a ANEEL Rio de Janeiro (2018), considerou-se R\$ 0,754 / kWh para o valor da tarifa convencional de energia elétrica,

obtendo-se um benefício econômico anual de .

$$B = C_{mensal} \times Trf \times 12 \quad (8)$$

Onde:

B: Benefício Econômico Anual;

C_{mensal}: Energia Consumida no mês (kWh);

Trf: Tarifa de Energia Elétrica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo analisar amplamente a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico de 4kWp para uma residência em Itaperuna/RJ.

A análise detalhada do consumo de energia permitiu compreender os padrões de consumo da residência, identificando os momentos de maior demanda e as necessidades energéticas específicas. Com base nos resultados da análise supracitada foi projetado e implementado um sistema fotovoltaico com capacidade de geração de energia elétrica de 4 kWp, selecionando os componentes adequados, como módulos fotovoltaicos, inversores, strings, estruturas e cabos.

O orçamento detalhado apresentado permitiu uma visão clara dos custos envolvidos na implementação do sistema solar fotovoltaico, incluindo os materiais, a instalação e a manutenção. Além da justificativa ambiental e da econômica anual, ressaltam-se ainda como benefícios da energia solar fotovoltaica, a redução das emissões de gases de efeito estufa e a independência em relação às fontes não renováveis de energia.

Os resultados revelaram ainda que o projeto da implantação de energia solar fotovoltaica como uma alternativa para a redução de custos e de diversificação energética é viável para o período analisado, considerando as manutenções e garantias dos produtos.

Conclui-se que, além de reduzir os custos e trazer uma viabilidade econômica favorável, a energia solar, é uma das fontes renováveis mais importantes dentre as que existem, pois analisando aspectos ambientais e sustentáveis, a implementação desse sistema fotovoltaico gera benefícios incomparáveis para o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

MUNDO EDUCAÇÃO. Consumo de Energia Elétrica. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/matematica/consumo-energia-eletrica.htm>. Acesso em: 30 jun. 2023.

CEPAL - COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE. Cresce o consumo de energia no setor de transporte na região. Disponível em: <https://www.cepal.org/pt-br/noticias/cresce-o-consumo-energia-setor-transporte-regiao>. Acesso em: 30 jun. 2023.

GOUEVELLO, Christophe; Roberto Schaeffer, D.Sc; Alexandre Szklo, D.Sc. Cenário de Baixa Emissão de Carbono no Brasil: Enera. CETESB Disponível em: Acesso em: 12 de novembro 2010

YERGIN, D. A Busca. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2014.

BASHIR. Comparative study of the photovoltaic behavior of ruthenium and the other organic and inorganic Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC), 2018.

Kannan, N. and Vakeesan, D. Solar Energy for Future World: A Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62, 1092-1105. (2016).

Holdermann, C., Kessel, J. and Beigel, J. Distributed Photovoltaic Generation in Brasil: An Economic Viability Analysis of Small-Scale Photovoltaic Systems in the Residential and Commercial Sectors. Energy Policy, 68, 612-617. (2014).

ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília: Resolução Normativa nº 482/2012, 17 de Abril de 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>. Acesso em: junho de 2013.

ANEEL. "Resolução Normativa n.º 687, de 17 de abril de 2015". Brasília, 2015.

SCHMELA, M. Global market outlook for solar power: 2016-2020. Brussels: SolarPower Europe, 2016.

PORTAL SOLAR, 2018. Energia solar fotovoltaica em 2018. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-fotovoltaica-em-2018>.

ABSOLAR, 2018. Energia Solar Cresce 134,97% A mais no Primeiro Trimestre de 2019 do que em 2018. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-cresce-13497-a-mais-no-primeiro-trimestre-de-2019-do-que-em-2018/>.

PORTAL SOLAR, 2023. Energia Solar no Brasil. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil.html>.

JMECOSOLAR, 2023. Cabo Solar 1.8KV flexível para sistemas fotovoltaicos em aplicações fixas e flexíveis sem tração. Disponível em: <https://www.jmecosolar.com.br/cabo-solar-fotovoltaico->.

GOLDEMBERG, JOSÉ. Energia e desenvolvimento. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40141998000200002>.

Solaris Energia. Energia Solar no Brasil. Disponível em: <https://solarisenergia.eco.br/energia-solar-no-brasil>.

Raízen. Power e Sustentabilidade da Raízen. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/blog/matriz-energetica-brasileira>.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo, SP: Atlas, 2002.

CSR, Energia Solar. Origem do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. Disponível em: <http://www.csrenergiasolar.com.br/blog/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede---sfcr-on-grid>. Acesso em: 22 de Setembro de 2023.

LEGISWEB. Resolução Normativa ANEEL Nº 414 DE 09/09/2010. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=112868>.

PORAL SOLAR. Tudo Sobre Manutenção do Pannel solar e do Sistema Fotovoltaico. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tudo-sobre-a-manutencao-do-pannel-solar>.

ALDO.BLOG. Quando duram os inversores residenciais? Disponível em: <https://www.aldo.com.br/blog/quanto-duram-os-inversores-residenciais/>.

PORTAL SOLAR. Cálculo de energia solar: Como Calcular? Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-como-calcular>.

CONSELHO FEDERAL DE CONTABILIDADE. TAXA SELIC 2022/2023. Disponível em: <https://cfc.org.br/desenvolvimento-operacional/taxa-selic/>.

MACEDO, Joel de Jesus. *Análise de projeto e orçamento empresarial* [livro eletrônico]/Joel de Jesus Macedo, Ely Celia Corbari. – Curitiba: InterSaberes, 2014. (Série Gestão Financeira).

Uso de agregado basáltico reciclado em pavimentos drenantes moldados *in loco*

Marcele Rockenbach Neutzling

Acadêmica do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Santa Catarina, Campus. Criciúma

Marcelo Adriano Duarte

Engenheiro civil, doutor, docente do Núcleo de Construção Civil do IFSC Campus Criciúma, SC

Lucas Hlenka

Eng. Civil. Mestre. Curso de edificações. IFSUL. Campi Pelotas, RS

RESUMO

A demanda mundial por recursos naturais para construção civil tem sido cada vez mais alta devido a aceleração das economias e demandas por obras de infraestrutura e residenciais. Neste sentido a reciclagem de matéria prima deve estar no mesmo ritmos para existem construções sustentáveis. Neste estudo verificou-se a viabilidade do uso de resíduos da construção civil (RCC) como agregado reciclado de concreto (ARC), para produção de concreto permeável para fins de pavimento drenante, para isso foi realizado ensaios laboratoriais de caracterização mecânica (resistência à compressão axial simples) e condutividade hidráulica). Foram produzidas três diferentes misturas com variação do tipo de agregado entre brita natural e ARC (40 e 10% do total de agregados). O material ARC adicionado a 40% apresentou valores de condutividade hidráulica na ordem de 0,14 cm/s superando o material natural (vendido no mercado de materiais), indicando que é um material com boa capacidade drenante. Em relação às características mecânicas, o material apresentou resistência à compressão axial simples na casa de 7 MPa, aproximadamente, apontando que o material atende a norma ABNT NBR 16416/2015 que exige 2,0 MPa para concretos drenantes moldados *in loco*. A análise global de resultados de laboratório permite concluir que é tecnicamente viável, e ambientalmente desejável, o emprego de agregados de concreto reciclado na produção de concreto permeável, podendo assim ser utilizado como revestimento de pavimentos drenantes para áreas de veículos leves.

Palavras-chave: agregado reciclado. RCC. concreto permeável. pavimento drenante.

INTRODUÇÃO

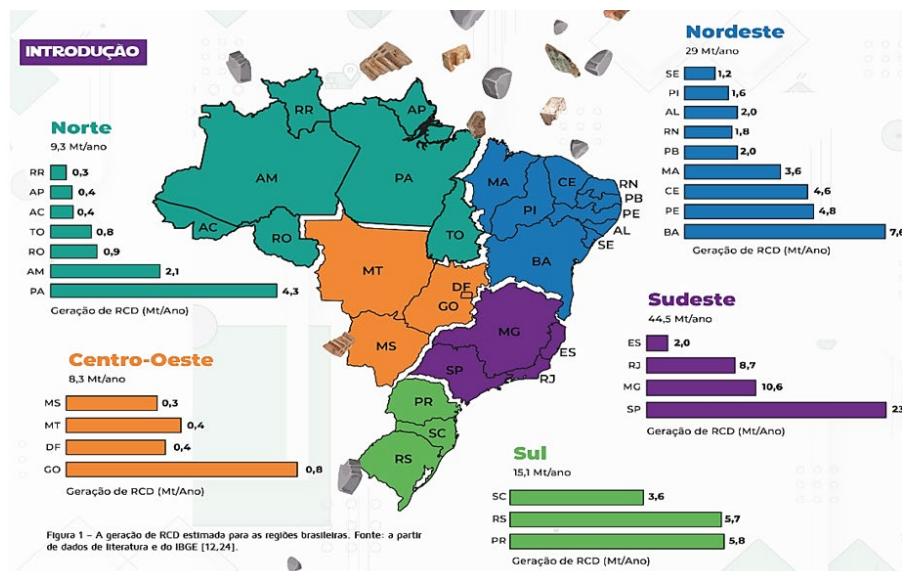
A acelerada urbanização no Brasil traz significativos problemas



de infraestrutura como: necessidade de sistemas de abastecimento de água, de coleta e tratamento de esgoto, mobilidade urbana além da ocupação desordenada do solo, gestão de resíduos, saneamento básico, dentre outros. Dentro deste contexto, ainda deve-se levar em conta aspectos como a impermeabilização solo, drenagem de águas pluviais, tratamento e destinação adequada de resíduos urbanos (VIDAL, 2014).

A geração de Resíduo da Construção Civil (RCC) no Brasil continua ainda sendo um problema ambiental. Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (2021), em 2020 a coleta de RCD (Resíduo da Construção e Demolição) teve um crescimento de 5,5%, representando cerca de 47 milhões de toneladas, ou seja 221,2 Kg habitante/ano. Tendo em vista que ao longo da vida útil de habitações e obras de infraestrutura, as reformas e demolições são essenciais para manter o uso destas edificações. A Figura 1 apresenta, segundo Pesquisa Setorial da Abrecon, a geração de RCD estimada para as regiões brasileiras (ABRECON, 2022).

Figura 1- Geração de RCD estimada para as regiões brasileiras.



Fonte: (ABRECON, 2022)

Quando o RCC é depositado em vias públicas eles podem ser levados pelas chuvas e assim contaminar o lençol freático, entupir bueiros e galerias de águas pluviais, causando enchentes que podem causar doenças como leptospirose gerando elevados custos públicos. Para tornar viável a reciclagem dos resíduos da construção, os mesmos devem ser gerenciados corretamente, reduzindo pontos de descarte clandestinos de entulho e reduzindo significativamente o uso de matérias primas naturais (ABRECON, 2022).

Na região de Criciúma, como em qualquer outro município brasileiro, não é difícil encontrar resíduos da construção civil depositados de forma irregular nas vias urbanas. Zonas periféricas das cidades com proximidade a matas, rios e terrenos são locais onde estes detritos são normalmente depositados. A Figura 2, exemplifica o descarte de resíduos sólidos de construção civil inadequado em via pública no município de Criciúma.

Figura 2 - Descarte de resíduos de construção em via pública.

Fonte: Autor (2023).

Diversos estudos apontam possibilidades de uso como camada estrutural de pavimentos, especialmente em vias de baixo/médio tráfego (Strieder, 2021 *apud* Sangiorgi *et al.*, 2015; Cardoso *et al.*, 2016) Alguns pesquisadores destacam que o agregado reciclado pode ser utilizado no concreto (Strieder, 2021 *apud* Ismail *et al.*, 2017).

A principal justificativa desta pesquisa foi produzir um concreto permeável que proporcione preservação das jazidas naturais e menor impacto ambiental através do reaproveitamento dos resíduos gerados na construção civil. Para isso foi testado o uso de RCC em substituição parcial do agregado natural. Usando o RCC evita-se que estes sejam descartados de forma inadequada nas vias públicas e em outros espaços do ambiente e ainda se reduz a demanda por agregados de origem natural.

O concreto permeável tem por finalidade pavimentos drenantes, este tipo de pavimento auxilia a drenagem urbana, diminuindo enchentes e permitindo a infiltração da água no solo, podendo gerar conforto térmico para população urbana, a fim de amenizar a temperatura, neste contexto sugere-se para futuros trabalhos a análise do uso do pavimento drenante como alternativa para melhoria do microclima urbano.

Nesse contexto, assim como Strieder (2021), nesta pesquisa visou-se a busca por uma alternativa conjunta aos problemas urbanos relacionados à impermeabilização do solo, à disposição inadequada de resíduos e ao esgotamento das fontes de recursos naturais. Estes temas enquadram-se como instrumento para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), em atendimento às metas dos Objetivos 6, 9, 11, 12 e 13, que se referem à implementação de políticas e planos para a eficiência dos recursos naturais, que buscam o incentivo do reuso da água, construção de infraestruturas sustentáveis, uso eficiente dos recursos naturais e o emprego de medidas para combater mudanças climáticas e seus impactos nas comunidades (ONU, 2015).

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Resíduos de Construção Civil (RCC)

As nomenclaturas Resíduos da Construção e Demolição (RCD) e Resíduos da Construção Civil (RCC), têm sido empregadas no meio acadêmico com o intuito de designar os resíduos sólidos nas atividades de construção e demolição, também conhecidos popularmente como “entulhos” (Moraes, 2006 *apud* Vidal, 2014).

A demanda por materiais de construção e a produção de resíduos da construção civil vem crescendo nas últimas décadas (Matias *et al.*, 2013 *apud* Lima, 2018). Esses aspectos causam impactos ao meio ambiente. Descartando de forma irregular os resíduos de construção e demolição, os mesmos originam riscos à saúde do ser humano e podem afetar o lençol freático pelo fato de conterem poluentes e substâncias nocivas, além disso as construções demandam extração de matéria prima de fontes não renováveis (Lima, 2018).

A quantidade de resíduos de demolição gerados na União Europeia, em média, é de uma tonelada per capita, e o total dos RCC produzidos chegam a aproximadamente 450 milhões de toneladas por ano. Os resíduos provenientes de movimentação de terra como escavação de solo e construção de estradas podem chegar a cerca de 180 milhões de toneladas por ano. Resíduos gerados em edificações podem chegar em torno de 270 milhões de toneladas por ano, destes apenas 28% são reutilizados ou reciclados, o restante, 72%, ou seja, 130 milhões de toneladas são destinados a aterros sanitários ou incinerados.

De acordo com a Resolução Nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), define-se agregado reciclado como: “material granular derivado do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia”.

Classe A: são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplenagem;
- b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações, como os componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

Esses resíduos gerados nas construções de edificações poderão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou conduzidos a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir o seu emprego ou reciclagem futura.

Classe B: são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

Classe C: são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação;

Classe D: são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Uso do agregado reciclado no concreto permeável

Strieder (2021), explica que a procedência do agregado reciclado, o processo de britagem e a composição da mistura interferem diretamente no desempenho do concreto permeável. Desta forma, a autora afirma que as propriedades mecânicas e hidráulicas da massa permeável estão relacionadas a dimensão máxima dos agregados reciclados e a distribuição granulométrica. Sendo que de modo geral os pesquisadores utilizam curvas granulométricas uniformes, com diâmetros variando entre 4,75 e 25mm, com exclusão de finos.

Através de análise microscópica de misturas permeáveis com agregado reciclado de concreto, pesquisadores apontam que a quantidade de pasta diminui consideravelmente à medida que aumenta a proporção de agregados reciclados na mistura e devido a esse aspecto, em geral, os agregados reciclados necessitam uma maior quantidade de pasta de cimento para produzir misturas com melhor trabalhabilidade (Strieder, 2021).

Em sua pesquisa, Strieder (2021) aponta a presença de argamassa que envolve o grão de agregado seja uma das principais causas para a redução do desempenho mecânico das misturas recicladas. Através de análise microscópica foi verificado que o caminho de falha está presente na ligação entre agregado e argamassa aderida (Strieder, 2021 *apud* Yap *et al.*, 2018).

A condutividade hidráulica está diretamente relacionada a fatores como tamanho e forma do agregado, relação água/cimento, proporção cimento: agregado, quantidade de finos, entre outros. A angularidade do agregado reciclado causa redução da trabalhabilidade, dificuldade de adensamento e aumento dos vazios da mistura podem contribuir para melhor condutividade hidráulica (Strieder, 2021). Ainda elevada porosidade do agregado reciclável favorece a condutividade hidráulica, pois há uma maior rede de poros que permite a infiltração da água através do concreto permeável (Strieder, 2021 *apud* Yap *et al.*, 2018).

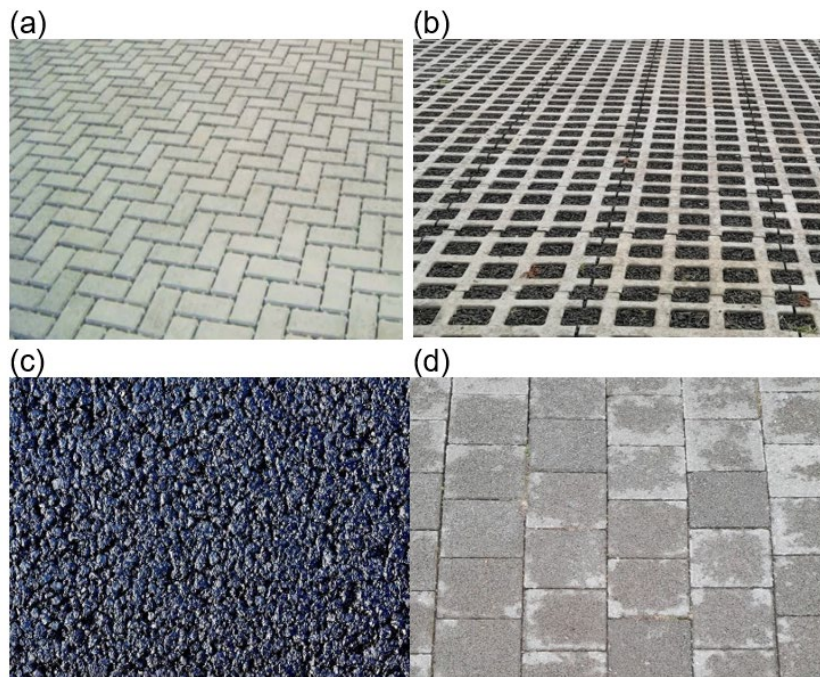
Pavimento drenante

A Norma ABNT/NBR 16416/2015 - Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos define pavimento permeável como pavimento que atende simultaneamente às solicitações de esforços mecânicos e condições de rolamento e cuja estrutura permite a percolação e/ou a concentração temporária de água, diminuindo o escoamento superficial, sem causar deterioração a estrutura.

Existem quatro tipos de revestimento para pavimentos permeáveis: cuja percolação da água é realizada pelas juntas alargadas (a); revestimento de peças de concreto com áreas vazadas (b); revestimento de concreto permeável moldado no local (c); e, por fim, revestimentos constituídos por placas de concreto permeável (d). Estes revestimentos são

ilustrados na Figura 3 (NBR 16416, 2015).

Figura 3 - Tipos de revestimento para pavimentos permeáveis.



Fonte: NBR 16416 (2015) adaptada pela autora (2023)

O sistema de infiltração pode ser configurado de três diferentes formas em relação à água precipitada, para escolher o sistema deve-se levar em consideração o tipo de solo ou condicionantes de projeto. No sistema de infiltração total, toda água precipitada alcança o subleito e se infiltra (a); no sistema parcial parte da água precipitada alcança o subleito e se infiltra, porém parte da água fica temporariamente armazenada na estrutura permeável, sendo depois removida pelo dreno (b); já no sistema sem infiltração, a água precipitada fica temporariamente armazenada na estrutura permeável e não infiltra no subleito, sendo depois removida pelo dreno (c).

A espessura e a resistência mínima do revestimento permeável dependem do tipo de solicitação que ele irá sofrer. O quadro 1 apresenta as especificações que o material deve atender.

Quadro 1 - Especificações para aplicação dos revestimentos de acordo com o tipo de tráfego.

Tipo de Revestimento	Tipo de Solicitação	Espessura mínima	Resistência mecânica característica	Método do Ensaio
Peça de Concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de pedestres	60	$\leq 35,0$	NBR 9781
	Tráfego leve	80		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60	$\leq 20,0$	NBR 15805
	Tráfego leve	80		
Placa de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60	$\leq 2,0$	
	Tráfego leve	80		
Concreto permeável no local	Tráfego de pedestres	60	$\leq 1,0$	NBR 12142
	Tráfego leve	100	$\leq 2,0$	

Fonte: NBR 16416 (2015).

Condutividade Hidráulica

A condutividade hidráulica também denominada como permeabilidade, taxa de percolação ou coeficiente de permeabilidade é um dos parâmetros mais importantes do concreto permeável, uma vez que ela descreve a facilidade com que a água pode passar através da mistura (Strieder, 2021).

Na literatura são comumente utilizados dois métodos de medir a permeabilidade do concreto: parâmetro de carga variável e o parâmetro de carga constante. Ambos os métodos utilizam um permeâmetro, mas o que muda é o procedimento de ensaio (Strieder, 2021). Batezini (2013) observou que a maioria dos autores utilizam permeômetros de carga variável por serem mais práticos. Para este tipo de ensaio, mede-se o tempo para uma determinada coluna de água passar pela amostra. Já no permeômetro de carga constante, o sistema deve ser constantemente abastecido e é determinada a quantidade de água que passa pela amostra em um intervalo de tempo (NBR 13292, 1995; NBR 14545, 2000). A Figura 4 mostra uma das amostras de concreto permeável realizadas na presente pesquisa.

Figura 4 - Amostra do concreto permeável realizado na presente pesquisa.



Fonte: Autor (2023)

Batezini (2013), aponta que de acordo com conceitos básicos de mecânica dos solos, materiais com elevada permeabilidade, com k maior que $0,01 \text{ cm/s}$, é recomendado utilizar para determinação da condutividade hidráulica o ensaio de carga constante, onde a altura da coluna de água não varia. Quando se tem condutividade hidráulica muito baixas, deve-se utilizar o ensaio de carga variável, pois se tornaria inviável manter a carga constante por estes materiais, em função do tempo requerido para passagem da água pela sua estrutura.

Um dos principais problemas encontrados nos pavimentos de concreto permeável se dá em função da capacidade drenante, devido a selagem da camada de revestimento. Isto ocorre devido ao excesso de compactação da superfície durante o processo construtivo, assim os vazios ficam entupidos tornando o revestimento impermeável. Outro fator que pode interferir na permeabilidade do pavimento ao longo do tempo, se dá devido à incrustação de partículas de areia ou solo nos poros do revestimento de concreto, também denominada

colmatação (Batezini, 2013).

Objetivo do estudo

O trabalho teve como objetivo geral avaliar a viabilidade da utilização de agregados de concreto reciclado no concreto permeável para fins de pavimentos drenantes, através de critérios mecânicos e hidráulicos. Buscando complementar e subsidiar a análise, o Quadro 1 apresenta os objetivos específicos do pesquisa:

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente no item 2.1 será apresentado os materiais utilizados como agregados e sua caracterização, posteriormente o aglomerante mineral. Na sequência, no item 2.2 os métodos de ensaios utilizados nesta etapa da pesquisa.

Materiais

Neste item são apresentados os materiais utilizados na pesquisa, como agregado natural, agregado reciclado de concreto e o aglomerante mineral, Cimento Portland Composto com Pozolana (CP II Z 32), os materiais passaram por processos de caracterização e quantificação prévia.

Agregados

Natural

O agregado natural utilizado na pesquisa é de origem basáltica, comercialmente conhecido como pedrisco ou brita 0, fornecida pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil do IFSC campus Criciúma. Decidiu-se utilizar uma composição granulométrica disponível na maioria das pedreiras do Brasil, desta forma tende reduzir o preço da produção de concreto permeável. Este material foi devidamente preparado passando por processo de peneiramento prévio para retirada de impurezas, sendo utilizado apenas o material retido nas peneiras 6,3 mm e 4,75 mm, as frações maiores que 9,5 mm e as frações menores que 4,8 mm foram retiradas do peneiramento. A Figura 5 mostra o agregado natural utilizado na pesquisa.

Figura 5 - Agregado natural.



Fonte: Autor (2023)

Reciclado

Para substituição parcial do agregado natural, foi utilizado o agregado reciclado de concreto (ARC), conhecido também como RCC cinza. Este material foi disponibilizado pelo Laboratório de Materiais de Construção do IFSC, tendo como origem a fragmentação de um pilar, o qual seria descartado após demolição. O resíduo foi coletado e triturado por um britador de mandíbulas com abertura de, aproximadamente, 30 mm. Após a britagem, o material foi armazenado em tambores com tampas. A Figura 6 mostra o agregado reciclado utilizado na pesquisa.

Figura 6 - Agregado reciclado.



Fonte: Autor (2023)

Caracterização dos agregados

Foram estudadas três diferentes misturas com variação do tipo do agregado e percentual de mistura entre ambos. Na Figura 5, é apresentada a distribuição granulométrica do agregado natural e na Figura 6 apresenta a distribuição granulométrica do agregado reciclado.

Alguns materiais foram adquiridos e passaram apenas por processos de secagem e remoção de resíduos por peneiramento, caso dos agregados naturais.

A seguir, passa-se a descrição dos materiais, seus tratamentos empregados e métodos de produção de materiais e amostras.

Agregados

Agregados para concreto: Especificação. Também realizados ensaios segundo ABNT NBR NM 16972:2021: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios, para fornecer parâmetros para cálculo do consumo de materiais.

Foi utilizada material de origem basáltica (pedrisco).

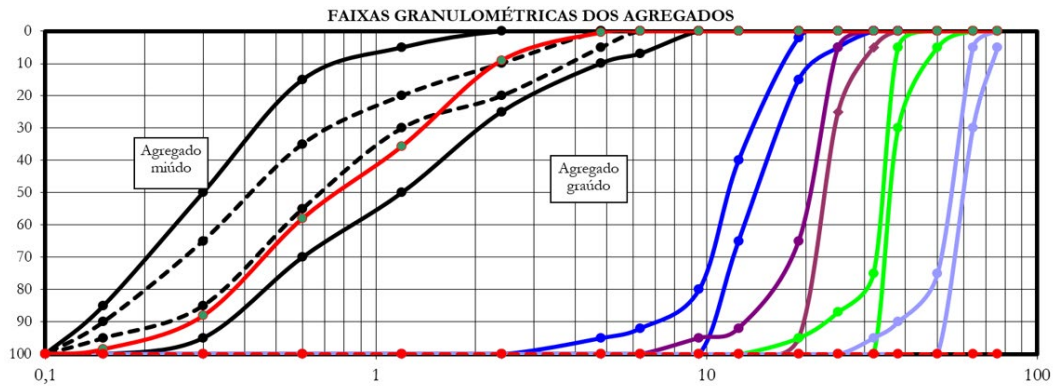
Tal procedimento foi necessário pois os corpos de prova para os ensaios de compressão foram adaptados em dimensões reduzidas para economia de material.

A análise granulométrica segue a curva abaixo, realizada conforme norma ABNT NBR NM ABNT NBR 17054 (2022)- Agregados - Determinação da composição granulométrica-

método de ensaio, conforme 25.

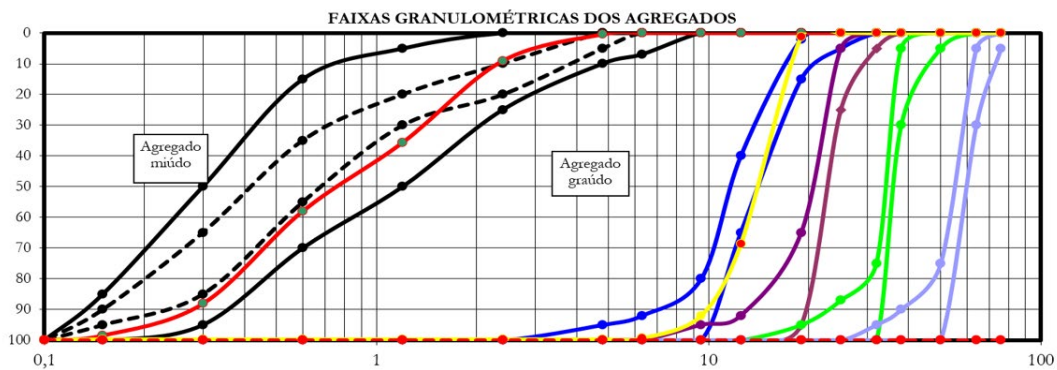
Tal procedimento foi necessário pois os corpos de prova para os ensaios de compressão foram adaptados em dimensões reduzidas para economia de material. A análise granulométrica segue a curva abaixo, realizada conforme norma ABNT NBR NM ABNT NBR 17054 (2022)- Agregados - Determinação da composição granulométrica- método de ensaio, conforme 25

Figura 8 - Distribuição granulométrica da Brita Natural.



Fonte: Autor (2023)

Figura 9 - Distribuição granulométrica do Agregado Reciclado.



Fonte: Autor (2023)

Aglomerante mineral

O cimento utilizado foi o Cimento Portland composto de material Pozolânico (CP II - Z) com classe de resistência a compressão de 32 MPa aos 28 dias de idade, contendo de 6 a 14% de pozolana, conforme a ABNT NBR 7215 (2019). Este material foi devidamente armazenado em recipiente que não reage com o cimento e vedado para que não houvesse hidratação. Este foi o cimento que o Laboratório de Materiais de Construção do IFSC disponibilizou para uso na pesquisa. Além disso, este cimento é utilizado para diversas aplicações e tem boa resistência a ambientes agressivos, podendo ser utilizado como argamassa assentamento e revestimento, concreto armado, calçadas e pavimentos de concreto.

O aglomerante mineral atende às especificações da ABNT NBR 16697 (2018) conforme a Quadro 2.

Quadro 2 – Cimentos brasileiros conforme norma ABNT NBR 16697 (2018).

Tipo	sigla	% de clínquer*	Composição (% em massa)		
			Escória de Alto Forno	Material Pozolânico	Filer Calcário
			E	Z	F
Comum	CP I	100	0	0	0
Composto	CP II-E	56 - 94	6 - 34	0	0 - 10
	CP II-Z	76 - 94	0	6 - 14	0 - 10
	CP II-F	90 - 94	0	0	6 - 10
Alto Forno	CP III	25 - 65	35 - 70	0	0
Pozolânico	CP IV	45 - 85	0	15 - 50	0
Alta Resistência Inicial	CP V - ARI	95 - 100	0	0	0 - 5
Branco	CPB	50 - 74	0	0	26 - 50
Branco Estrutural	CPB (25,32 e 40)	75 - 100	0	0	0 - 25

* já considera a adição de gesso

Fonte: NBR 16697 (2018)

Métodos

As misturas em estudo foram avaliadas através de ensaios de parâmetros hidráulicos, através da condutividade hidráulica, de propriedades mecânicas, através da resistência à compressão axial simples. A seguir, serão apresentados os métodos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa.

Procedimento de dosagem e produção

Método de dosagem

Assim como Batezini (2013), as dosagens realizadas na pesquisa foram definidas a partir da revisão da literatura, de modo que não existe procedimento documentado para dosagem de concreto permeável. Para avaliar qual seria a variação dos parâmetros de permeabilidade e resistência mecânica, optou-se por estudar três traços com variação do tipo de agregado. As proporções de cada dosagem são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 3 – Proporção dos traços.

Traço	Agregado Natural (%)	Agregado Reciclado (%)
1	100	-
2	60	40
3	-	100

Fonte: Autor (2023)

O consumo de cimento e agregado utilizados foram de 45,18 kg/m³ e 135,54 kg/m³, respectivamente, representando uma proporção cimento/agregado de 1:3. A Tabela 2 apresenta a quantidade de agregado necessária para produção de um copo de prova para cada um dos traços, sendo considerado uma margem de perda de 100%.

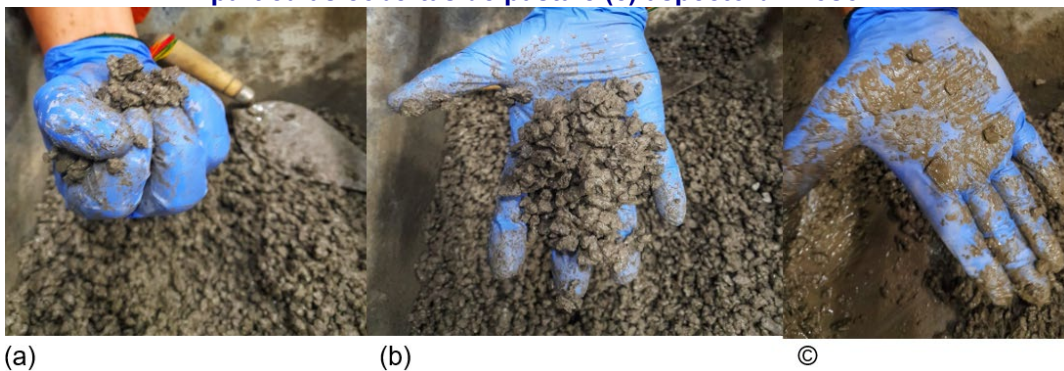
Tabela 2 - Consumo de material.

Traço	Agregado Natural (g)	Agregado Reciclado (g)
1	2.128,00	0,00
2	0,00	2.128,00
3	1.276,80	851,20
Total	3.404,80	2.979,20
Margem (100%)	6.809,60	5.958,40

Fonte: Autor (2023)

A quantidade de água foi ajustada para cada mistura em função da análise tátil-visual das misturas, conforme mostrado na figura 10. Para o teste de consistência do concreto permeável pegou-se uma parte da mistura com a mão utilizando uma luva e apertou-se a mesma com a mão, posteriormente soltou-se a massa e analisou-se o aspecto da pasta de cimento que ficou na luva, a consistência ideal foi quando a pasta apresentou brilho considerável sem que a pasta escorregasse pela superfície da luva.

Figura 10 - Ajuste da consistência do concreto permeável: (a) comprimindo na luva, (b) partículas cobertas de pasta e (c) aspecto brilhoso.

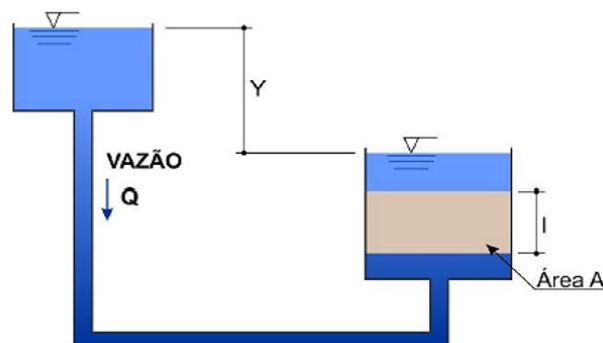


Fonte: Autor (2023)

Condutividade Hidráulica

O ensaio de condutividade hidráulica foi realizado considerando-se empregando um permeâmetro com carga constante como mostra a Figura 11. Foram realizadas três leituras e considerada a média para o cálculo do coeficiente de permeabilidade. O cálculo foi realizado a partir da Lei de Regime de Escoamento proposta por Darcy.

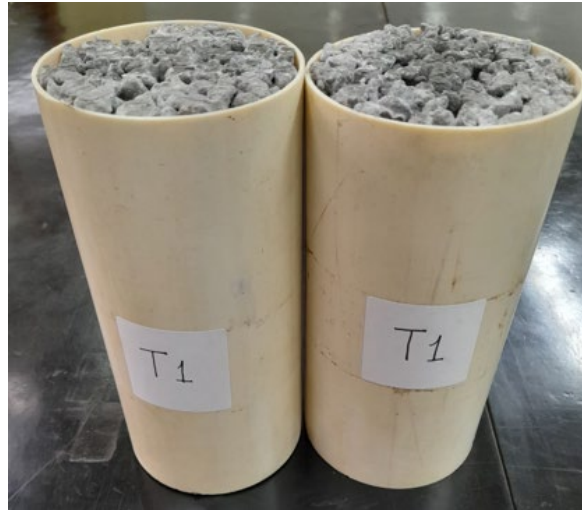
Figura 11 - Esquema de execução do ensaio de permeabilidade.



Fonte: Pinto (2011).

Para realização dos ensaios foi utilizado permeâmetro disponível no Laboratório Materiais e Solos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul -rio-grandense campus Pelotas. O equipamento utilizado é munido em sua parte inferior e superior por dois Cap de PVC onde o corpo de prova é posicionado. Com finalidade de facilitar o ensaio, os corpos de prova foram moldados em tubos de PVC de diâmetro de 100 mm, com altura de 20 cm, na Figura 12, apresenta o corpo de prova moldado no tubo de PVC, assim encaixando na base e no topo do equipamento. Na figura 13 é apresentado o permeâmetro utilizado.

Figura 12 -Corpos de prova moldados em tubo de PVC.



Fonte: Autor (2023).

Figura 13 -Permeâmetro de carga constante.



Fonte: Autor (2023).

Para o controle da coluna d'água foram realizadas inúmeras tentativas para

encontrar o nível constante, em função de ocorrer muita variação na velocidade d'água, portanto optou-se por utilizar a extravasão d'água entre o topo da bureta graduada (na imagem, a bureta encontra-se fixada num suporte de madeira fixado na parede) e a saída do tubo de entrada de água. Assim pode-se manter o fluxo laminar da água constante, não variando em função da velocidade do líquido.

O ensaio consistiu em posicionar a amostra entre os Cap de PVC, para que o Cap superior não soltasse em função da velocidade d'água, foi colocado pesos sobre a tampa. Em seguida, liberou-se o fluxo para que todo o sistema ficasse preenchido com água. A água de saída foi coletada em uma proveta graduada de 1.000 ml, cronometrando-se o tempo de coleta. De posse do volume e do tempo decorrido na coleta, foi possível determinar a condutividade hidráulica da amostra a partir da equação (1) a seguir.

$$k = \frac{Q \times L}{I \times A} \quad (1)$$

Onde:

k: condutividade hidráulica (cm/s);

Q: vazão (cm³/s);

L: altura da amostra (cm);

I: gradiente hidráulico. (I=Y/L Onde: L= altura da amostra Y=carga hidráulica);

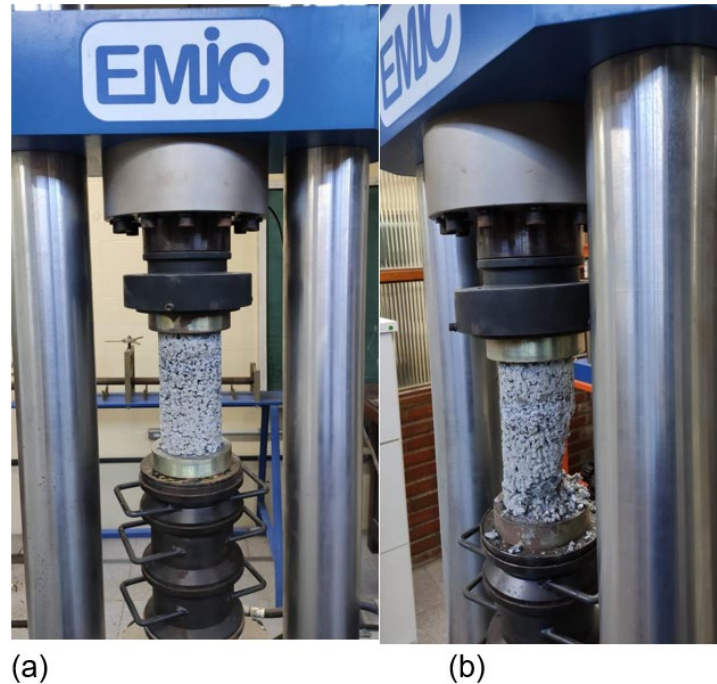
A: área da amostra onde flui a água (cm²)

Resistência à compressão axial simples

Os ensaios de resistência à compressão axial simples foram realizados seguindo a NBR 5739 (ABNT, 2018). O ensaio ocorreu no Laboratório Materiais e Solos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul -rio-grandense campus Pelotas, onde a prensa universal é uma máquina Emic DL20000. Para o capeamento dos corpos de prova utilizou-se Neoprene.

Foram produzidos corpos de prova cilíndricos com dimensões de 100 mm x 200 mm (diâmetro x altura) e os ensaios ocorreram após 28 dias de cura. A configuração do ensaio pode ser vista na figura 14. O resultado da resistência foi a média aritmética da resistência de três corpos de prova.

Figura 14 - Ensaio de resistência à compressão axial simples: (a) início do ensaio e (b) após a ruptura do corpo de prova.



Fonte: Autor (2023).

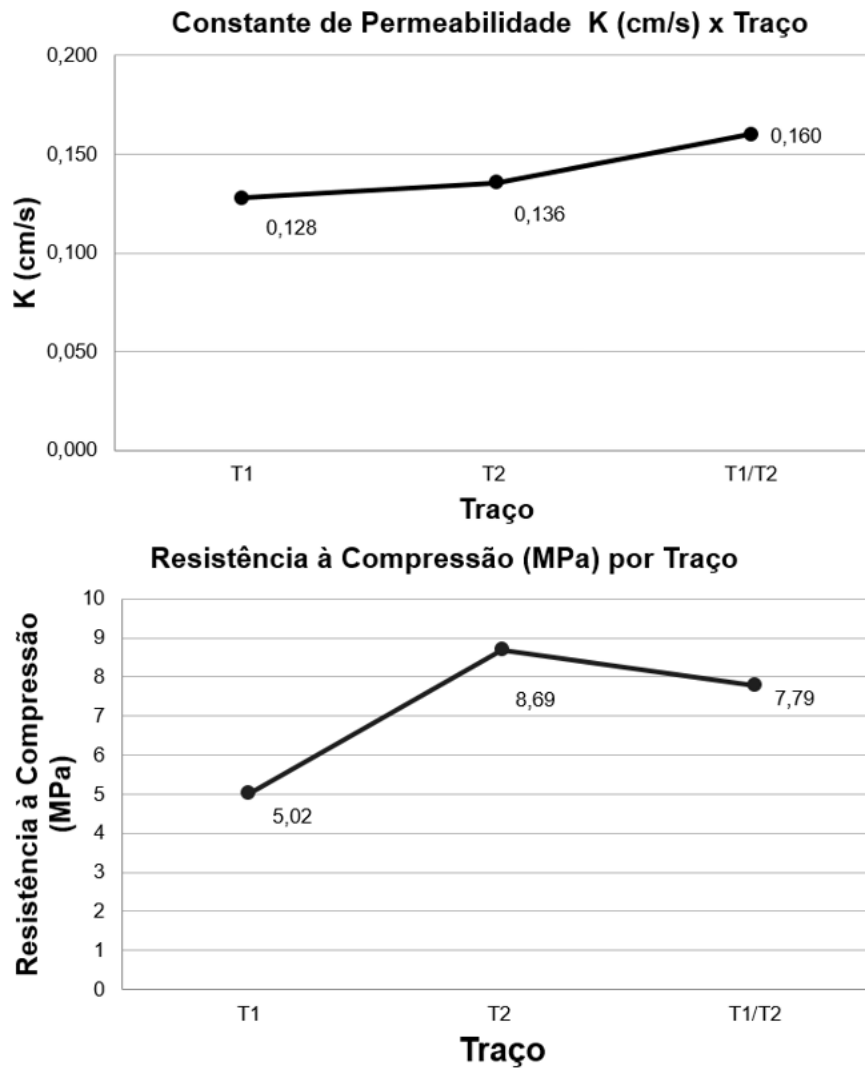
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme demonstrado nos gráficos de permeabilidade e resistência à compressão axial percebe-se que o traço t1/t2 foi o mais permeável e o traço de RCC puro foi o menos permeável.

Este efeito precisa ser detalhadamente explorado mas pelos outros trabalhos estudados verificou-se estes mesmos resultados e entende-se que o agregado reciclado possui variada presença de argamassas e ainda se pode se verificar a formatação dos grão mais variada em tamanho que resultou em fechamento dos poros maiores. Na condição do traço misto (t1/t2) verifica-se que existe a possibilidade de acomodação menos encaixada das partículas lamelares do agregado natural com as partículas mais esféricas do RCC desta forma restou espaços maiores entre as partículas da estrutura dos corpos de prova o que facilitou a passagem da água em maior velocidade.

Quanto a resistência à compressão verificou-se que o concreto com apenas agregado reciclado teve baixa resistência em função da maior demanda de água para a trabalhabilidade resultando em relação água cimento maior, já o traço misto (t1/t2) teve um resultado próximo ao concreto de agregado natural (T1). Esta constatação demonstra que é viável a substituição de agregado natural por RCC, com a vantagem de aumento da permeabilidade.

Todos os traços superaram a expectativa de um concreto de 5,0 MPa ainda que a norma exija para concretos moldados no local para pavimentos seja acima de 2,0 MPa.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que é possível, viável e vantajoso usar o RCC para concretos de pavimentos permeáveis moldados in loco e que o aparato usado foi eficiente para a medida da permeabilidade e que ainda é possível montar um aparato similar em canteiros de obras ou em pequenos locais e laboratórios para o controle da permeabilidade de concretos produzidos.

O uso do RCC combinado com o agregado natural não prejudicou a resistência mecânica no sentido de inviabilizá-la para fins de pavimentos drenantes. Mas sim o que percebeu-se ser bastante viável utilizá-lo implementando a permeabilidade e por consequência a drenagem e ainda garantindo a resistência mecânica recomendada por normas, tornando o pavimento viável, seguro e durável.

REFERÊNCIAS

ABRECON. **Associação brasileira para reciclagem de resíduos da construção civil e demolição** Disponível em: <<https://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/839>> acesso em 25 maio 2023.

ABREUPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021**. ABRELPE, Publicação: Dezembro de 2021, disponível em: <https://abrelpe.org.br/> Acesso em: 23 maio 2023.

ALENCAR, P. C. D. (2013). **Avaliação experimental do concreto poroso na atenuação do escoamento superficial em parcelas urbanizadas**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-152/2013, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 174p.

ASSOCIAÇÃO brasileira de normas técnicas. **ABNT NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015, 09 p. Disponível em: <<https://www.gedweb.com.br/home/ifsc>>. Acesso em: 18 nov. 2023.

_____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018, 09 p.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019, 12 p.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2022, 22 p.

_____. **NBR 13292**: Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante. Rio de Janeiro, 2021, 13 p.

_____. **NBR 14545**: Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável. Rio de Janeiro, 2021, 16 p.

_____. **NBR 15287**: Informação e documentação — Projeto de pesquisa — Apresentação. Rio de Janeiro, 2011, 08 p.

_____. **NBR 16416**: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015, 25 p.

_____. **NBR 16972**: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021, 06 p.

_____. **NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018, 12 p.

_____. **NBR 17054**: Agregados - Determinação da composição granulométrica - método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022, 05 p.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2001, 06 p.

BATEZINI, Rafael. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves**. 2013. 133 f. Dissertação (mestrado) - curso de engenharia de transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072013-155819/pt-br.php>>. Acesso em: 20 maio 2023.

CARDOSO, R.; SILVA, *et al.* **Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: A literature review**. Waste Management. Vol. 49, p. 131 – 145, 2016.

CARLS, Bruna. **Coeficiente de permeabilidade, resistência mecânica e durabilidade de**

concreto permeável dosado por três diferentes métodos. 2018. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2018.

DUART, M. A. **Concreto de cimento Portland [livro eletrônico]: materiais, princípios básicos e controle tecnológico.** 1. ed. 2020.

HELENE, P.R. L; ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland.** In: ISAÍÁ, G.C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais.** São Paulo: IBRACON, 2007. 2v. 1712 p.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica.** 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

LAMB, G. S. **Desenvolvimento e Análise do Desempenho de Elementos de Drenagem Fabricados em Concreto Permeável.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LIMA, Geannina Terezinha dos Santos. **Influência da substituição total e parcial do agregado graúdo natural por agregado reciclado nas propriedades do concreto permeável.** 2018. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/193493>>. Acesso em: 19 maio, 2023.

_____. **Metodologia científica.** São Paulo: Atlas, 2007.

_____. **Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos.** 7. ed., São Paulo: Atlas, 2007.

ORGANIZAÇÃO das nações unidas. **A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.** 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 19 nov., 2023.

PINTO, L. L. C. A. **O desenvolvimento de Pavimentos Permeáveis como Medida Mitigatória da Impermeabilização do Solo Urbano.** 2011. 256p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

CONAMA – **Conselho nacional do meio ambiente.** N0 307, 5/07/2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

STRIEDER, H. L. **Estudo do uso de agregados de concreto reciclado em concreto permeável para pavimentos.** 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, UFRGS, Porto Alegre.

VIDAL, Almir dos Santos. **Caracterização de concreto permeável produzido com resíduos de construção e demolição para utilização em pavimentação permeável em ambiente urbano.** Rio de Janeiro, 2014. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

Proposta de um sistema de aquecimento de água fotovoltaico e seus benefícios para o sistema elétrico nacional

Proposal for a photovoltaic water heating system and its benefits for the national electrical system

João Antônio Dornelas Machado

Graduando em Engenharia Elétrica

Rafael Lima de Oliveira

Mestre em Engenharia Elétrica

<http://lattes.cnpq.br/6212659806406513>

RESUMO

O trabalho a seguir trata da proposta de um projeto de aquecimento solar de água com a utilização de módulos fotovoltaicos em substituição aos já tradicionais painéis solares térmicos por circulação de água. Os principais objetivos serão demonstrar a maior eficiência do módulo fotovoltaico, a eliminação dos pontos negativos do sistema tradicional e a apresentação das vantagens da adoção desse sistema de aquecimento em substituição ao chuveiro elétrico, mostrando todos os benefícios para o sistema elétrico do país como um todo.

Palavras-chave: aquecimento solar. módulo fotovoltaico. chuveiro elétrico.

ABSTRACT

The following academic assignment deals with the proposal for a solar water heating project using photovoltaic modules to replace traditional solar thermal panels using water circulation. The main purposes of the project will be to show the bigger efficiency of the photovoltaic module, the elimination of the negative points of the traditional heating system and showing the advantages of the implementation of this water heating system as a substitute of the electrical shower, presenting all the benefits for the entire country electrical system.

Keywords: solar heating. photovoltaic module. electrical shower.



INTRODUÇÃO

Neste trabalho será proposto o desenvolvimento de um novo sistema de aquecimento de água central utilizando painéis fotovoltaicos de geração de eletricidade, em contraponto aos tradicionais sistemas de aquecimento solar com painéis térmicos de circulação de água.

Escopo do problema

Esse projeto vem para solucionar um problema já antigo dos sistemas de aquecimento solar que estão há algumas décadas no mercado, atualizar suas tecnologias e aumentar sua eficiência.

Isso representara uma diminuição dos custos de instalação, e praticamente zerar os custos de operação, tornando o sistema mais viável, acessível e inclusiva a residências de baixa renda, sendo bem mais barato que um sistema fotovoltaico completo, porém com maior eficiência que um sistema de aquecimento solar térmico.

Existem algumas limitações tecnológicas que precisarão ser contornadas, bem como sistemas de controle que precisarão ser desenvolvidos para o completo funcionamento desta proposta.

Porém esse projeto tem o potencial de servir como base para futuros projetos mais aperfeiçoados. É exatamente por esse motivo que foi decidido lançar essa trabalho de conclusão de curso como um artigo, pois dessa maneira após publicado, poderá ser acessado facilmente por um grande numero de pessoas que poderão contribuir com o seu aprimoramento.

Objetivo geral

O objetivo desse trabalho é o desenvolvimento de um sistema de aquecimento central de água, utilizando módulos fotovoltaicos como fonte de energia, apresentando diversas vantagens em relação ao sistema de aquecimento solar térmico tradicional, possibilitando assim operar em dias nublados e em horário noturno, através de uma reserva de energia em um banco de baterias. Além disso, o sistema proporcionará maior controle do aquecimento ao longo do dia, e menor custo de instalação.

Objetivos específicos

- Aumentar a eficiência dos sistemas de aquecimento de água;
- Diminuir os custos de instalação e operação;
- Aumentar o controle sobre o aquecimento da água ao longo do dia e da noite;
- Apresentar a grande ineficiência do chuveiro elétrico em comparação com o sistema de aquecimento fotovoltaico, e justificar a importância de seu uso ser desestimulado.

Justificativa

O chuveiro elétrico, amplamente utilizado no Brasil, apresenta algumas desvantagens e perigos significativos que merecem ser discutidos. Além disso, o seu uso massivo tem impactos negativos no sistema elétrico brasileiro.

Uma das principais desvantagens do chuveiro elétrico é o alto consumo de energia. Esse aparelho consome uma quantidade considerável de eletricidade para aquecer a água, o que pode resultar em um aumento significativo na conta de energia elétrica. Especialmente em períodos de alta demanda, como durante o inverno, o uso generalizado de chuveiros elétricos sobrecarrega o sistema elétrico, levando ao aumento dos custos de geração e distribuição de energia.

Além disso, o chuveiro elétrico pode representar um perigo em termos de segurança. Uma instalação inadequada ou uma falha no equipamento podem resultar em curtos-circuitos e até mesmo incêndios. O contato direto com a água e a eletricidade também apresenta riscos de choque elétrico, principalmente se houver fiação danificada ou fuga de corrente.

Outro aspecto prejudicial do uso massivo de chuveiros elétricos é o impacto ambiental. No Brasil, grande parte da eletricidade é gerada por meio de usinas hidrelétricas, que dependem da disponibilidade de água nos reservatórios. O uso excessivo de chuveiros elétricos contribui para o aumento da demanda de energia, o que pode levar à necessidade de operar mais usinas termelétricas, que são mais poluentes e emitem gases de efeito estufa.

Conforme apresentado em (Sangoi & Juliana May, 2015) existe outro ponto extremamente negativo do chuveiro elétrico que é a sobrecarga causada pelo uso do mesmo na infraestrutura do sistema elétrico brasileiro. As redes de distribuição de energia foram dimensionadas para atender a demanda média da população, e o uso intensivo de chuveiros elétricos durante os horários de pico pode levar a interrupções no fornecimento de energia, além de exigir investimentos adicionais em infraestrutura para suportar essa carga adicional.

Esse efeito nocivo à rede ocorre devido ao alto consumo e baixa eficiência do chuveiro elétrico, somado à simultaneidade do seu uso em um determinado período por um grande número de residências, que por sua vez se deve a uma rotina em comum de grande parte da população, onde principalmente durante a semana, os horários de trabalho ditam o ritmo cotidiano das pessoas, assim sendo, muitas tem o hábito de tomar banho antes de sair de casa pela manhã, e ao retornarem às suas casas no início da noite.

Muitos desses horários são semelhantes para a maioria das pessoas, o que cria dois períodos diários de consumo muito elevado por conta de um enorme uso simultâneo dos chuveiros elétricos.

Esse tipo de problema não acontece em outros sistemas de aquecimento, pois estes ou se utilizam de outras fontes que não a energia elétrica, ou, são compostos por sistemas de termoacumulação, onde a água é aquecida previamente consumindo ainda que por um período maior, uma potência muito inferior à necessária para o aquecimento

instantâneo da água através de um chuveiro elétrico.

Para mitigar esses problemas, é importante que haja uma conscientização sobre o consumo de energia e o uso responsável do chuveiro elétrico. Medidas como a adoção de sistemas de aquecimento de água mais eficientes, como os aquecedores solares, podem reduzir significativamente o consumo de energia elétrica. Além disso, incentivar o uso de chuveiros elétricos em horários de menor demanda de energia, por exemplo, durante a noite, pode ajudar a equilibrar a carga no sistema elétrico.

Portanto, embora o chuveiro elétrico seja amplamente utilizado no Brasil, é importante estar ciente das suas desvantagens e perigos. Seu alto consumo de energia, os riscos de segurança associados e o impacto negativo no sistema elétrico brasileiro são aspectos que merecem atenção. Promover o uso consciente da energia e explorar alternativas mais eficientes são medidas importantes para mitigar esses problemas e garantir a sustentabilidade do sistema elétrico no país.

Deste modo, justifica-se o desenvolvimento deste trabalho na busca por uma maior eficiência nos equipamentos de aquecimento solar, o desenvolvimento de um sistema com maior viabilidade econômica e custos de instalação e operação reduzidos, além de proporcionar maior qualidade, comodidade e conforto aos usuários, eliminando os pontos negativos presentes nos sistemas de aquecimento solar atuais. Sendo esse projeto de suma importância não só para a área de energia solar, mas para os sistemas elétricos do país como um todo, diminuindo inclusive o uso do chuveiro elétrico que possui eficiência energética muito baixa e consumo muito elevado, encarecendo muito até mesmo as instalações elétricas das residências.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A fundamentação e o desenvolvimento desse trabalho estão sendo elaborados baseados em uma ideia totalmente nova e inexistente no mercado, de acordo com a pesquisa realizada. As fontes utilizadas na revisão bibliográfica são de dados de pesquisas e análises de consumo que validam as afirmações sobre o chuveiro elétrico expostas nesse trabalho.

Tanto na revisão bibliográfica quanto nas referências bibliográficas ao final do trabalho, são apresentados estudos detalhados realizados por importantes instituições governamentais e instituições de ensino, que comprovam a baixa eficiência e segurança do chuveiro elétrico, apontando todas as vantagens dos outros sistemas de aquecimento em comparação com o mesmo.

BAIXA EFICIÊNCIA COMPROVADA

De acordo com o laboratório de eficiência energética em edificações da Universidade Federal de Santa Catarina, o chuveiro elétrico apresenta muitas desvantagens, dentre elas o baixo rendimento e baixos indicadores de segurança durante a sua operação.

Dentre os principais critérios para avaliação do desempenho de sistemas de

aquecimento de água para banho em edificações residenciais pode-se citar o consumo de energia e de água. Visando diminuir o consumo de energia e promover a utilização de energias limpas, diversas políticas incentivam a utilização de sistemas mais eficientes e fontes renováveis para aquecimento de água. Entretanto, a eficiência não é determinada apenas pelo consumo de energia para aquecer a água; a análise deve considerar o desempenho do sistema como um todo, incluindo o armazenamento e a distribuição da água quente (Sangoi, 2015).

DEMONSTRAÇÃO DA ALTA EFICIÊNCIA DO AQUECIMENTO SOLAR

Segundo Casa e Mercado (2022), o engenheiro Luiz Antônio dos Santos (2015), afirma com base em análises de instalações feitas em residências no estado de São Paulo, que a utilização do aquecedor solar gera muita economia e tem um nível muito elevado de eficiência energética. Tal nível de eficiência gera uma economia média no consumo de energia residencial de R\$80,00 mensais. Tal valor pode ser consideravelmente maior em residências de alto padrão, visto que o chuveiro elétrico representa em média 40% do consumo de energia elétrica residencial no Brasil.

O CHUVEIRO ELÉTRICO - FUNCIONAMENTO, CONSTRUÇÃO E HISTÓRIA

De acordo com Araujo *et al.* (2023), o chuveiro elétrico é um dispositivo comumente utilizado em residências e estabelecimentos comerciais brasileiros para aquecer a água do banho. Ele é conhecido por sua praticidade, eficiência e facilidade de instalação.

O chuveiro elétrico surgiu como uma alternativa de baixo custo no campo do aquecimento de água. Foi inventado pelo brasileiro Francisco Canho em 1943, na cidade de Lorena, em São Paulo. A ideia de Canho permitiu que a água fria fosse aquecida diretamente no chuveiro, eliminando a necessidade de aquecedores centralizados e tornando o banho mais prático e acessível para a população.

O chuveiro elétrico é composto por três elementos principais: resistência, termostato e chuveirinho (ou ducha). A resistência é a parte responsável por aquecer a água e é constituída por um fio metálico de alta resistência elétrica. Quando a corrente elétrica passa por essa resistência, ela se aquece, transferindo calor para a água que flui pelo chuveiro.

O termostato é um dispositivo que controla a temperatura da água. Ele monitora a temperatura da água e regula o fluxo de energia para a resistência, garantindo que a água não fique excessivamente quente ou fria. Dessa forma, o usuário pode ajustar a temperatura desejada do banho por meio do controle do termostato. Apenas modelos mais avançados possuem essa função, modelos mais simples possuem apenas uma pré-regulagem de 2 ou 3 níveis de temperatura, o que impede seu ajuste apropriado durante o banho.

A construção básica do chuveiro elétrico envolve uma carcaça de plástico ou metal, que abriga os componentes internos, como a resistência e o termostato. A resistência geralmente é feita de ligas metálicas especiais, como o níquel-cromo, que possuem alta

resistência elétrica e boa capacidade de aquecimento.

A água flui através de uma tubulação que passa pela resistência, onde ocorre o aquecimento. A saída da água é direcionada pelo chuveirinho, que pode possuir diferentes formatos e opções de jatos, proporcionando ao usuário uma experiência personalizada durante o banho.

O chuveiro elétrico é uma invenção que mudou o modo como aquecemos a água para o banho. Sua praticidade, e facilidade de instalação o tornaram amplamente utilizado no Brasil. Apesar de sua simplicidade construtiva, é importante lembrar que o uso chuveiro elétrico sempre estará sujeito a choques elétricos e outros riscos, e certificar-se de que a instalação esteja de acordo com as normas elétricas e de segurança é essencial, porém o chuveiro elétrico sempre será um equipamento de segunda linha, e por isso sua eficiência é baixa, e sua qualidade e segurança são questionáveis.

SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA

Segundo Portal solar (2014 – 2023), o sistema de aquecimento solar de água é uma tecnologia que utiliza a energia do sol para aquecer a água utilizada em residências, indústrias e edifícios. Essa forma de aquecimento é uma alternativa sustentável e econômica aos sistemas convencionais como o chuveiro elétrico e o sistema de aquecimento a gás.

A utilização da energia solar para aquecimento de água remonta a tempos antigos, mas o desenvolvimento dos sistemas modernos teve início durante a crise do petróleo na década de 1970. A necessidade de buscar fontes de energia alternativas impulsionou a pesquisa e o desenvolvimento de sistemas de aquecimento solar em diversos países.

No Brasil os primeiros sistemas começaram a aparecer no mercado no final da década de 1980. Quase sempre desenvolvidos por marcas fabricantes de equipamentos para piscinas e saunas, que nessa época decidiram investir nessa tecnologia. O que fez com que sua implementação fosse mais rápida do que no resto do mundo.

Ao longo dos anos 1990 o equipamento se fez presente na maior parte das residências de alto padrão, e a partir dos anos 2000 começou a ser amplamente adotado por residências de classe média devido à queda dos preços e o aumento exponencial dos custos de energia elétrica após a crise do apagão de 2001.

Atualmente os preços do equipamento praticamente dobraram por conta do cenário pós pandemia, e a popularização do sistema fotovoltaico infelizmente fez muitas pessoas desistirem do uso do equipamento, isso infelizmente tem levado à uma continuidade no uso do chuveiro elétrico, piorando o cenário da matriz energética brasileira que já se encontra bem defasada.

Apesar de utilizar tecnologias em comum em grande parte do mundo, os sistemas brasileiros de aquecimento solar foram desenvolvidos por empresas e engenheiros do país, e se difere dos outros sistemas existentes em outros países pela simplicidade que o clima do país permite.

O sistema de aquecimento solar de água é composto por coletores solares, um

reservatório térmico e uma tubulação que conecta os componentes, conforme exibido na Figura 1. Os coletores solares são responsáveis por captar a energia térmica do sol. Geralmente, são placas metálicas ou de vidro, pintadas de preto para absorver o calor. Dentro dos coletores, circula a água do reservatório, que absorve o calor solar e o transfere para o reservatório térmico.

Figura 1 - Sistema tradicional de aquecimento termo solar.



Fonte: SOLAR MINAS, 2018

O reservatório térmico é um tanque isolado termicamente, onde a água aquecida pelo coletor solar é armazenada. Ele possui isolamento para minimizar as perdas de calor, permitindo que a água aquecida seja utilizada posteriormente. Dependendo do sistema, pode haver um sistema de *backup*, como aquecedores elétricos, para garantir a disponibilidade de água quente em períodos de pouca insolação.

O sistema de aquecimento solar de água oferece diversos benefícios, tanto para os usuários quanto para o meio ambiente. Alguns dos principais benefícios incluem:

- **Sustentabilidade:** A energia solar é uma fonte renovável e limpa, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e contribuindo para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa.
- **Economia de energia:** O uso da energia solar para aquecimento de água reduz o consumo de eletricidade ou gás, resultando em economia na conta de energia.
- **Baixa manutenção:** Os sistemas de aquecimento solar são geralmente de baixa manutenção, com poucas peças móveis, o que contribui para a durabilidade e vida útil prolongada.
- **Valorização imobiliária:** Imóveis que possuem sistemas de aquecimento solar são mais valorizados no mercado imobiliário, devido aos benefícios econômicos e ambientais que oferecem.
- **Incentivos governamentais:** Em muitos países, há incentivos fiscais e subsídios oferecidos pelo governo para estimular a instalação de sistemas de aquecimento solar, tornando o investimento mais acessível.

Deste modo, o sistema de aquecimento solar de água é uma tecnologia que utiliza

a energia do sol para aquecer a água de forma sustentável e econômica.

Sistema off-grid solar

Segundo Portal solar (2014 – 2023), um sistema *off-grid* solar, também conhecido como sistema autônomo de energia solar, é uma solução energética independente da rede elétrica tradicional. Isso o torna mais fácil e menos burocrático de ser implantado, mas ao mesmo tempo também apresenta um custo maior e mais manutenção e troca de equipamentos.

Um sistema *off-grid* solar utiliza a energia do sol para gerar eletricidade por meio de painéis solares fotovoltaicos. Esses painéis convertem a luz solar em eletricidade de corrente contínua (DC). Em seguida, um controlador de carga regula o fluxo de energia do painel solar para as baterias de armazenamento.

As baterias são uma parte essencial do sistema *off-grid*, pois armazenam a energia gerada pelos painéis solares durante o dia para uso durante a noite ou em períodos de pouca insolação. A energia armazenada nas baterias é convertida de corrente contínua (DC) para corrente alternada (AC) por meio de um inversor, permitindo alimentar aparelhos e dispositivos elétricos convencionais.

Componentes do Sistema *Off-Grid* Solar:

- Painéis solares fotovoltaicos: Responsáveis por captar a energia solar e convertê-la em eletricidade.
- Controlador de carga: Regula o fluxo de energia dos painéis solares para as baterias, protegendo-as contra sobrecarga ou descarga excessiva.
- Baterias de armazenamento: Armazenam a energia gerada pelos painéis solares para uso posterior.
- Inversor: Converte a corrente contínua (DC) armazenada nas baterias em corrente alternada (AC) para alimentar dispositivos elétricos convencionais.
- Sistema de monitoramento: Permite acompanhar o desempenho do sistema, incluindo a carga das baterias e a geração de energia solar.

Benefícios do Sistema *Off-Grid* Solar:

- Independência energética: O sistema *off-grid* permite que os usuários se tornem independentes da rede elétrica tradicional, tornando-se autossuficientes em termos de eletricidade.
- Energia limpa e sustentável: A energia solar é uma fonte de energia limpa e renovável, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e minimizando o impacto ambiental.
- Acesso em áreas remotas: O sistema *off-grid* é especialmente benéfico em áreas remotas ou isoladas, onde a conexão à rede elétrica pode ser inviável ou dispendiosa.

- Redução de custos a longo prazo: Embora o investimento inicial possa ser mais alto, a utilização de um sistema off-grid solar pode resultar em economia de custos a longo prazo, pois os proprietários não estão sujeitos às tarifas de eletricidade e aumentos de preço.
- Resiliência e segurança: Em caso de interrupção da rede elétrica, o sistema off-grid solar continua a fornecer eletricidade, garantindo maior segurança e conforto durante quedas de energia.

Deste modo, os sistemas *off-grid* solares oferecem uma solução independente e sustentável para a geração de eletricidade. Com os avanços tecnológicos o seu uso ficará mais facilitado, porém atualmente o custo das baterias e sua curta vida útil tornam esse tipo de sistema bem mais caro do que o tradicional sistema *on-grid*.

MATERIAIS E MÉTODOS

Um dos fundamentos principais desse projeto é desenvolver um sistema simples e eficiente, dessa forma visando reduzir os custos a ponto de deixar o projeto mais acessível do que o aquecimento solar tradicional, que se encontra atualmente com um custo muito acima da média, e não há previsões para que o custo desse equipamento volte a cair, já que a demanda por esse tipo de sistema também está caindo por conta da popularização do sistema fotovoltaico, e também por conta do alto custo atual dos insumos necessários para a produção e instalação, como tubos de cobre, isolantes térmicos, alumínio e vidro temperado.

Os principais materiais utilizados nesse projeto podem ser encontrados facilmente no mercado, embora alguns tenham que ser adaptados e reconfigurados, como é o caso do reservatório térmico e do sistema de controle de temperatura. Já os módulos fotovoltaicos são os mesmos utilizados nos atuais sistemas *on-grid* e *off-grid*.

Os métodos de montagem e execução geral do projeto, seguem princípios básicos que garantirão a simplicidade do sistema e ao mesmo tempo uma alta eficiência.

O projeto

Nesse Projeto serão utilizados três módulos fotovoltaicos de 550 watts de potência, um controlador de carga e tensão, três baterias estacionárias de 12 volts e 150 amperes, um reservatório térmico de 400 litros, uma resistência de 3000 watts 220 volts e um inversor 4000 watts off grid de 220 volts.

O projeto consiste em montar um sistema de geração fotovoltaica off grid que alimentará diretamente a resistência do reservatório térmico que permanecerá ativa até que a temperatura da água selecionada no controlador digital seja atingida. No momento em que a água atingir a temperatura desejada, o controlador ira desativar a resistência, e a mesma somente será acionada novamente quando a água esfriar até a temperatura de acionamento, a qual também será configurada através do controlador digital. Quando a resistência estiver inativa os painéis estarão carregando as baterias, garantindo que um reaquecimento da água seja possível durante à noite, momento onde ocorre o maior

consumo de água quente.

Todo o projeto está sendo desenvolvido de forma a maximizar a flexibilidade por parte do usuário, e garantir total autonomia na produção de água quente, mesmo em dias nublados. Por essa razão o controlador digital de temperatura foi escolhido, pois com ele o usuário poderá personalizar o funcionamento do sistema de acordo com as suas necessidades, de forma simples, rápida e precisa, garantindo a todos na residência que nunca falte água quente para o consumo.

Como o projeto visa fins comerciais do produto final, o foco principal do mesmo está na eficiência e na segurança, já que o chuveiro elétrico apresenta baixos índices em ambos os quesitos citados. Dessa forma uma nova opção estará disponível no mercado, ampliando as possibilidades para o aquecimento de água em uso doméstico.

Metodo de cálculo e dimensionamento

Para os cálculos de dimensionamento e desempenho, foi utilizada a equação fundamental da calorimetria.

$$Q = m.c.\Delta T$$

Onde:

Q é a quantidade de calor

M é a massa do corpo a ser aquecido

C é o calor específico

ΔT é a variação de temperatura

Os cálculos iniciais foram importantes para estimar o tempo inicial de aquecimento do sistema e comprovar sua viabilidade, porém como o sistema funciona com o princípio de termoacumulação, a temperatura seguirá aumentando durante todo o período de irradiação solar. Durante a noite a temperatura será mantida pelo isolamento térmico do reservatório. Como não há coletores e tubulações, a perda de calor por esses pontos pode ser desprezada, sendo o consumo de água quente o único responsável pela queda na temperatura da água do reservatório.

Como o sistema funciona por termoacumulação, a água sempre permanecerá em uma temperatura elevada desde que o consumo esteja dentro do dimensionamento correto. Sendo assim, o sistema sempre iniciará o dia com a água já parcialmente aquecida, reduzindo assim a necessidade de um sistema de painéis solares, baterias e resistência mais potentes do que o dimensionado.

O protótipo

O sistema de aquecimento terá alta eficiência, aquecendo 400 litros de água fria a 20 graus até uma temperatura de 60 graus em aproximadamente 5 horas.

O Reservatório de água quente isolado termicamente, poderá manter a água aquecida por até 3 dias, porém devido a utilização de módulos fotovoltaicos ao invés de

coletores termo solares, será possível realizar o aquecimento mesmo em dias nublados, entretanto, em menor intensidade.

Por trabalhar com radiação eletromagnética na frequência da luz visível e também com ultravioleta, os módulos fotovoltaicos conseguem extrair energia da luz do sol mesmo em dias nublados, pois tais radiações ultrapassam camadas espessas de nuvens e chegam em quantidade razoável na superfície terrestre. Já os coletores termo solares não produziram nenhum aquecimento em tais condições, pelo fato de trabalharem com radiação eletromagnética infravermelha, ou seja com calor e não com luz. A radiação infravermelha em dias nublados é quase que totalmente barrada e refletida para cima pelas nuvens, e a pouca quantidade que chega na superfície terrestre, está muito dissipada e difusa para ter qualquer efeito em superfícies pequenas como as dos coletores, por essa razão os coletores termo solares não aquecem a água em dias muito nublados.

Em dias chuvosos tem-se mais um agravante, a água gelada resfria os coletores, impedindo que absorvam o calor do sol. Entretanto, os módulos fotovoltaicos continuam a produzir energia elétrica com a luz remanescente incidindo sobre os painéis, e por isso conseguem manter o aquecimento que segue de forma cumulativa durante todo o período do dia.

Dessa forma a água sempre conseguirá atingir temperaturas próximas dos 60 graus, garantindo assim, a quantidade necessária de água quente para realizar a mistura com a água fria.

O sistema ainda contará com baterias para garantir ao menos um reaquecimento da água do reservatório durante a noite, dessa forma não será necessário acionar a resistência através da rede elétrica da casa.

Através do sistema de controle central, simples e preciso, será possível inspecionar a temperatura da água em tempo real através de um *display* digital.

Por uma questão de redundância existirá também a possibilidade de se adicionar uma segunda resistência em *standby*, podendo ser ativada através de uma chave de comutação em caso de queima de da resistência principal. Bem como uma chave seletora para transferência da alimentação do sistema para a rede elétrica da casa, a fim de permitir a realização de processos de manutenção ou em caso de danos ao sistema fotovoltaico.

Por fim, serão utilizadas resistências de duplo elemento, dessa forma em caso de queima, na maioria dos casos apenas um dos elementos se romperá, e o aquecimento continuará com a metade da potência nominal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto tem-se mostrado promissor e espera-se que os testes continuem apresentando resultados conforme as expectativas e continuem motivando o desenvolvimento desse projeto, assim como, comprovando a sua alta eficiência quando comparada com os demais sistemas de aquecimento de água existentes no mercado. Também espera-se que sejam alcançadas grandes diferenças em termos de eficiência e segurança entre o sistema de aquecimento proposto e o chuveiro elétrico, tendo em vista que esse último é o mais utilizado no Brasil e rejeitado no resto do mundo por sua baixa eficiência e segurança.

Ao final desse projeto concluímos que o principal método de aquecimento utilizado no país é primitivo e apresenta baixa eficiência e baixo nível de segurança.

Até o presente momento o novo método de aquecimento de água solar fotovoltaico proposto nesse artigo tem-se mostrado mais eficiente do que qualquer outro método disponível no mercado, sendo capaz de atender a expectativas e substituir os métodos utilizados atualmente.

Ainda será necessário realizar mais testes e aprimoramento nos protótipos até que se alcance uma versão comercializável. Porém, até o presente momento este projeto se mostrou viável e dar-se-á continuidade no seu desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2005. **Balço Energético Nacional BEN 2005: Ano Base 2004**. Brasília, Ministério das Minas e Energia, 188p, ISS 0101-6636.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ, 1987. **Análise Comparativa do Desempenho de Aquecedores Elétricos de Acumulação em Função de Suas Características Técnicas e Condições de Serviço**; Relatório. Campinas.

INMETRO, 2006. **Tabela de Consumo de Energia Elétrica - Chuveiros Elétricos** - Edição 02/2006. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, Programa Brasileiro de Etiquetagem. http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/PBE5_Ed02_06.pdf

INMETRO, 2006. **Tabela de Consumo de Energia Elétrica - Torneiras e Aquecedores Elétricos** - Edição 02/2006. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, Programa Brasileiro de Etiquetagem. <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/PBE8.pdf>

LÉRY Jean de, 1557. **Histoire d'un Voyage Fait en la Terre du Brésil**. Paris, EPI Editeurs, 1972, 254p.

PRADO Racine T.A., GONÇALVES Orestes M., 1997. **O Efeito do Chuveiro Elétrico na Demanda de Energia em Apartamentos de Baixa Renda**. Eletricidade Moderna, v.25, n.283, p.161-4, 6-9, Outubro 1997.

SANTOS, LUIZ ANTONIO DOS. **ANDESOL Eficiência Energética com Aquecimento Solar**. CIESP, 2015. <http://www.ciesp.com.br/bauru/files/2015/10/Luiz-Antonio-dos-Santos-Pinto.pdf>

SANGOI, Juliana May. LABORATORIO DE EFICIENCIA ENERGETICA EM EDIFICAÇÕES. **Análise comparativa do desempenho de sistemas de aquecimento de água em edificações residenciais**. UFSC, 2015. <https://labeee.ufsc.br/node/670>

CASA E MERCADO. **Aquecedor solar de água proporciona conforto e economia.**, 22 de abril de 2022. Disponível em: <<https://casaemercado.com.br/aquecedor-solar-de-agua-proporciona-conforto-e-economia/>>. Acesso em: 08/06/2023.

ARAUJO F. S.; SILVA M. S.; ANDRADE J. A. B. **CHUVEIRO ELÉTRICO: HISTÓRIA, FUNCIONAMENTO, INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação. São Paulo, v.9.n.08. ago. 2023.

PORTAL SOLAR. **Aquecedor solar: o que é, como funciona e benefícios**. © 2014 – 2023. Disponível em: < <https://www.portalsolar.com.br/aquecedor-solar-o-que-e>>. Acesso em: 08/06/2023.

SOLAR MINAS. **Valorize seu imóvel com o aquecimento solar**. 12 de janeiro de 2018. Disponível em: < <http://www.solarminas.com.br/valorize-seu-imovel-com-o-aquecimento-solar/>>. Acesso em: 08/06/2023.

PORTAL SOLAR. **Sistema de Energia Solar Off Grid**. © 2014 – 2023. Disponível em: < <https://www.portalsolar.com.br/sistema-energia-solar-off-grid>>. Acesso em: 08/06/2023.

Automação de semáforos: protótipo de automação para pequenos ramos semafóricos

Traffic light automation: automation prototype for small traffic light branches

João Paulo Moraes Lemes

Graduando em Engenharia Elétrica

Thuany Franzini Walti

Bacharel em Engenharia de Produção e Graduanda em Engenharia Elétrica

Maezio Pereira da Silva

Mestre em Modelagem Matemática e Computacional

Rafael Lima de Oliveira

Mestre em Engenharia Elétrica

<http://lattes.cnpq.br/6212659806406513>

RESUMO

O fluxo de circulantes pela extensão do território brasileiro aumenta a cada dia. Isso propicia o monitoramento e planejamento de vias urbanas para melhor controlar esse volume. Com este crescimento, os médio e pequenos municípios são afetados com áreas de grande movimentação veicular, necessitando de formas simples e de baixo custo para o controle e manutenção do trânsito. O presente trabalho tem por objetivo analisar automações inteligentes de pequenos ramos de semáforos. Usou-se por método, a revisão bibliográfica e os conhecimentos de engenharia elétrica e de um microcontrolador ESP 32, onde foi possível confeccionar um protótipo de sistema semafórico, tendo por proposta controlar os acionamentos de um semáforo, além de possibilitar algumas funções de armazenamento de dados e transmissão deles. Funções estas garantidas com a utilização dos módulos RTC Ds1307 e SIM 800L, conectados a placa microcontroladora, além da programação em C/C++ escrita na plataforma Arduino IDE. O protótipo obteve achados em garantir sincronismo após receber alimentação constante de energia 5 V. Suas funções de armazenamento de dados e transmissão deles foi eficaz, porém, é válido ressaltar, que há observações a serem discutidas. Assim, o estudo demonstrou o benefício no desenvolvimento de sincronismo semafórico. No entanto, são necessárias novas pesquisas e testes para garantir o funcionamento e sua eficácia, de maneira a contribuir com a fluidez do trânsito. A sincronização de semáforos é de extrema importância para o futuro do transporte urbano.



Palavras-chave: engenharia elétrica. GSM/GPRS. microcontrolador ESP 32. sincronização de semáforos.

ABSTRACT

The flow of people across the Brazilian territory increases every day. This provides monitoring and planning of urban roads to better control this volume. With this growth, medium and small municipalities are affected by areas of high vehicle movement, requiring simple and low-cost ways to control and maintain traffic. The present work aims to analyze intelligent automation of small branches of traffic lights. The method used was a bibliographical review and knowledge of electrical engineering and an ESP 32 microcontroller, where it was possible to create a prototype of a traffic light system, to control the activations of a traffic light, in addition to enabling some data storage functions. data and transmission thereof. Functions are guaranteed with the use of RTC Ds1307 and SIM 800L modules, connected to the microcontroller board, in addition to programming in C/C++ written on the Arduino IDE platform. The prototype achieved results in ensuring synchronization after receiving a constant 5 V power supply. Its data storage and transmission functions were effective; however, it is worth highlighting that there are observations to be discussed. Thus, the study demonstrated the benefit of developing traffic signal synchronization. However, new research and tests are needed to ensure effective operation, to contribute to the fluidity of traffic. Traffic light synchronization is extremely important for the future of urban transport.

Keywords: electrical engineering. GSM/GPRS. ESP 32 microcontroller. traffic light synchronization.

INTRODUÇÃO

O aumento das frotas automobilísticas é um dos problemas dominantes de congestionamento nos centros urbanos. De acordo com os dados publicados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, os veículos passaram de aproximadamente 30 milhões em 2006 para 60 milhões em 2022 (IBGE, 2022). Esse número elevado motiva o monitoramento e planejamento das vias urbanas, sobretudo, considerando o modal rodoviário.

Adiante, é comum municípios pequenos e médios possuírem áreas de grande circulação de veículos, como por exemplo, uma rodovia que cruza a cidade, avenidas ou até mesmo ruas consideradas comerciais. Para a Confederação Nacional do Transporte (CNT) todos esses exemplos possuem um volume considerável de movimentação de automóveis (CNT, 2017).

Outrossim, visando garantir segurança e dinâmica no trânsito, costuma-se utilizar semáforos. Eles possuem a funcionalidade de controlar o tráfego de automotores e a passagem de pedestres pelas ruas em que se encontram inseridos. Muitas das vezes são instalados em encruzilhadas, trevos, cruzamentos e diversas outras formas de ruas ramificadas (SINAL DE TRÂNSITO, *on-line*).

Estes semáforos possuem um sistema de automação simples e funcional, entretanto, devido a simplicidade, o mecanismo de sincronismo entre eles é feito com algum tipo de marcador temporal. É comum algumas vezes encontrarmos ramificações de sinal com diferenças de tempo no acionamento de determinada ação, com milissegundos de diferença em uma larga escala de acionamentos diários, o semáforo pode acumular atrasos e como consequência causar assincronismo, ocasionando a interrupção da dinâmica do trânsito na cidade, ou até mesmo um acidente (BARONI, 2018). Portanto, para cessar esse atraso é inserido o conceito de “Onda Verde” que é a coordenação dos semáforos em que o trânsito é coordenado por indicação luminosa verde com o intuito de diminuir paradas da corrente de trânsito e os atrasos (URBES, 2023).

Este trabalho tem por objetivo geral prototipar um pequeno ramo de semáforos que se comuniquem e formem um sistema capaz de garantir sincronismo, diminuindo a diferença de intervalo entre semáforos adquirida durante o tempo de funcionamento e interferindo na “Onda Verde”, melhorando então a fluidez e a qualidade do trânsito.

A metodologia usada baseia-se em revisão bibliográfica de autores que evidenciaram o sincronismo de ramos de semáforos como necessário. E, a motivação se deu, pela tentativa de diminuição das consequências causadas pelo assincronismo dos semáforos.

REFERENCIAL TEÓRICO

No referencial teórico são tratados conceitos que auxiliam a discussão em decorrência da pesquisa, tais como Rede GSM/GPRS e Microcontrolador ESP32.

Rede GSM/GPRS

A utilidade do *General Packet Radio Service* (GPRS) que resulta do modelo de telefonia *Global System for Mobile* (GSM) se definiu como a transmissão de informações à distância e a telemetria e essa tecnologia tem uma grande relevância nas finalidades atuais (SHIBUKAWA *et al.*, 2017). De acordo com Sichonany *et al.* (2012), a ciência aplicada GSM propicia todo o suporte de uma estrutura para poder oferecer o serviço de transmissão de informações nas mais diversas localidades, inclusive aquelas de difícil acesso.

A tecnologia GSM/GPRS está cada vez mais presente no cotidiano e não se delimita a uma distância como o *Bluetooth* e *Zig Bee*. Para ela funcionar só se faz necessário o acesso a uma boa rede. A comunicação a distância é um recurso importante nos mais variados setores do mercado (GRUBER, 2007).

De acordo com Sibukawa *et al.* (2017, s.p.):

O GSM é o padrão de telefonia móvel que mais cresce mundialmente, abrangendo, atualmente, dois terços dos usuários de telefones móveis do mundo. Outra vantagem é a utilização para medições a distâncias ou telemetria de lugares de difícil acesso visto que, todos os estados brasileiros possuem cobertura para esta tecnologia. O serviço GPRS permite uma taxa de transporte de dados de até 171 kbits.s⁻¹. Desse modo, quando se trata de uma transmissão de dados de pequeno volume, como é o caso de equipamentos eletrônicos de telemetria, o GPRS apresenta um custo-benefício mais favorável em comparação à tecnologia 3G.

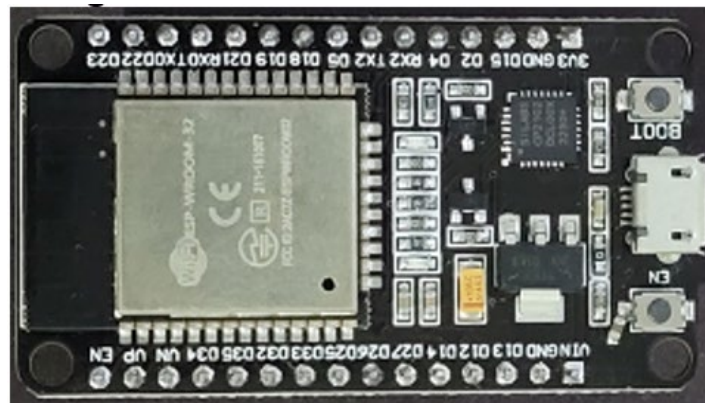
Devido a sua capacidade de cobertura e a taxa de transporte de dados, é viável a

utilização deste padrão de rede para sistemas e protótipos que necessitam de transmissão de dados de forma constante e confiável.

Microcontrolador ESP32

O ESP32 foi elaborado pela empresa de tecnologia *Espressif Systems*, lançado recentemente em 2016, e já é considerado um dos controladores com maior eficiência e conhecimento do mercado, os pontos fortes desse microcontrolador são acessibilidade, processamento e a conectividade em virtude a compressibilidade (KOLBAN, 2018). A Figura 1 exemplifica o modelo de ESP32.

Figura 1 – Microcontrolador ESP 32.



Fonte: Autores (2023)

Um dos pontos positivos do ESP 32 é seu tamanho. Considerado um microcontrolador compacto, ele traz vantagens para o dimensionamento e montagem do protótipo, tendo em vista a otimização do espaço necessário para instalação do sistema.

MATERIAIS E MÉTODOS

O objetivo deste capítulo é apresentar a metodologia que foi utilizada para o desenvolvimento deste projeto, apresentando a plataforma de desenvolvimento, a placa de conexão de rede, o protótipo, o ambiente de programação e o método de comunicação entre os dispositivos semafóricos.

O protótipo

O mercado atual disponibiliza uma grande variedade de plataformas para desenvolvimento de projetos (Microcontroladores). Visando atender as necessidades do projeto optou-se por utilizar a NodeMCU-32s, a qual será responsável pelo controle de todo o sistema.

NODE MCU-32s

NodeMCU-32s ESP32-WROOM A NodeMCU-32s ESP32-WROOM apresenta um alto desempenho de processamento devido aos dois núcleos do MCU Xtensa 32- bits LX6, o qual possui, pinos de 5 V e 3.3 V, 36 GPIOs com corrente máxima de 12 mA por pino, e

chip com *Wi-Fi* e *Bluetooth* já integrados na placa, o que a torna ideal para o projeto em questão (KOYANAGI, 2017).

Tabela 1 – Características da NodeMCU ESP32.

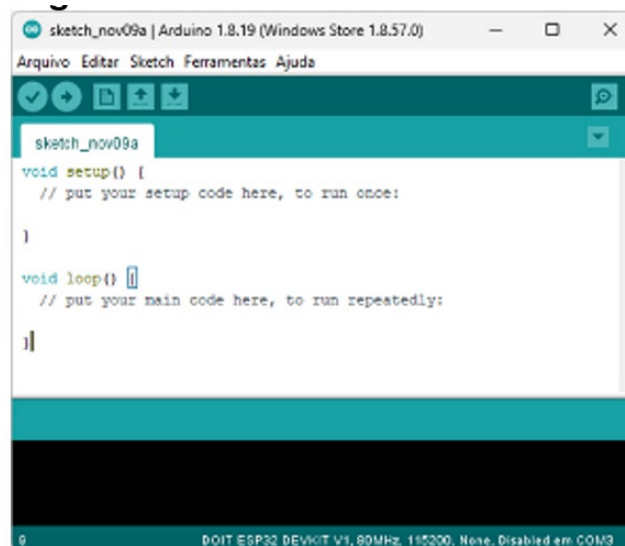
Modo de Operação	Client, Access Point, Station + Access Point
Microprocessador	Dual Core
Clock Ajustável	80 MHz – 240 MHz
Tensão de Operação	3.3 VDC
SRAM	512 kb
ROM	448 kb
Memória Flash Externa	32 Mb

Fonte: KOYANAGI (2017)

Em função do seu microprocessador *Dual Core* e sua memória *flash* de 32 megabits, este microcontrolador garante não só poder de processamento, como também, memória suficiente para reproduzir e armazenar quaisquer informações impostas ao mesmo.

Referente à programação do ESP 32, foi utilizado o Arduino IDE 1.0 (Figura 2), um editor de códigos de programação de múltiplas plataformas, que utiliza a linguagem C/C++.

Figura 2 – Software Arduino IDE 1.0.



Fonte: Autores (2023)

O Arduino *Integrated Development Environment* - ou *Arduino Software* (IDE) - contém um editor de texto para escrever código, uma área de mensagens, um console de texto, uma barra de ferramentas com botões para funções comuns e uma série de menus. (ARDUINO, *on-line*).

O protótipo

O protótipo foi construído utilizando duas *breadboards* que simularam um pequeno ramo semaforico e permitir a realização de testes de comunicação entre eles, durante a fase de desenvolvimento do trabalho. O ramo de semáforos representou um cruzamento de duas ruas. Os principais materiais utilizados na construção deste protótipo foram:

1. Placa de desenvolvimento NodeMCU ESP32;

2. Módulos GSM SIM800L GPRS;
3. Módulos RTC;
4. Protoboard/*Breadboard*;
5. Fios conectores;
6. LEDs.

Todos os materiais foram testados quanto a sua funcionalidade, a fim de garantir o funcionamento do protótipo.

Intercomunicação entre dispositivos

Neste tópico será apresentado o processo de comunicação entre os semáforos, além da compreensão da forma de transmissão de dados utilizada. O sistema será baseado na comunicação via telemetria na rede GSM/GPRS, padrão utilizado amplamente pela rede de telefonia móvel. Essa rede permite a transmissão de dados entre máquinas, possibilitando a transferência de informação entre dispositivos a distância, sem a necessidade de cabeamento.

O módulo responsável pela comunicação entre dispositivos foi o SIM800L, representado pela Figura 3 a seguir.

Figura 3 – Módulo GSM GPRS SIM800L.



Fonte: Eletrogate (on-line)

Este módulo (Figura 3) foi utilizado para comunicação via dados GSM/ GPRS e necessita de um chip de operadora de telefonia móvel para comunicação, o módulo pode ter suas ações controladas por diversos tipos de microcontroladores, como o Arduino por exemplo. (ELETROGATE, 2023)

O chip utilizado pelo módulo SIM800L, é conhecido como Chip M2M (*machine to machine*). O chip tem um propósito um pouco diferente, a comunicação via chip M2M é utilizada para desenvolvimento de tecnologias de rastreamento, transporte, gestão patrimonial, gestão territorial, telemedicina e outras inovações importantes para diversas empresas, especialmente as que estão se adaptando à realidade da indústria 4.0 e da

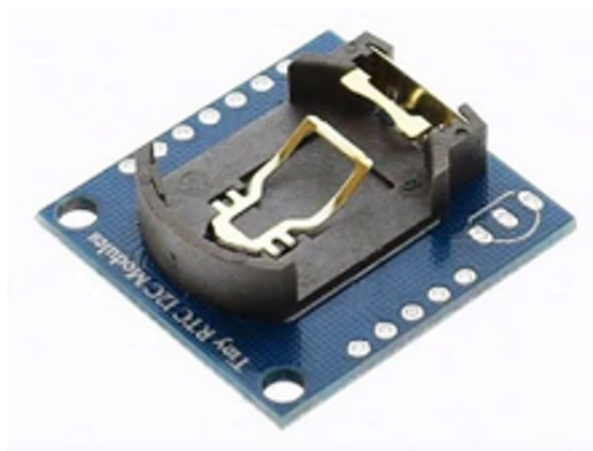
Internet das Coisas (IoT) (URSINE, 2023).

Módulo RTC

Para que o sistema esteja em sincronia, é necessário um ponto de referência geral, nesse caso entra a utilização do Módulo *Real Time Clock* (RTC), para que o horário esteja sempre de acordo.

Este RTC DS1307 é um relógio de tempo real com calendário completo e mais de 56 bytes de *Static Random Access Memory* (SRAM), sendo capaz de fornecer informações como segundo, minutos, dia, data, mês e ano. Em sua placa há um circuito que detecta falhas de energia, acionando assim automaticamente a bateria para evitar perda de dados (ELETROGATE, 2023).

Figura 4 – Módulo RTC Ds1307.



Fonte: Eletrogate (on-line)

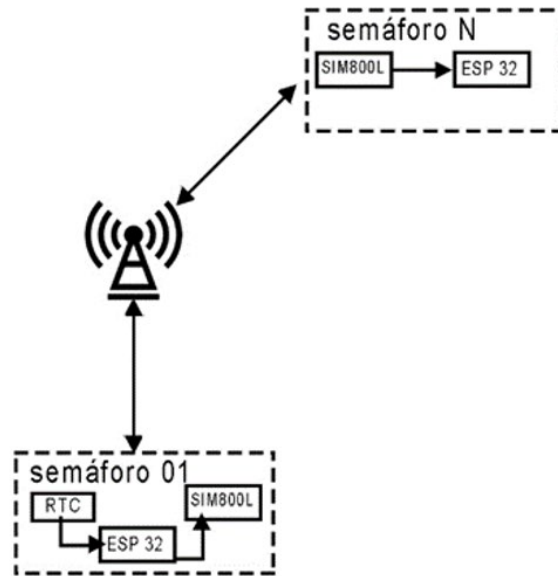
A capacidade de armazenamento deste módulo (Figura 4) é composta pela SRAM, uma memória temporária. A solução para este problema é a utilização de uma bateria de lítio de 3 V do tipo CR2032.

Esquemático de comunicação

Nessa seção será exemplificada a comunicação entre os dispositivos semaforicos, a troca de dados entre os semáforos deverá ser feita através da rede GPRS, rede de telefonia móvel. O semáforo 01 é utilizado como base para todos os outros dispositivos conectados ao sistema, esse dispositivo diferentemente dos outros terá um módulo RTC.

O semáforo 01 será programado e configurado para o funcionamento normal de um semáforo, porém, ele enviará aos outros semáforos os dados que possibilitarão a sincronia deles, e no caso de algum erro em relação ao tempo, a programação implementada na ESP-32 irá corrigir automaticamente.

Figura 5 – Diagrama de comunicação entre semáforos.



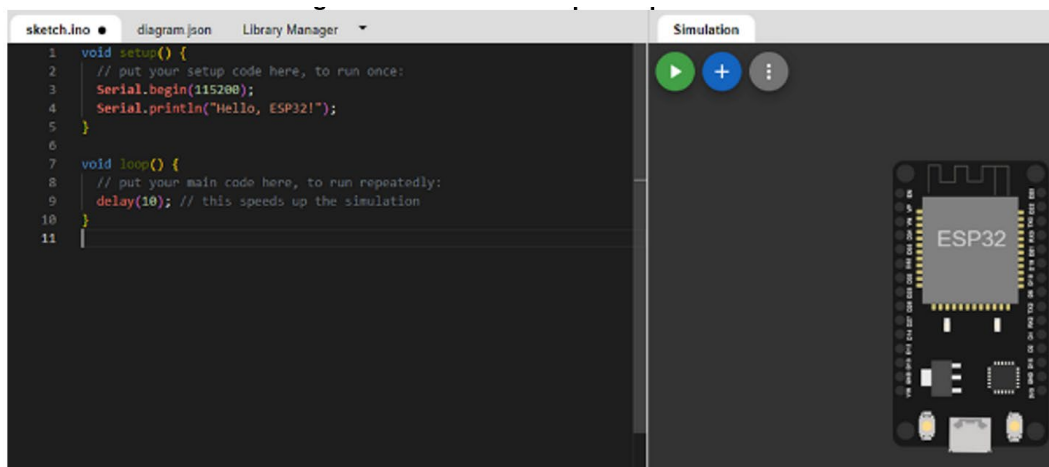
Fonte: Autores (2023)

O esquemático (Figura 5) tem a finalidade de demonstrar a forma com que será conduzido o sistema em relação a sua funcionalidade na aquisição e na transferência de dados. Representando o semáforo 01 como principal, e o semáforo N como os múltiplos outros sistemas que podem estar conectados a este ecossistema.

DESENVOLVIMENTO

Para verificar a compatibilidade dos módulos, o *software* utilizado inicialmente para a montagem do protótipo é o Wokwi. Esta plataforma possui o Microcontrolador ESP 32, sendo então capaz de simular as conexões e códigos necessários para o funcionamento do protótipo proposto neste artigo, já que o microcontrolador possui um número contado de portas físicas a serem utilizadas para captação e envio de dados para os componentes conectados.

Figura 6 – Conexões do protótipo - Wokwi.



Fonte: Autores (2023)

A *interface* do Wokwi (Figura 6) permite a modificação do código C/C++ e a montagem do protótipo, integrados na mesma plataforma. O programa também é capaz de reproduzir simulações utilizando a construção e as linhas de programação inseridas.

Para confecção do protótipo serão necessários os componentes:

- Leds (Verde, Amarelo e Vermelho);
- Resistores;
- Jumpers (Conectores);
- Módulo RTC Ds1307;
- Módulo SIM 800L.

Os materiais utilizados encontram-se em sua maioria no programa, com a exceção de um deles, o módulo SIM 800L. Ele foi nomeado e representado por um módulo substituto, para fins de reconhecimento.

Em seguida será testado as conexões compatíveis do módulo e funcionamento do semáforo relacionado com o RTC para assim verificar a compatibilidade e funcionamento do sistema, sem a inclusão do módulo de transmissão.

As conexões nesse exemplo foram utilizadas para ligar os leds do semáforo. As portas 12, 13, 14, 18, 19, 23, 27 e GND, conectadas aos leds com função de *OUTPUT* (Saída) e GND conectada como *GROUND* (Terra).

As conexões específicas do módulo RTC DS1307 são denominadas *Serial Data* (SDA) e *Serial Clock* (SCL), o microcontrolador ESP 32 possui 2 portas compatíveis, sendo elas a porta D21 e D22, representando SDA e SCL respectivamente. Outro ponto a destacar do módulo RTC DS1307 é sua voltagem de funcionamento no valor de 5 V. Este modelo de microcontrolador é incapaz de fornecer este valor de voltagem, necessitando assim de uma fonte externa de 5 V para o funcionamento do módulo.

As portas utilizadas para comunicação com a ESP 32 são *Transmitter* (TX) e *Receiver* (RX), ambas possuem suas conexões equivalentes na ESP 32 com a denominação TX2 e RX2.

Após verificadas a disponibilidade e compatibilidade das conexões presentes no ESP 32, para que o sistema funcione é necessário um código base com as demandas e informações. O código responsável será escrito utilizando a aplicação de plataforma cruzada Arduino IDE, em linguagem C / C++.

Figura 7 – Arduino IDE - Pinagem do protótipo.

```

#include <RTClib.h>

#include <SoftwareSerial.h>
RTC_DS1307 rtc;
SoftwareSerial mySerial(16, 17); // RX, TX
const int vermelhoPino = 23; // Pino do led vermelho
const int amareloPino = 19; // Pino do led amarelo
const int verdePino = 18; // Pino do led verde

void setup () {
  Serial.begin(9600); // Frequência do microprocessador alterada para se adaptar a frequência do Módulo SIM800L
  SimSerial.begin(9600);
  delay(1000);
  pinMode(vermelhoPino, OUTPUT);
  pinMode(amareloPino, OUTPUT);
  pinMode(verdePino, OUTPUT);
  pinMode(14, OUTPUT);
  pinMode(13, OUTPUT);
  pinMode(12, OUTPUT);
  pinMode(27, OUTPUT);
  pinMode(17, INPUT);
  pinMode(16, OUTPUT);
}

```

Fonte: Autores (2023)

A pinagem do sistema representado pela figura 7, foi configurada para que fosse programado 2 semáforos em um mesmo microprocessador. Já as conexões específicas, como citado anteriormente, são conectores pré-definidos pelo fabricante. O módulo RTC DS1307 possui somente 2 portas compatíveis com a ESP 32, as portas D21 e D22 que representam respectivamente *Serial Data* (SDA) e *Serial Clock* (SCL). Portanto não se faz necessário a definição de portas lógicas em código.

Entretanto, para o módulo SIM 800L é necessário a especificação de quais portas *Transmitter* (TX) e *Receiver* (RX) serão utilizadas. Neste caso foram utilizadas as portas TX2 e RX2 da ESP 32, representadas pelos valores 16 e 17.

Primeiro é utilizado a função “*Serial. Begin* (9600);”, esta função inicia o microcontrolador e configura a frequência de troca de dados no sistema para 9600. O princípio é o mesmo utilizado para a função “*Sim Serial.begin*(9600);”, porém esta função inicia o módulo SIM 800L que é responsável pela transmissão e recepção de dados via Sistema Global para Comunicações Móveis (GSM).

Figura 8 – Arduino IDE - Transição Dia/Noite.

```

void loop () {
  DateTime now = rtc.now();
  static DateTime lastTime = now;

  if (diaNoite(lastTime, now)) {
    // Houve uma transição do dia para a noite
    mySerial.println("AT+CMGF=1");
    delay(1000);
    mySerial.println("AT+CMGS=\"+5511374746187\");
    delay(1000);
    mySerial.print("N");
    mySerial.write(26); // Envie para enviar a mensagem
    delay(10000); // Atraso necessário para o sistema estabilizar

    // Atualize o último horário conhecido
    lastTime = now;
  }
}

```

Fonte: Autores (2023)

Para que seja possível a troca de dados de forma rápida e sem erros, a variável que foi utilizada é de apenas um caractere, para representar dia temos “D” e para representar noite temos “N”, conforme apresentado na figura 8.

Temos a apresentação do termo “diaNoite” utilizado como condição, esta condição é representada na seguinte figura.

Figura 9 – Arduino IDE - Transição Dia/Noite.

```
bool diaNoite(DateTime previousTime, DateTime currentTime) {
  // Verificando se houve uma transição do dia para a noite
  return diaTempo(previousTime) && !diaTempo(currentTime);
}
```

Fonte: Autores (2023)

O termo “bool” identificado na figura 9, é um tipo de armazenamento de dados, mais especificamente dados de verdade ou falso.

Figura 10 – Arduino IDE - Transição Dia/Noite.

```
if (now.hour() == 4 && now.minute() == 0 && !loopRestarted) {
  // Reinicie o loop às 4 da manhã
  loopRestarted = true;
}

if (loopRestarted) {
  // Verificando se o tempo atual está dentro do intervalo desejado (até 4:00:25)
  if (now.hour() == 4 && now.minute() == 0 && now.second() >= 25) {
    // Encerrando o reinício e continuando com a execução normal
    loopRestarted = false;
  }
}

if (loopRestarted) {
  // Continuar a reiniciar o loop
  mySerial.println("AT+CMGF=1");//Comando responsável por configurar o SIM 800L no modo SMS
  delay(1000);
  mySerial.println("AT+CMGS=\"Numero representativo\"");//Comando responsável pelo encaminhamento da mensagem
  delay(1000);
  mySerial.print("D");//Mensagem que será enviada
  mySerial.write(26);
  Serial.println("Loop reiniciando às 4:00 da manhã");
  delay(7000);
} else {
```

Fonte: Autores (2023)

E para a transição de noite para o dia, a condição utilizou a biblioteca de comandos *Real Time Clock Library* (RTClib) do Arduino IDE que pode ser visualizada na figura 10, de forma a verificar a informação de hora e comparando com os valores predefinidos para que o comando seja executado ou ignorado.

Figura 11 – Arduino IDE - Intervalos predefinidos.

```
unsigned long VerdeDia = 7000;// Intervalo de 7 segundos durante o dia
unsigned long AmareloDia = 2000;
unsigned long VermelhoDia = 14000;
unsigned long VerdeNoite = 10000; // Intervalo de 10 segundos durante a noite
unsigned long AmareloNoite = 2000;
unsigned long VermelhoNoite = 10000;
```

Fonte: Autores (2023)

O termo “*unsigned long*” apresentado na figura 11, é utilizado para armazenar valores numéricos, neste caso foi utilizado para armazenar os intervalos utilizados no

código base dos semáforos.

Figura 12 – Arduino IDE - Semáforo Dia.

```

} else {

if (diaTempo(now)) {
  // É a parte do dia
  Serial.println("Verde direita, Vermelho Esquerda");
  digitalWrite(greenPin, HIGH);
  digitalWrite(redPin, LOW);
  digitalWrite(14, HIGH);
  digitalWrite(12, LOW);
  delay(VerdeDia);
  Serial.println("Amarelo direita, Vermelho Esquerda");
  digitalWrite(greenPin, LOW);
  digitalWrite(yellowPin, HIGH);
  digitalWrite(14, HIGH);
  delay(AmareloDia);
  Serial.println("Vermelho direita, Verde Esquerda");
  digitalWrite(yellowPin, LOW);
  digitalWrite(redPin, HIGH);
  digitalWrite(14, LOW);
  digitalWrite(13, HIGH);
  digitalWrite(27, HIGH);
  delay(VermelhoDia);
  Serial.println("Vermelho direita, Amarelo Esquerda");
  digitalWrite(12, HIGH);
  digitalWrite(13, LOW);
  digitalWrite(27, LOW);
  delay(AmareloDia);
}

```

Fonte: Autores (2023)

O código base (Figura 12) para o funcionamento do semáforo é separado em duas condições diferentes, um padrão para o funcionamento diurno e outro padrão para o funcionamento noturno, ambos representados pelos intervalos com o devido nome “dia” e “noite”.

Após testado o código do sistema principal, se faz necessário a confecção do código dos sistemas derivados. Onde a principal diferença se encontra na função de troca de dados, ao invés de transmitir os dados eles irão receber. Representado pelo código a seguir:

Figura 13 – Arduino IDE - Código do sistema derivado.

```

void loop() {
if (state == INITIAL) {
  if (f == 'D' || f == 'N') {
    simSerial.println("AI+CHGR=1");
    Serial.println();
    Serial.println("PONT01");
    char incomingChar = simSerial.read();

    if (incomingChar == 'N' || incomingChar == 'D') {
      receivedChar = incomingChar; // Armazena o caractere 'N' ou 'D'
    } else if (receivedChar != '\0') {
      // Se receber 'N' ou 'D', escreve a mensagem e reseta a variável receivedChar

      Serial.print("Mensagem SMS recebida: ");
      Serial.println(receivedChar);
      c = receivedChar; // Atribui o valor de receivedChar à 'c'
      f = receivedChar; // Atribui o valor de receivedChar à 'f'
      receivedChar = '\0';
      state = PROCESSING; // Mudando o estado para PROCESSING para executar a próxima parte do código;
    }
  }
} else if (state == PROCESSING) {

```

Fonte: Autores (2023)

Devido a diferença de construção do sistema derivado (Figura 13), não será possível

utilizar algumas funções presentes no código do sistema principal, uma das principais diferenças é a falta do módulo RTC DS1307. Portanto para o funcionamento síncrono dos semáforos, será utilizado a função “read”, função esta que lê o SMS recebido pelo módulo SIM 800L e ao detectar os caracteres “D” ou “N”, executa o processo de armazenamento desta variável e comanda o sistema a seguir o padrão estabelecido dentro destas variáveis. Como pode ser visto a seguir:

Figura 14 – Arduino IDE - Código do sistema derivado.

```

} else if (state == PROCESSING) {

    simSerial.println("AT+CMGD=1");
    Serial.println("PONTO2");
    Serial.println(c);
    Serial.println(f);
    state = FINAL; // Muda o estado para FINAL quando a parte de processamento estiver concluída
} else if (state == FINAL){

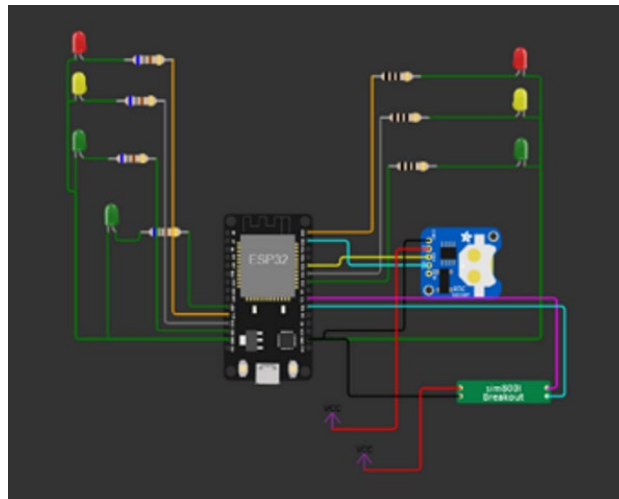
if (c == 'D') {
    Serial.println("DIA");
    Serial.println("Verde direita, Vermelho Esquerda");
    digitalWrite(greenPin, HIGH);
    digitalWrite(redPin, LOW);
    digitalWrite(14, HIGH);
    digitalWrite(12, LOW);
    delay(VerdeDia);
    Serial.println("Amarelo direita, Vermelho Esquerda");
    digitalWrite(greenPin, LOW);

```

Fonte: Autores (2023)

Após armazenado a variável, o sistema direciona o seguimento do código para prosseguir com o seu funcionamento planejado de semáforo.

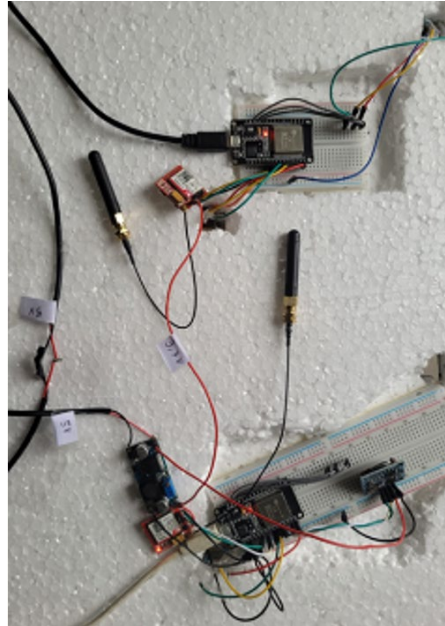
Figura 15 – Montagem do protótipo em protoboard.



Fonte: Autores (2023)

Na montagem do protótipo (Figura 15) inicialmente foram feitos os testes de funcionamento, conexão e alimentação. Foram utilizados Jumpers para fazer as conexões lógicas dos terminais do microcontrolador com os terminais dos módulos, para que haja troca de dados entre eles.

Após os testes, o protótipo foi montado em uma maquete para representar uma situação de cruzamento comum nas vias públicas.

Figura 16 – Montagem do protótipo 2.

Fonte: Autores (2023)

Devido à necessidade de representar as ruas, não seria possível a visualização plena do exemplo caso o protótipo fosse montado por cima. Logo foi necessário a montagem na parte inferior da maquete, onde encontram-se todos os componentes.

Figura – 17 Montagem do protótipo 2.

Fonte: Autores (2023)

A representação do trânsito mostrado na figura 17 é uma forma de simular o funcionamento dos semáforos.

RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados através da implementação e dos testes do protótipo de semáforos capazes de se comunicar entre si. Foram efetuados experimentos em uma maquete simulando condições de tráfego de uma interseção urbana comum.

Os resultados utilizando a rede GSM foram confiáveis e estáveis. O armazenamento de dados temporais também foi positivo, o módulo RTC DS1307 foi capaz de armazenar os

dados e mesmo após o corte de alimentação 5 V armazenou os valores anteriores impostos ao mesmo.

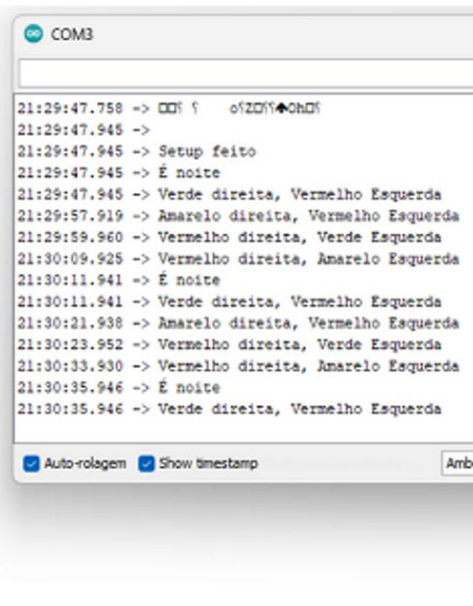
O protótipo demonstrou funcionamento em suas condições normais de trabalho com alimentação constante de 5 V, todas as funções de semáforo com seus devidos padrões de acionamento predefinidos em código. Foi simulado uma falta de energia durante vinte minutos, neste período todos os dispositivos permaneceram desligados, após o reestabelecimento da alimentação, os semáforos oscilaram dentro de um ciclo entre as indicações de vermelho e verde, por um tempo aproximado de 30 segundos, após esse período obtiveram sucesso ao se estabilizarem, garantindo a sincronia geral do ramo semafórico.

Figura 18 – Arduino IDE - Execução do código.

```

delay(VerdeDia);
Serial.println("Amarelo direita, Vermelho Esquerda");
digitalWrite(greenPin, LOW);
digitalWrite(yellowPin, HIGH);
digitalWrite(14, HIGH);
delay(AmareloDia);
Serial.println("Vermelho direita, Verde Esquerda");
digitalWrite(yellowPin, LOW);
digitalWrite(redPin, HIGH);
digitalWrite(14, LOW);
digitalWrite(13, HIGH);
digitalWrite(27, HIGH);
delay(VermelhoDia);
Serial.println("Vermelho direita, Amarelo Esquerda");
digitalWrite(12, HIGH);
digitalWrite(13, LOW);
digitalWrite(27, LOW);
delay(AmareloDia);
} else {
// É a parte da noite
Serial.println("É noite");
Serial.println("Verde direita, Vermelho Esquerda");
digitalWrite(greenPin, HIGH);
digitalWrite(redPin, LOW);
digitalWrite(14, HIGH);
digitalWrite(12, LOW);
delay(VerdeNoite);
Serial.println("Amarelo direita, Vermelho Esquerda");

```



Fonte: Autores (2023)

Na figura 18 é possível observar que o sistema principal envia a mensagem e o segundo sistema recebe a mesma, o protótipo analisa a mensagem e ao identificar se o caractere é “D” para dia, ou, “N” para noite, passa a executar o programa referente ao padrão predefinido de dia ou noite.

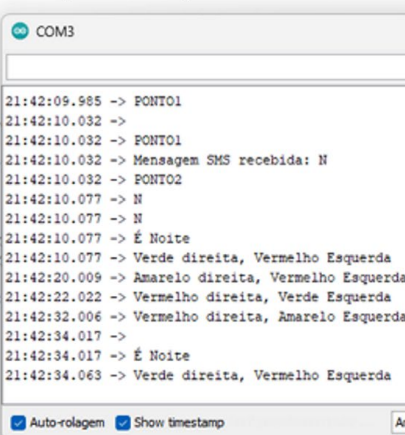
Figura 19 – Arduino IDE - Execução do código.

```

simSerial.println("AT+CMGR=1");
Serial.println();
Serial.println("PONTO1");
char incomingChar = simSerial.read();

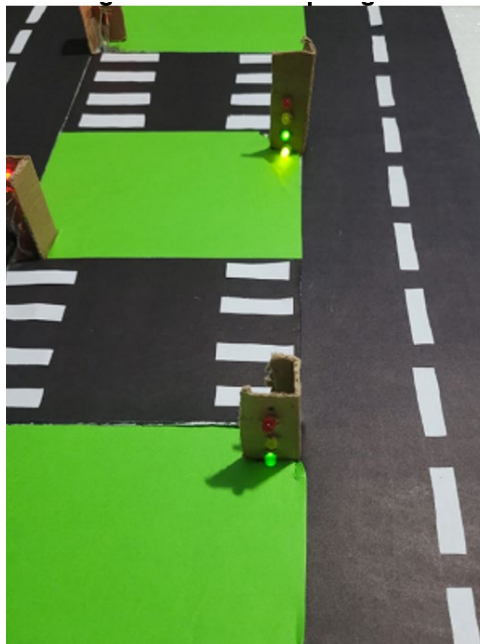
if (incomingChar == 'N' || incomingChar == 'D') {
  receivedChar = incomingChar; // Armazena o caractere
} else if (receivedChar != '\0') {
  // Se receber 'N' ou 'D', escreve a mensagem e reset
  Serial.print("Mensagem SMS recebida: ");
  Serial.println(receivedChar);
  c = receivedChar; // Atribui o valor de receivedChar
  f = receivedChar; // Atribui o valor de receivedChar
  receivedChar = '\0';
  state = PROCESSING; // Mudando o estado para PROCESSING
}
} else if (state == PROCESSING) {
  simSerial.println("AT+CMGR=1");
  Serial.println("PONTO2");
  Serial.println(c);
  Serial.println(f);
  state = FINAL; // Muda o estado para FINAL quando a parte de processamento estiver concluída
} else if (state == FINAL) {

```



Fonte: Autores (2023)

Após reestabelecido a energia no sistema, foi identificado interferência na obtenção da troca de dados. O módulo SIM 800L necessita de aproximadamente 10 segundos para inicializar e reestabelecer sua conexão à rede, ocasionando atrasos na sincronização do sistema.

Figura 20 – Protótipo ligado.

Fonte: Autores (2023)

O acionamento dos semáforos ocorreu conforme as predefinições do código base, mantendo o sincronismo do sistema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer do trabalho foram explorados os desafios gerados ao manter o sincronismo de pequenas interseções semaforicas, onde a falta de sincronia entre os

sistemas pode gerar atrasos, congestionamentos e no pior dos casos acidentes de trânsito.

Os resultados do protótipo demonstraram uma melhora significativa na gestão do tráfego e na manutenção dos sistemas, com a utilização de tecnologias avançadas para comunicação entre sistemas e armazenamento de dados em tempo real. Gerando benefícios para o trânsito de veículos, ao fluxo constante e evitando sinais com atraso de acionamento, melhorando em um aspecto geral a infraestrutura de tráfego urbano. Porém, é importante destacar estes desafios em relação a instalação e o funcionamento do protótipo, tendo em vista a dificuldade de financiamento para obtenção dos componentes do projeto, a mensalidade referente ao acesso do sistema a rede de telefonia móvel, além da integração de outros sistemas. Ademais, o desenvolvimento do protótipo possui importância para a pesquisa e desenvolvimento de estudos sobre o sincronismo semafórico, a fim de melhorar e otimizar a eficiência e segurança do tráfego urbano.

Por fim, este trabalho demonstrou os benefícios do sincronismo entre os semáforos como forma de melhorar o trânsito de veículos e o tráfego humano. No entanto, se fazem necessárias mais pesquisas e testes para garantir que os sistemas tenham funcionamento pleno e eficaz, de maneira a contribuir com a fluidez do trânsito do município. A sincronização de semáforos é de extrema importância para o futuro do transporte urbano.

REFERÊNCIAS

ARDUINO. **Arduino**. Disponível em: <https://www.arduino.cc/>. Acesso em: 24 maio. 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE (CNT). **Transporte rodoviário**: desempenho do setor, infraestrutura e investimentos. Brasília: CNT, 2017.

ELETROGATE. **Eletrogate**. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/>. Acesso em: 13 jul. 2023.

GRUBER, V. **Sistema de monitoramento remoto baseado em rede de celular GSM/GPRS para gerenciamento de desgaste de pastilha de freio e vibração da torre em aerogeradores**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Departamento de Metalurgia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

KOLBAN, N. **Kolban's book on ESP32**. [S.l.]: Leanpub, 2018.

KOYANAGI, F. **ESP32**: Detalhes internos e pinagem. 2018. Disponível em: <https://www.fernandok.com/2018/03/esp32-detalhes-internos-e-pinagem.html>. Acesso 13 jun. 2023.

MURTA, G. **Conhecendo o ESP32** – Introdução. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/conhecendo-o-esp32-introducao-1/> . Acesso em: 24 maio. 2023.

SHIBUKAWA, G. H. *et al.* **Utilização da rede GSM/GPRS para aplicação da telemetria**: medida e transmissão de dados de parâmetros físicos à distância. Artigo Científico, Engenharia de Controle e Automação, Centro Universitário de Maringá, 2017.

SICHONANY, O. A. O *et al.* Telemetria na transmissão de dados de desempenho de máquinas agrícolas utilizando tecnologias GSM/GPRS e ZigBee. **Ciência Rural**, Santa Maria, 2012.

URSINE. **O que é chip m2m**. Disponível em: <https://portaldeplanos.com.br/artigos/o-que-e-chip-m2m/>. Acesso em: 13 jul. 2023.

VILANOVA, L. **Crítérios para implantação de semáforos**. Disponível em: https://www.sinaldetransito.com.br/artigos/criterios_implantacao_semaforos.pdf. Acesso em: 23 out. 2023.

WOKWI. Disponível em: <https://wokwi.com/>. Acesso em: 13 jul. 2023.

IBGE. **Gráfico e indicador**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120?tipo=grafico&indicador=28122>. Acesso em: 23 out. 2023.

BARONI, R. B. **Metodologia para controle de semáforos utilizando processamento de imagens para reconhecimento da quantidade de carros**. Trabalho de Conclusão de Curso - Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.

URBES. **Onda Verde/Coordenação**. Disponível em: <https://www.urbes.com.br/onda-verde>. Acesso em: 23 out. 2023.

Desenvolvimento e execução da usina fotovoltaica fazenda miradouro: um estudo de caso de autoconsumo remoto

Development and implementation of the fazenda miradouro photovoltaic plant: a remote self-consumption case study

Dallas Nogueira Pereira

Graduando em Engenharia Elétrica

Luana Helena Pereira

Graduanda em Engenharia Elétrica

Rafael Lima de Oliveira

Mestre em Engenharia Elétrica

<http://lattes.cnpq.br/6212659806406513>

Victor da Silva Santos

Graduado em Engenharia Elétrica

RESUMO

Este estudo apresenta uma análise abrangente do processo de desenvolvimento, elaboração e execução da Usina Fotovoltaica Fazenda Miradouro, com uma capacidade de 101,76 kWp e uma média de geração de 12000 kWh/mês. O foco principal está na implementação do regime de autoconsumo remoto, destacando os desafios enfrentados e as soluções adotadas ao longo do projeto. A pesquisa aborda aspectos técnicos, econômicos e ambientais, oferecendo uma visão para profissionais da indústria de energia renovável, tomadores de decisão e pesquisadores interessados no desenvolvimento sustentável e eficiente de usinas fotovoltaicas. Os resultados destacam não apenas a viabilidade prática do projeto, mas também seu impacto positivo na redução das emissões de carbono e na promoção de uma matriz energética mais limpa e sustentável.

Palavras-chave: usina fotovoltaica. fazenda miradouro. autoconsumo remoto. energia renovável. sustentabilidade. geração de energia solar. redução de emissões de carbono. matriz energética sustentável.



ABSTRACT

This study presents a comprehensive analysis of the development, design, and implementation process of the Miradouro Farm Photovoltaic Plant, with a capacity of 101.76 kWp and an average generation of 12,000 kWh per month. The main focus is on the implementation of the remote self-consumption regime, highlighting the challenges faced and the solutions adopted throughout the project. The research covers technical, economic, and environmental aspects, providing valuable insights for professionals in the renewable energy industry, decision-makers, and researchers interested in the sustainable and efficient development of photovoltaic plants. The results not only emphasize the practical feasibility of the project but also its positive impact on reducing carbon emissions and promoting a cleaner and more sustainable energy matrix.

Keywords: photovoltaic plant. miradouro farm. remote self-consumption. renewable energy. sustainability. solar energy generation. carbon emission reduction. sustainable energy matrix.

INTRODUÇÃO

O crescimento econômico e o consumo da energia elétrica sempre foram assuntos correlacionados. O desenvolvimento tecnológico e a progressão industrial são acompanhados pela evolução do consumo de energia através do aumento dos recursos energéticos. Desta forma, ao passo que a humanidade amplia seus conhecimentos a respeito do controle sobre a natureza, surgem novas formas de manuseio desta, para que haja melhorias no padrão de vida de uma sociedade.

Neste contexto, para amenizar os danos da emissão de Gases do Efeito Estufa e mudanças climáticas ocasionadas por atividades urbanas intensas e que liberam uma grande quantidade de CO₂, surge o aproveitamento da energia proveniente da luz solar. Uma das alternativas mais promissoras para o desenvolvimento humano em meio a diversas tentativas de descarbonização do sistema energético. Logo, esta forma de energia é realizada através do efeito fotovoltaico, um processo físico pelo qual a célula fotovoltaica transfigura a luz do sol em eletricidade. Tal processo passou a ter destaque em meados do século XIX quando foi descoberto pelo cientista francês, Alexandre-Edmond Becquerel em 1839, o cientista observou que ao iluminar uma solução ácida houve uma diferença de potencial entre os eletrodos imersos nessa solução, e as primeiras células fotovoltaicas foram fabricadas com selênio em 1883.

Sendo assim, com a crescente expansão populacional e industrial, há a aflição em preservar os recursos naturais objetivando o desenvolvimento sustentável. Nesse cenário, tem se destacado, o crescimento recente da geração distribuída (GD) de energia a partir de fontes renováveis. Esse modelo de geração surgiu como uma resposta para a necessidade de expansão do fornecimento de energia elétrica alinhado às políticas ambientais. Em uma definição mais geral, pode-se dizer que na Geração Distribuída (GD) a geração de energia é feita a partir de sistemas de potência de capacidade reduzida e que ficam alocados próximos ao centro de consumo, sem a necessidade de extensas redes

para a sua transmissão. Essa forma de produção visa o consumo de energia com base no planejamento econômico, industrial e energético. Isto posto, o presente trabalho tem como objetivo central expor a elaboração e execução de uma Usina Fotovoltaica localizada no interior do estado de Minas Gerais, na cidade de Miradouro.

OBJETIVOS

Em síntese, com essa pesquisa objetiva-se por meio de pesquisa bibliográfica, qualitativa, explicativa e linguagem descritiva, expor os métodos utilizados para elaborar um projeto de uma usina fotovoltaica. Neste caso, a atual aplicação dá-se no interior de Minas Gerais, na cidade de Miradouro. Desse modo, o presente planejamento busca implementar uma nova forma para melhorar a qualidade de vida da população residente nesta propriedade rural, através do aproveitamento de uma fonte de energia sustentável.

METODOLOGIA

Inicialmente foram utilizados a pesquisa explicativa e a pesquisa bibliográfica para abordar os pressupostos teóricos a serem usados para justificar a escolha temática e também o processo de fundamentação da energia solar, desde as causas e os efeitos da energia hidrelétrica – a fonte de energia mais utilizada no Brasil – até eclosão da energia proveniente do sol ocasionada pela necessidade de reduzir os danos produzidos por fontes energéticas não renováveis.

Posteriormente, utiliza-se a pesquisa qualitativa em que cálculos de consumo, de potência, energia produzida, dimensionamento de inversores, bitola dos cabos, queda de tensão, número total de painéis fotovoltaicos, dimensionamento das componentes da stringbox são aplicados para obter o orçamento e dimensionamento de todos os componentes do projeto, bem como a viabilidade de sua implementação no local.

Por fim, a pesquisa descritiva foi usada para detalhar os dados que foram analisados provenientes do banco de cálculos. Com base neste método de investigação, apresentou-se a viabilidade da instalação da usina fotovoltaica na Fazenda Miradouro.

MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto da usina foi desenvolvido dentro do modelo de autoconsumo remoto. O autoconsumo remoto permite que o consumidor instale seu sistema gerador em local diferente do local de consumo, ou utilizar o excedente em outras faturas de luz, para isso, ambas devem ter a mesma titularidade e localizadas dentro da área de concessão da mesma distribuidora (ANEEL, 2015). Sendo assim, a modalidade traz ao consumidor a maximização do ganho econômico, pois, permite que seja instalado somente um sistema de geração de energia solar de maior porte e potência, evitando inúmeras instalações menores em locais distintos (SOLARVOLT, 2018).

Análise do Consumo

Nesta primeira etapa do projeto é feito o levantamento do consumo das contas de energia que serão compensadas com a geração da usina. O objetivo da execução da usina será para economia, mas, sobretudo a geração de crédito para compensar em outros pontos de consumo. Constatou-se que a unidade consumidora tem um consumo médio de 3200 kWh mês. A Usina Fotovoltaica tem capacidade de geração de 12 mil kWh mês, o suficiente pra suprir a demanda de consumo da matriz e gerar crédito para outras contas beneficiárias que receberão crédito da geradora.

Análise da Rede Local para realização do projeto

Após análise do consumo é verificado se a rede elétrica do local atenderá a potência que será instalada. Neste caso, temos uma rede trifásica, porém com transformador de baixa potência de 25 kVA de cabos de 35mm. Foi realizado o acréscimo de carga para um transformador de 75 kVA com cabos de 95mm cobre xlpe e a realização de obras para a construção de um novo padrão de entrada de 200 Amperes, conforme exibido na Figura 01, e a concessionária local fará obras na rede para instalação de um transformador de 75 kVA de 13.8/220 delta/estrela para conexão do gerador.

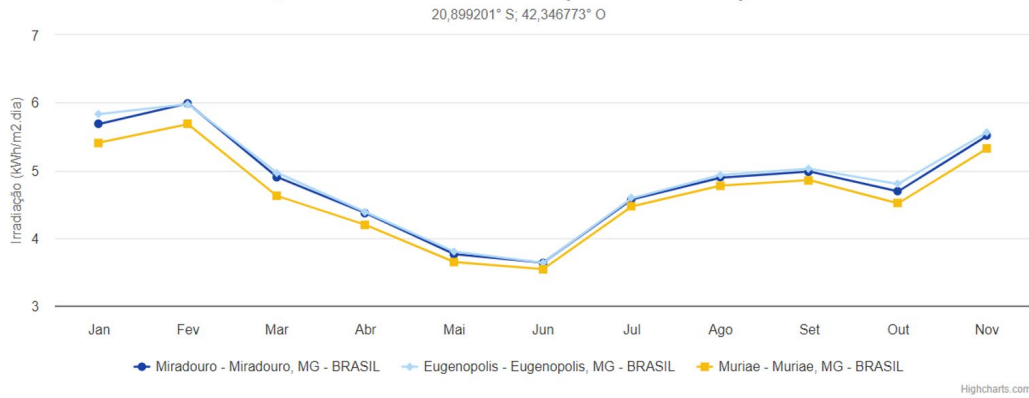
Figura 1 – Padrão em construção.



Análise de dados de radiação solar do local

Para melhor aproveitamento e dimensionamento do sistema de geração de energia fotovoltaica é feita a análise de radiação do local com o auxílio do site CRECESB (Centro De Referência Para Energia Solar E Eólica), e com os dados obtidos é feito o dimensionamento da potência necessária para atender a demanda do cliente. O gráfico exibido na Figura 02 refere-se à região de Miradouro - MG, com os dados de radiação do local.

Figura 2 – Irradiação Solar da localidade Miradouro, MG – BRASIL.



Fonte: CRECESB (Centro De Referência Para Energia Solar E Eólica) 2023

Figura 3 – Irradiação Solar da localidade Miradouro, MG – BRASIL.

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Miradouro
 Município: Miradouro, MG - BRASIL
 Latitude: 20,901° S
 Longitude: 42,349° O
 Distância do ponto de ref. (20,899201° S; 42,346773° O): 3 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,68	5,99	4,90	4,37	3,76	3,64	3,77	4,57	4,89	4,98	4,69	5,51	4,73	2,35
✓	Ângulo igual a latitude	21° N	5,17	5,71	5,01	4,85	4,52	4,59	4,66	5,30	5,17	4,86	4,34	4,95	4,93	1,37
✓	Maior média anual	20° N	5,20	5,74	5,01	4,84	4,49	4,55	4,63	5,28	5,17	4,88	4,37	4,99	4,93	1,37
✓	Maior mínimo mensal	18° N	5,27	5,78	5,02	4,81	4,44	4,48	4,56	5,23	5,16	4,91	4,42	5,06	4,93	1,37

Fonte: CRECESB (Centro De Referência Para Energia Solar E Eólica) 2023

Na Figura 03, verifica-se que a média de radiação por kWh/m² dia é de 4,93 com ângulo igual a latitude de 21°.

Cálculos para a execução e dimensionamento do projeto

Ao analisar os dados da fatura de energia elétrica, verificou-se que o consumo médio mensal dos últimos 12 meses foi de 3200 kWh mês. A usina terá capacidade de geração média de 12000 kWh mês. Logo:

O consumo diário é dado pela equação:

Onde: $C_m = 12000 \text{ kW} \cdot h$

$$E = \frac{C_m}{30} = \frac{12000}{30}$$

Portanto: $E = 400 \text{ kWh/dia}$

Para o projeto em questão serão utilizados 192 módulos fotovoltaicos modelo JKM530M-7TL4-TV fabricados pela Jinko Solar. As especificações do painel estão exibidas na Figura 04.

Figura 4 – Especificações Módulo Fotovoltaico Jinko Solar JKM530M – 7TL4 - TV.

SPECIFICATIONS										
Module Type	JKM525M-72HL4-TV		JKM530M-72HL4-TV		JKM535M-72HL4-TV		JKM540M-72HL4-TV		JKM545M-72HL4-TV	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	525Wp	391Wp	530Wp	394Wp	535Wp	398Wp	540Wp	402Wp	545Wp	405Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	40.61V	37.74V	40.71V	37.88V	40.81V	37.98V	40.91V	38.08V	41.07V	38.18V
Maximum Power Current (Imp)	12.93A	10.35A	13.02A	10.41A	13.11A	10.48A	13.20A	10.55A	13.27A	10.62A
Open-circuit Voltage (Voc)	49.27V	46.50V	49.35V	46.58V	49.42V	46.65V	49.49V	46.71V	49.65V	46.86V
Short-circuit Current (Isc)	13.64A	11.02A	13.71A	11.07A	13.79A	11.14A	13.87A	11.20A	13.94A	11.26A
Module Efficiency STC (%)	20.36%		20.55%		20.75%		20.94%		21.13%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	30A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.35%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									
Refer. Bifacial Factor	70±5%									

BIFACIAL OUTPUT-REAR SIDE POWER GAIN						
5%	Maximum Power (Pmax)	551Wp	557Wp	562Wp	567Wp	572Wp
	Module Efficiency STC (%)	21.38%	21.58%	21.78%	21.99%	22.19%
15%	Maximum Power (Pmax)	604Wp	610Wp	615Wp	621Wp	623Wp
	Module Efficiency STC (%)	23.41%	23.64%	23.86%	24.08%	24.30%
25%	Maximum Power (Pmax)	656Wp	663Wp	669Wp	675Wp	681Wp
	Module Efficiency STC (%)	25.45%	25.69%	25.93%	26.18%	26.42%

*STC:  Irradiance 1000W/m²  Cell Temperature 25°C  AM=1.5
 NOCT:  Irradiance 800W/m²  Ambient Temperature 20°C  AM=1.5  Wind Speed 1m/s

Fonte: Jinko Solar Co., Ltd.

O ângulo de inclinação dos painéis foi de 21°, apontados para o norte geográfico, para otimizar o sistema *On-grid*.

Para este projeto serão instalados 2 inversores da marca PHB dos modelos PHB60KS-MT e PHB15KF-DT com potências nominais de saída iguais a 60 kW e 15 kW. As características elétricas, mecânicas e eficiência destes equipamentos são apresentadas nas Figuras 05 e 06.

Figura 5 – Inversor Solar Fotovoltaico Trifásico PHB 60k.

Dados da Entrada CC		
	PHB35K-MT	PHB60K-MT
Max. Tensão CC [V]	800	1000
Faixa de Operação SPMP [V]	200-650	200-850
Tensão CC de Partida [V]	200	200
Corrente CC Máxima [A]	30/30/30/30	30/30/30/30
Número de Strings / MPPT	12/4	12/4
Conector CC	MC4	
String Box CC Integrado	Interruptor/ Seccionador CC (IEC60947-1 e IEC60947-3) DPS CC classe II (EN50539-11) Fusível gPV15A	
Dados da Saída CA		
Potência CA Nominal [W]	35000	60000
Max. Corrente CA [A]	96	
Saída Nominal CA	220/127Vca; 60Hz	380/220Vca; 60Hz
Faixa de Operação CA	101,6-139,7Vca; 57,5-62Hz	176-242Vca; 57,5-62Hz
THD	<3%	
Fator de Potência	Unitário (0.8 Capacitivo. / 0.8 Indutivo)	
Conexão CA	Trifásico (3F+N+T) ou (3F+T)	
Eficiência		
Max. Eficiência	98,8%	
Eficiência SPMP	>99,9%	
Segurança do Equipamento		
Monitoramento de corrente de fuga	Integrado	
Proteção Anti-ilhamento	AFD	
Monitoramento de Rede	VDE-AR-N 4105, VDE 0126-1-1, EN50438, G59/3, AS4777.2	
NBR (Normas Brasileiras)	ABNT NBR 16149, 16150 e ABNT NBR IEC 62116	

Fonte: PHB Solar

Figura 6 – Inversor Solar Fotovoltaico Trifásico PHB 15k.

Modelo	PHB9000F-DT	PHB12KF-DT	PHB15KF-DT	PHB21KF-DT
Dados de Entrada CC				
Max. tensão CC [V]	800	800	1100	1100
Faixa de operação SPMP [V]	140-650	140-650	140-950	140-950
Tensão de partida CC [V]	180	180	180	180
Corrente máxima CC [A]	30/30	30/30	30/30	30/30
Corrente curto-circuito CC [A]	37,5/37,5	37,5/37,5	37,5/37,5	37,5/37,5
Número de Strings / MPPT	4/2	4/2	4/2	4/2
Conector CC	MC4			
String Box Integrada	Interruptor/ Seccionador CC (IEC60947-1 e IEC60947-3), DPS CC classe II (EN50539-11)			
Dados da Saída CA				
Potência nominal CA [W]	9000	12000	15000	21000
Max. corrente CA [A]	23,7	31,9	24	31,9
Saída nominal CA	220/127 Vca; 60 Hz		380/220 Vca; 60 Hz	
Faixa de operação CA	101,6-139,7 Vca; 57,5-62 Hz		176-242 Vca; 57,5-62 Hz	
THD	<3%			
Fator de potência	Unitário (0.8 Capacitivo. / 0.8 Indutivo)			
Conexão CA	Trifásico (3F+N+PE) ou (3F+PE)			
Eficiência				
Max. eficiência	96,90%	97%	97,90%	98,20%
Eficiência SPMP	>99,9%			
Segurança do Equipamento				
Monitoramento de corrente de fuga	Integrado			
Proteção anti-ilhamento	AFD			
Monitoramento de rede	VDE-AR-N 4105, VDE 0126-1-1/A1, RD1699, G59/2, AS4777.2/3			
NBR (Normas Brasileiras)	ABNT NBR 16149, 16150 e ABNT NBR IEC 62116			

Fonte: PHB Solar

Para adequar a tensão de saída do inversor à tensão da rede da concessionária, foi utilizado um autotransformador 380/220 V - estrela com neutro de potência 100 kVA. O autotransformador será protegido por um disjuntor na entrada de 150A e outro na saída de

corrente máxima nominal de 200 A.

Os painéis devem ser colocados apontados para o norte geográfico, e com inclinação igual a latitude local (nesse caso 21°), para otimização de sistemas on-grid.

De acordo com o CRESEB foram levantados os dados de irradiação solar da cidade de Miradouro. Para o dimensionamento do sistema, o critério adotado foi de utilizar-se o valor médio da irradiação com a inclinação do painel igual à latitude da cidade.

Irradiação escolhida:

$$I_r = 4,93 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$$

O número de horas diárias de sol pleno considerada neste projeto pode ser obtido através da irradiação padrão de 1kW/m^2 e do valor de I_r :

$$HSP = \frac{I_r}{1\text{KW}} = \frac{4,93}{\text{KWH}}$$

$$HSP = 4,93 \text{ kW/m}^2$$

Com base neste dado, conclui-se que por 4,93 horas diárias em dias ensolarados a irradiância alcança níveis próximos a 1 kWh/m^2 , e as placas geram na potência nominal.

O desempenho do sistema fotovoltaico conectado à rede é tipicamente medido pela Taxa de Desempenho (TD), que é a relação entre o desempenho real do sistema sobre o desempenho máximo teórico possível. Essa relação leva em consideração todas as perdas envolvidas como perdas por queda de tensão devido à resistência dos conectores e cabeamento, sujeira na superfície do painel, sombreamento, eficiência do inversor, carregamento do inversor, descasamento entre os módulos, temperatura operacional, dentre outros.

Para esse projeto foi aceita uma margem de perda de 20%, portanto, $TD = 0,80$,

Dessa forma a demanda prevista para ser atendida pelos painéis pode ser calculada:

$$PFV = \frac{E}{\frac{TD}{HSP}} = (400/0,80) / 4,93$$

$$PFV = 101,42 \text{ kWp}$$

Apresentação do orçamento do projeto

Após análise do consumo da rede elétrica e da radiação do local é possível elaborar o orçamento do projeto com os custos e etapas a serem concluídas. A Tabela 01 apresenta o orçamento para a execução e implementação deste projeto.

Tabela 1 – Orçamento do projeto

Produto	Quantidade	Valor Unitário	Total
Nota Fiscal Phb	1	R\$ 234.800,00	R\$ 234.800,00
Estrutura Metálica	1	R\$ 19.200,00	R\$ 19.200,00
Trafo	1	R\$ 7.800,00	R\$ 7.800,00
Cabos Rede 380 De 35 mm	30	R\$ 24,00	R\$ 720,00
Cabos Padrão	1	R\$ 2.500,00	R\$ 2.500,00
Qgbt Insumos	1	R\$ 300,00	R\$ 300,00
Barramento 200	1	R\$ 500,00	R\$ 500,00
Aterramento Cordoalha	110	R\$ 35,00	R\$ 3.850,00
Haste Conector	16	R\$ 75,00	R\$ 1.200,00
Parafuso	410	R\$ 0,40	R\$ 164,00
Peça Fix Placa Central	360	R\$ 3,70	R\$ 1.332,00
Peça Fix Placa Lateral	48	R\$ 3,70	R\$ 177,60
Chapa Base	70	R\$ 20,00	R\$ 1.400,00
Serralheiro	1	R\$ 8.000,00	R\$ 8.000,00
Tinta	8	R\$ 150,00	R\$ 1.200,00
Padrão 200a	1	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00
Concreto	1	R\$ 2.000,00	R\$ 2.000,00
Coluna Ferro	1	R\$ 270,00	R\$ 270,00
Serviços De Pedreiro	1	R\$ 900,00	R\$ 900,00
Comissão	1	R\$ 2.827,71	R\$ 2.827,71
Materiais Diversos	1	R\$ 3.234,25	R\$ 3.234,25
Impostos	1	R\$ 2.624,44	R\$ 2.624,44
Mao De Obra Bruta	1	R\$ 40.000,00	R\$ 40.000,00
Total			R\$ 350.000,00

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implementação bem-sucedida da Usina Fotovoltaica Fazenda Miradouro, Figura 07, com uma potência de 101,76 kWp, superou as expectativas ao gerar, em média, 12.000 kWh/mês para atender à demanda do cliente e possibilitar a comercialização de créditos injetados na rede elétrica. Este êxito acrescenta uma camada adicional de sustentabilidade ao projeto, beneficiando-se da geração de energia proveniente do sol. A análise realizada com base nos dados coletados por dispositivos de medição e inversores conectados à rede demonstrou que os valores obtidos estão em conformidade com as expectativas do projeto.

Considerando um custo de R\$ 0,97 por kWh e um investimento total de R\$ 350.000,00 na usina, os resultados indicam uma média anual de 12.000 kWh por mês, sujeita a variações de acordo com as condições atmosféricas, limpeza e manutenção dos módulos e do sistema como um todo. Com esses dados, a economia mensal é calculada como 12.000 kWh * 0,97, resultando em R\$ 11.640,00. O retorno do investimento é estimado em cerca de 30,06 meses, ou aproximadamente 2,5 anos, confirmando a viabilidade econômica do projeto. É crucial destacar que o sucesso foi alcançado sem a incidência de juros no valor investido, uma vez que o montante total foi descontado de uma só vez.

Figura 7 – Usina Fotovoltaica concluída.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além dos benefícios econômicos, este projeto contribui significativamente para a redução das emissões de carbono, promovendo uma matriz energética mais limpa e eficiente. A ausência de incidência de juros no investimento, devido ao seu pagamento integral, destaca a eficiência financeira dessa abordagem.

Em resumo, a Usina Fotovoltaica Fazenda Miradouro não apenas atingiu, mas ultrapassou as expectativas, consolidando-se como um exemplo inspirador de sucesso na integração de tecnologias sustentáveis, proporcionando benefícios tanto para o cliente quanto para o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. de O. L. **Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid**. Universidade Federal de Ouro Preto, João Molevade, MG, 2019. Disponível em: <[https://200.239.128.125/bitstream/35400000/2019/6/MONOGRAFIA_EnergiaSolarEstudo.p df](https://200.239.128.125/bitstream/35400000/2019/6/MONOGRAFIA_EnergiaSolarEstudo.pdf)>. Acesso em: 09 de maio de 2023

URBANETZ, J. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis, 2010.

MICRO Geração Distribuída. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>> Acesso em: 16 de Maio de 2023.

ANEEL, Resolução Normativa Nº. 687. Brasília: ANEEL, de 24 de novembro de 2015. Acesso em: 17 de Maio de 2023.

ANEEL, Legislação 2012 <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=342518>>. Acesso em: 17 de Maio de 2023.

TAXA de distribuição <<https://investidor.estadao.com.br/educacao-financeira/energia-solar-taxacao-vale-a-pena/>> Acesso em: 17 de Maio de 2023.

AUTOCONSUMO remoto. Disponível em: <<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/autoconsumo-remoto-o-que-e-e-como-pode-te-beneficiar/>> Acesso em: 22 de Maio de 2023.

PINHO, J. T. et. al. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Grupo de Trabalho de Energia Solar - GTES, 2014. Acesso em: 26 de Maio de 2023

ALVES, D. L. **Geração Solar Fotovoltaica – Conceitos Básicos**. Versão 0.9.1. Rio Grande do Norte, 2016. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/dennysalves/disciplinas/energia-solar-fv/apostila_geracao_solar_fv_0.9.1>. Acesso em: 26 de Maio de 2023.

PHB SOLAR. Datasheet do produto PHB60K-MT INVERSOR FOTOVOLTAICO. São Paulo, 2021. Disponível em: file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/Inversor-PHB60K-MT-datasheet-v2.2.pdf

PHB SOLAR. Datasheet do produto PHB60K-MT INVERSOR FOTOVOLTAICO. São Paulo, 2021. Disponível em: https://www.plataformaphbsolar.com.br/imagensite/inversores/datasheet/inversor_mt.pdf

JINKO Solar. Datasheet do produto JKM530M- 7TL4-TV MÓDULO FOTOVOLTAICO. Disponível em: <https://www.vicoexport.com/wp-content/uploads/2020/05/Jinko-Solar-Tiger-Pro-TR-Monofacial-JKM510-530M-7TL4-V-D4-vico-export-solar-energy.pdf>.

Projeto de sistema fotovoltaico de 12,12 KWP

12.12 KWP Photovoltaic system project

Arthur da Silva Marcolongo

Graduando em Engenharia Elétrica

Caio Eiras de Freitas Sodré

Graduando em Engenharia Elétrica

Victor da Silva Santos

Graduado em Engenharia Elétrica Pós-Graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho

Rafael Lima de Oliveira

Mestre em Engenharia Elétrica <http://lattes.cnpq.br/6212659806406513>

RESUMO

A energia solar emergiu como uma das fontes de energia renovável mais promissoras nas últimas décadas. Este artigo explora o potencial da energia solar como uma fonte de energia renovável, tendo em vista a crise energética no Brasil, causada pela escassez de chuvas que afeta as hidrelétricas, levando a uma exploração crescente de fontes alternativas de energia. O foco principal está na energia solar fotovoltaica, destacando seu funcionamento, benefícios e desafios. É destacado o panorama promissor da energia solar no Brasil, com aumento da capacidade instalada, crescimento da geração distribuída e projetos híbridos, além da importância da energia solar na redução de emissões de gases de efeito estufa e no desenvolvimento econômico, concluindo que a energia solar desempenhará um papel central na transição para um sistema de energia mais limpo e sustentável. Por fim, é apresentado o dimensionamento e o estudo de viabilidade para implantação do sistema fotovoltaico de 12,12 kWp proposto.

Palavras-chave: energia solar. estudo de viabilidade do sistema fotovoltaico. fontes renováveis.

ABSTRACT

Solar energy emerging as one of the most promising renewable energy sources in recent decades. This article explores the potential of solar energy as a renewable energy source, in view of the crisis in Brazil, caused by the lack of rain affecting hydroelectric plants, leading to an increasing exploration of alternative energy sources. The main focus is photovoltaic



solar energy, highlighting its operation, benefits and challenges. The promising panorama of solar energy in Brazil is highlighted, with an increase in installed capacity, growth in distributed generation and hybrid projects, in addition to the importance of solar energy in reducing greenhouse gas emissions and economic development, concluding that solar energy will play a central role in the transition to a cleaner and more sustainable energy system. Finally, the sizing and feasibility study for implementing the proposed 12.12 kWp photovoltaic system is presented.

Keywords: solar energy. feasibility study of the photovoltaic system. renewable sources.

INTRODUÇÃO

O fornecimento contínuo de energia elétrica é fundamental para a vida humana. É difícil imaginar uma sociedade sem toda a gama de serviços que a eletricidade possibilita: iluminação, atividades industriais e hospitalares, fornecimento de água, serviços de comunicação, etc. (INBRAEP, 2023)

A busca por fontes de energia limpas e sustentáveis tem se tornado cada vez mais relevante devido às preocupações ambientais e à necessidade de reduzir a dependência de fontes não renováveis. A energia solar fotovoltaica tem se destacado como uma opção promissora, oferecendo vantagens como a abundância da fonte de energia, a redução das emissões de gases de efeito estufa e a possibilidade de geração distribuída.

Ao longo da história, a humanidade tem utilizado diferentes formas de energia para suprir suas necessidades. Inicialmente, as fontes de energia utilizadas eram principalmente a lenha e o carvão, mas com o avanço tecnológico, novas formas de energia foram descobertas e exploradas, como o petróleo e o gás natural. No entanto, essas fontes de energia fósseis são finitas e causam impactos ambientais significativos (Caldas, 2016).

Nos últimos anos, tem havido um movimento em direção a fontes de energia renováveis, como a energia solar, eólica, hidrelétrica e biomassa. Essas fontes oferecem benefícios em termos de sustentabilidade e redução das emissões de carbono, além de serem virtualmente inesgotáveis (IEA, 2020).

No caso específico do Brasil, a matriz energética é composta por uma diversidade de fontes, com destaque para a energia hidrelétrica. No entanto, a dependência excessiva desse tipo de fonte traz desafios, como a vulnerabilidade à escassez de chuvas e a necessidade de construção de grandes barragens (EPE, 2021).

Com relação à energia solar fotovoltaica, o Brasil tem um grande potencial, dada a sua localização geográfica privilegiada e a alta incidência de radiação solar em várias regiões do país. No entanto, ainda há um grande espaço para expansão e aproveitamento desse recurso (MME, 2020).

Diante desse contexto, e tendo em vista que o imenso potencial de energia solar no Brasil está se tornando cada vez mais evidente, é fundamental explorar e incentivar o uso da energia solar fotovoltaica como uma alternativa sustentável e viável para suprir a demanda

energética. Portanto, isso leva ao seguinte problema científico: Qual a eficiência de um sistema fotovoltaico de 12,12 kWp para uma residência, bem como o custo e viabilidade do projeto?

O presente trabalho tem como objetivo geral: projetar uma usina de geração de energia fotovoltaica de 12,12 kWp para uma residência. Para isso o trabalho seguirá os seguintes objetivos específicos que serão aprofundados no decorrer dos capítulos: analisar o consumo da unidade consumidora; projetar o sistema fotovoltaico e; apresentar o orçamento do projeto, bem como uma análise financeira de *payback*.

A pesquisa é constituída em cinco seções, já com a incorporação da seção de Introdução apresentada. A seção 2 inclui a metodologia aplicada ao desenvolvimento do projeto. A seção 3 abrange a fundamentação teórica e o desenvolvimento do projeto. A seção 4 apresenta os resultados e discussões. A seção 5 se encerra com a conclusão do projeto.

METODOLOGIA

De acordo com Gil (1946), a pesquisa bibliográfica se fundamenta em materiais previamente publicados, tais como artigos científicos, trabalhos de conclusão de curso, anais de eventos, teses, dissertações e livros. O presente estudo foi conduzido seguindo um conjunto de etapas detalhadas a seguir.

A primeira fase compreende a exploração do tópico central do estudo, acompanhada de uma análise preliminar da literatura para estabelecer uma base teórica que aborde a questão central proposta. A segunda etapa envolveu a identificação das fontes utilizadas para alcançar os objetivos estabelecidos. Nesse processo, foram selecionadas duas bases de dados: Google Acadêmico e SciELO. As palavras-chave escolhidas para a pesquisa incluíram “Energia solar”, “Estudo de viabilidade do sistema fotovoltaico” e “Fontes renováveis”.

Os critérios de inclusão da pesquisa abrangem documentos redigidos em português ou inglês, publicados nos últimos 10 anos, sujeitos à revisão por pares e disponíveis integralmente de forma gratuita. Entre os autores predominantes nas referências deste trabalho destacam-se Galdino (2020), Santana (2021) e Rütther (2017). A análise concentrou-se principalmente em artigos publicados ao longo da última décadas.

REFERENCIAL TEÓRICO

Matriz Energética Brasileira

A matriz energética brasileira é composta por uma diversidade de fontes de energia, sendo a energia hidrelétrica a mais predominante. No entanto, é importante analisar os diferentes grupos de fontes de energia que contribuem para a composição dessa matriz, a fim de entender a sua estrutura e possíveis desafios.

Fontes Hidrelétricas: As usinas hidrelétricas são responsáveis por uma parcela

significativa da geração de energia no Brasil. A abundância de recursos hídricos no país possibilitou a construção de grandes barragens para a geração de energia elétrica. A energia hidrelétrica é considerada uma fonte renovável, pois utiliza a força da água em movimento para gerar eletricidade. No entanto, a dependência excessiva dessa fonte de energia pode trazer desafios, como a vulnerabilidade à escassez de chuvas e a necessidade de construção de novas barragens (EPE, 2021).

Fontes Fósseis: O Brasil também utiliza fontes de energia fósseis, como o petróleo, o gás natural e o carvão mineral. Essas fontes são finitas e não renováveis, além de causarem impactos ambientais significativos, como a emissão de gases de efeito estufa. No entanto, o petróleo e o gás natural desempenham um papel importante na matriz energética brasileira, especialmente no setor de transporte e na geração termelétrica (Caldas, 2016).

Energia Nuclear: O Brasil possui duas usinas nucleares em operação, Angra 1 e Angra 2, que contribuem para a geração de energia elétrica. A energia nuclear é considerada uma fonte de energia limpa em termos de emissões de gases de efeito estufa, porém enfrenta desafios relacionados à segurança e ao gerenciamento de resíduos nucleares (ABEN, 2020).

Fontes Renováveis: O Brasil possui um grande potencial para o aproveitamento de fontes de energia renováveis. Destacam-se a energia solar, a energia eólica, a biomassa e outras fontes renováveis menores. A energia solar fotovoltaica, em particular, tem ganhado destaque devido à alta incidência de radiação solar em várias regiões do país. A diversificação da matriz energética com o aumento da participação de fontes renováveis é fundamental para a sustentabilidade e para a redução das emissões de carbono (MME, 2020).

A predominância da energia hidrelétrica é evidente, mas a dependência excessiva dessa fonte ressalta a necessidade de explorar outras fontes de energia renovável, como a solar e a eólica. Além disso, a utilização de fontes fósseis e nucleares requer uma análise cuidadosa dos impactos ambientais e dos desafios associados.

A energia solar fotovoltaica se destaca como uma alternativa promissora, dada a abundância de radiação solar no Brasil. Estudos e relatórios mostram que o país tem um enorme potencial a ser explorado nessa área, tanto em termos de geração centralizada quanto de geração distribuída. A diversificação da matriz energética, com maior participação de fontes renováveis, é uma estratégia fundamental para reduzir a dependência de fontes não renováveis e mitigar os impactos ambientais.

No contexto do projeto em questão, a escolha pela implementação de um sistema fotovoltaico de 12,12 kWp para uma residência está alinhada com as tendências de busca por fontes de energia limpas e sustentáveis. Ao projetar e implementar esse sistema, será possível aproveitar o potencial solar do Brasil, reduzir as emissões de gases de efeito estufa e obter benefícios econômicos por meio da redução dos custos com energia elétrica.

Sistemas de geração fotovoltaico

Sistemas de geração fotovoltaica têm se mostrado uma opção cada vez mais viável e atraente para a produção de energia elétrica a partir da luz solar. Essa tecnologia utiliza painéis solares fotovoltaicos para converter a energia solar em eletricidade, proporcionando

uma fonte de energia limpa e renovável. No contexto brasileiro, diversos estudos têm abordado o tema, fornecendo informações relevantes sobre os sistemas fotovoltaicos e suas aplicações.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em duas categorias principais: sistemas conectados à rede elétrica e sistemas isolados. No caso dos sistemas conectados à rede elétrica, a energia gerada pelos painéis solares é injetada na rede elétrica, permitindo que o consumidor compense seu consumo de energia com a geração solar excedente. Esses sistemas podem trazer benefícios econômicos significativos, como a redução da conta de energia elétrica e até mesmo a possibilidade de venda do excedente de energia para a concessionária local (Brito *et al.*, 2020).

Por outro lado, os sistemas fotovoltaicos isolados são utilizados em locais remotos ou em áreas onde não há acesso à rede elétrica convencional. Nesses casos, a energia solar captada pelos painéis é armazenada em baterias para suprir a demanda energética durante períodos de baixa radiação solar. Esses sistemas têm sido aplicados, por exemplo, em comunidades rurais e em projetos de eletrificação em regiões distantes (Galdino *et al.*, 2018).

No Brasil, a energia solar fotovoltaica tem experimentado um crescimento significativo nos últimos anos, impulsionado por políticas de incentivo, redução de custos e conscientização ambiental. Diversos estudos têm sido conduzidos para avaliar o potencial solar do país, identificar as melhores tecnologias e estratégias de implantação, e analisar os aspectos técnicos, econômicos e ambientais dos sistemas fotovoltaicos (ANEEL, 2020; Pereira *et al.*, 2019).

Além disso, pesquisas têm buscado aprimorar a eficiência dos painéis solares, desenvolver técnicas de integração arquitetônica para sistemas fotovoltaicos em edifícios, estudar o impacto da variabilidade da radiação solar na geração de energia e avaliar a sustentabilidade dos sistemas fotovoltaicos ao longo de seu ciclo de vida (Rüther *et al.*, 2017; Zilles *et al.*, 2021).

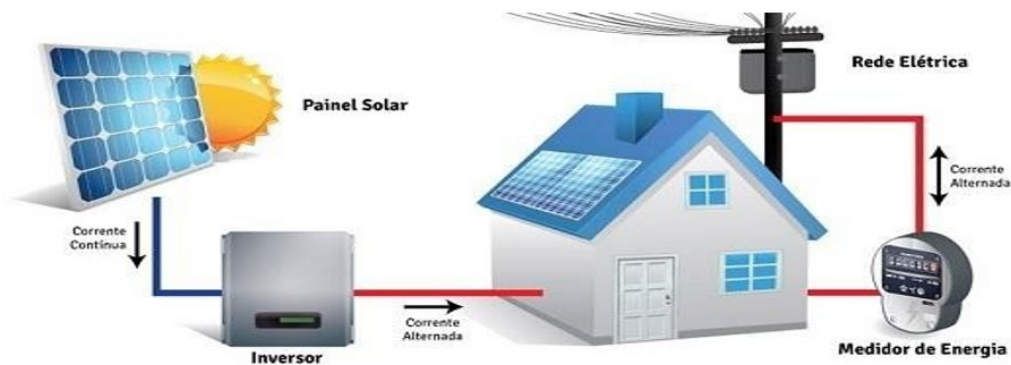
É importante ressaltar que a implantação de sistemas fotovoltaicos requer análises criteriosas, levando em consideração fatores como a localização geográfica, a inclinação e orientação dos painéis solares, a demanda de energia, a viabilidade econômica e as regulamentações locais. Estudos específicos têm sido desenvolvidos para orientar o dimensionamento adequado dos sistemas, considerando as necessidades energéticas de diferentes tipos de consumidores, desde residências até indústrias (Galdino *et al.*, 2020; Santana *et al.*, 2021).

Em suma, os sistemas de geração fotovoltaica têm se mostrado uma solução promissora para a produção de energia elétrica limpa e renovável. No Brasil, diversos estudos têm contribuído para a expansão e aperfeiçoamento dos sistemas fotovoltaicos, fornecendo insights sobre o potencial solar do país, as tecnologias mais adequadas, os aspectos técnicos, econômicos e ambientais, e as melhores práticas de dimensionamento e implantação.

Sistema On-Grid

Um sistema fotovoltaico *on-grid*, também conhecido como sistema conectado à rede, é um tipo de sistema de geração de energia solar que está interligado à rede elétrica convencional. Nesse sistema, a energia gerada pelos painéis solares é utilizada diretamente na residência ou estabelecimento e o excedente é injetado na rede elétrica, gerando créditos de energia. O sistema fotovoltaico *on-grid* é ilustrado na Figura 1 a seguir.

Figura 1 - Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.



Fonte: CSR (2018).

Uma das principais vantagens do sistema *on-grid* é a possibilidade de aproveitar a infraestrutura da rede elétrica existente. Isso significa que não é necessário armazenar a energia gerada, já que é possível consumir eletricidade da rede quando a geração solar é insuficiente, como à noite ou em dias nublados. Além disso, o excedente de energia produzido durante o dia é direcionado para a rede elétrica, resultando em créditos que podem ser utilizados para abater o consumo nos momentos em que a geração solar é menor.

Outro aspecto positivo do sistema *on-grid* é a possibilidade de participar de programas de compensação de energia, como a chamada “*net metering*”. Nesse sistema, o consumidor recebe créditos na conta de energia elétrica quando a geração solar é maior que o consumo, e utiliza esses créditos para compensar o consumo nos períodos em que a geração é menor. Isso proporciona uma redução significativa nos custos com eletricidade e pode até mesmo resultar em um saldo positivo ao final do ano.

No contexto brasileiro, o sistema *on-grid* tem se destacado como uma opção viável e atrativa para a geração de energia solar. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabeleceu regras e regulamentações para a conexão de sistemas fotovoltaicos à rede elétrica, garantindo a segurança e a qualidade da energia gerada. Além disso, o Brasil possui um excelente potencial solar, o que torna a instalação de sistemas fotovoltaicos uma alternativa cada vez mais interessante.

Estudos realizados no Brasil têm abordado diferentes aspectos relacionados aos sistemas fotovoltaicos *on-grid*. Por exemplo, o estudo de Brito *et al.* (2020) analisou a viabilidade técnico-econômica da geração distribuída fotovoltaica conectada à rede para consumidores residenciais. Já o estudo de Rütther *et al.* (2017) avaliou o desempenho de um sistema fotovoltaico no sul do Brasil. Essas pesquisas contribuem para o conhecimento

e aprimoramento dos sistemas *on-grid* no contexto brasileiro.

Em suma, os sistemas fotovoltaicos *on-grid* são uma solução eficiente e sustentável para a geração de energia solar. Ao aproveitar a infraestrutura da rede elétrica e participar de programas de compensação, esses sistemas oferecem benefícios tanto ambientais quanto econômicos. Com o potencial solar do Brasil e o apoio de regulamentações específicas, espera-se que os sistemas *on-grid* continuem crescendo e contribuindo para a matriz energética do país.

Sistema Off-Grid

Um sistema fotovoltaico *off-grid*, também conhecido como sistema autônomo, é um tipo de sistema de geração de energia solar que opera de forma independente e não está conectado à rede elétrica convencional. Nesse sistema, a energia gerada pelos painéis solares é armazenada em baterias para uso posterior, suprimindo a demanda energética quando não há geração solar disponível.

Uma das principais características do sistema *off-grid* é a capacidade de fornecer energia em locais remotos ou isolados, onde não há acesso à rede elétrica. Esses sistemas são especialmente relevantes em áreas rurais, comunidades isoladas e em projetos que exigem uma fonte de energia autossuficiente. Além disso, o sistema *off-grid* oferece independência energética e reduz a dependência de fontes de energia não renováveis.

No contexto brasileiro, o sistema *off-grid* tem sido adotado em diferentes situações. Estudos como o de Galdino *et al.* (2018) analisaram o acesso à energia em comunidades isoladas no Brasil e destacaram a viabilidade e os benefícios da energia solar fotovoltaica *off-grid*, especialmente em regiões onde a extensão da rede elétrica é inviável.

Uma das principais considerações ao projetar um sistema *off-grid* é o dimensionamento adequado dos componentes. É necessário analisar o consumo de energia da carga, considerar a capacidade de armazenamento das baterias e dimensionar corretamente o número e a capacidade dos painéis solares. Estudos como o de Santana *et al.* (2021) têm se dedicado a avaliar o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos aplicados a projetos residenciais, contribuindo para o conhecimento e aprimoramento desses sistemas.

Outro aspecto importante do sistema *off-grid* é a gestão eficiente da energia armazenada. É necessário monitorar o estado de carga das baterias, equilibrar o consumo energético e garantir a disponibilidade de energia mesmo em períodos de menor geração solar. Estudos como o de Zilles *et al.* (2021) têm abordado a avaliação do ciclo de vida de sistemas fotovoltaicos residenciais no Brasil, contribuindo para a compreensão dos aspectos ambientais e técnicos desses sistemas.

Em resumo, o sistema fotovoltaico *off-grid* oferece uma solução autônoma e independente de geração de energia solar. Ele permite o fornecimento de eletricidade em áreas remotas, proporciona autonomia energética e reduz a dependência de fontes não renováveis. Com estudos e pesquisas contínuas, espera-se que o sistema *off-grid* continue sendo aprimorado, contribuindo para a ampliação do acesso à energia sustentável em diferentes contextos.

Sistema Híbrido

Um sistema híbrido de geração de energia fotovoltaica combina a tecnologia solar com outra fonte de energia, geralmente armazenamento de baterias ou geradores a diesel. Essa abordagem permite obter um suprimento de energia estável e confiável, mesmo em situações em que a geração solar não é suficiente, como durante a noite ou em períodos de baixa radiação solar. O sistema híbrido é especialmente útil em áreas remotas ou isoladas, onde o acesso à rede elétrica pode ser limitado.

No sistema híbrido, a energia solar é captada por meio dos painéis fotovoltaicos, que convertem a luz solar em eletricidade de corrente contínua (CC). Essa eletricidade é então direcionada para o sistema de armazenamento de baterias, onde é armazenada para uso posterior. As baterias fornecem energia durante períodos em que a geração solar é insuficiente, como durante a noite ou em dias nublados.

Além das baterias, o sistema híbrido também pode incorporar um gerador a diesel. O gerador a diesel entra em funcionamento quando as baterias estão descarregadas ou quando a demanda de energia é maior do que a capacidade de geração solar e armazenamento das baterias. O gerador a diesel fornece energia adicional para atender às necessidades de consumo e, ao mesmo tempo, recarrega as baterias, garantindo um suprimento contínuo de energia.

A vantagem do sistema híbrido é que ele oferece maior autonomia e flexibilidade em comparação com sistemas puramente solares ou sistemas isolados. As baterias permitem armazenar o excesso de energia gerada durante o dia para uso noturno, reduzindo a dependência da geração solar em tempo real. Além disso, a presença do gerador a diesel garante um fornecimento contínuo de energia, mesmo em condições climáticas desfavoráveis ou em situações de alta demanda.

Os sistemas híbridos têm sido amplamente utilizados em áreas remotas e isoladas, como comunidades rurais e indígenas, onde o acesso à rede elétrica convencional é limitado. Esses sistemas fornecem eletricidade confiável para iluminação, eletrodomésticos, equipamentos agrícolas e outras necessidades básicas, melhorando a qualidade de vida das comunidades e contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

O estudo de Galdino *et al.* (2018) analisou o acesso à energia em comunidades isoladas e apresentou um caso de estudo da energia solar fotovoltaica na comunidade de Cajueiro, no Brasil. Outro estudo realizado por Santana *et al.* (2021) avaliou a dimensionamento de sistemas fotovoltaicos híbridos aplicados a projetos residenciais.

A implementação de sistemas híbridos no Brasil tem se mostrado uma solução eficaz para fornecer energia confiável em áreas remotas, contribuindo para a universalização do acesso à eletricidade e para a redução do uso de fontes de energia convencionais. Esses sistemas também desempenham um papel importante na redução das emissões de gases de efeito estufa, uma vez que combinam a geração de energia solar limpa com fontes de energia mais sustentáveis do que os geradores a diesel.

Além disso, a implementação de sistemas híbridos no Brasil também pode trazer benefícios econômicos. A redução da dependência de combustíveis fósseis para a geração

de energia contribui para a mitigação dos custos associados à importação de combustíveis e à volatilidade dos preços internacionais. Além disso, a utilização de sistemas híbridos pode proporcionar economia de custos a longo prazo, uma vez que a energia solar é uma fonte gratuita e abundante, reduzindo a necessidade de aquisição contínua de combustível para os geradores a diesel.

A implementação de sistemas híbridos requer um planejamento adequado, levando em consideração as características específicas de cada localidade, como a demanda de energia, a disponibilidade de radiação solar, a capacidade de armazenamento de baterias e a eficiência dos geradores a diesel. Estudos como o de Rüter *et al.* (2017) analisam o desempenho de sistemas fotovoltaicos híbridos em diferentes regiões do Brasil, considerando aspectos técnicos e econômicos.

Portanto, os sistemas híbridos de geração de energia fotovoltaica oferecem uma solução eficiente e sustentável para fornecer eletricidade confiável em áreas remotas ou isoladas. A combinação da energia solar com o armazenamento de baterias e geradores a diesel permite uma maior autonomia e flexibilidade no fornecimento de energia, reduzindo a dependência de fontes convencionais e contribuindo para a sustentabilidade ambiental e econômica. A implementação desses sistemas no Brasil tem demonstrado resultados positivos, melhorando o acesso à eletricidade e promovendo o desenvolvimento sustentável.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo de caso apresentado neste documento se concentrou no desenvolvimento, tendo como referência o consumo típico de uma residência de classe média localizada no Rio de Janeiro. As seguintes suposições foram adotadas para a análise:

- Local de instalação: Rio de Janeiro – RJ.
- A instalação será realizada em um telhado colonial.
- A categoria de serviço do cliente é Residencial Bifásico.
- O valor da tarifa utilizada nos cálculos foi de R\$ 0,95/kWh.

A Figura 2 apresenta a média diária de irradiação da cidade do Rio de Janeiro, em kWh/m².dia, como informação base para o cálculo do processo de dimensionamento. Além disso, o Gráfico 1 vai apresentar os índices de medição da unidade geradora para os meses de um único ano.

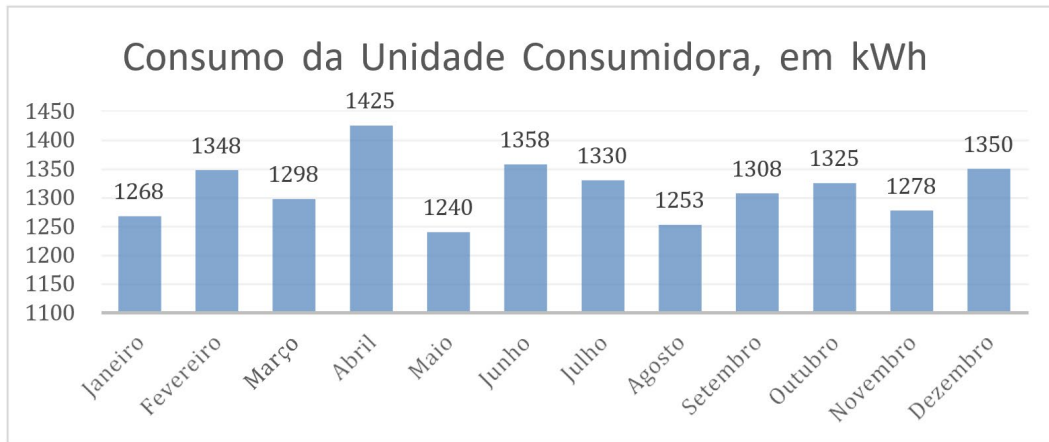
Figura 2 - Média diária de irradiação do Rio de Janeiro.

Estação: Rio de Janeiro
Município: Rio de Janeiro , RJ - BRASIL
Latitude: 22,901° S
Longitude: 43,349° O
Distância do ponto de ref. (22,889767° S; 43,386804° O):4,1 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	6,01	6,20	5,03	4,36	3,60	3,35	3,33	4,18	4,40	5,05	5,10	5,81	4,70	2,86
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	23° N	5,42	5,91	5,18	4,93	4,44	4,33	4,20	4,93	4,67	4,92	4,69	5,18	4,90	1,71
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	20° N	5,53	5,98	5,19	4,89	4,36	4,23	4,11	4,86	4,66	4,97	4,77	5,29	4,90	1,87
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	32° N	5,04	5,61	5,07	5,00	4,62	4,57	4,40	5,06	4,63	4,73	4,40	4,79	4,83	1,21

Fonte: CRESESB, (2023).

Gráfico 1 – Consumo da Unidade Consumidora, em kWh.



Fonte: o autor (2023).

Dimensionamento da usina fotovoltaica

A irradiação solar média diária, de acordo com dados do CRESESB, na cidade do Rio de Janeiro – RJ, é estimada em 4,83 quilowatts-hora por metro quadrado dia (kWh/m².dia), considerando o maior mínimo mensal, tendo em vista que os módulos fotovoltaicos serão instalados em telhado cerâmico/colonial, e não será possível ajustar a inclinação de acordo com a latitude do local para melhor aproveitamento da irradiação.

$$HSP = \frac{Ir}{k} \quad (1)$$

Onde,

HSP: horas de sol pleno, em horas/dia;

Ir: irradiação solar média diária, em kWh/m².dia;

k: taxa constante de 1 kW/m².

$$HSP = \frac{4,83 \text{ kWh/m}^2}{1 \text{ kW/m}^2} = 4,83 \text{ h. dia}$$

O município do Rio de Janeiro registrou uma média de 4,83 horas de Sol Pleno. Com base nesse dado, é possível proceder com o cálculo da Potência de Pico, conforme indicado pela Equação 2. Para o dimensionamento do sistema todas as perdas envolvidas são consideradas, como perdas por queda de tensão devido à resistência de conectores e cabeamento, sujeira na superfície do painel, sombreamento, eficiência do inversor, carregamento do inversor, descasamento (*mismatch*) entre módulos de mesmo modelo (diferenças entre as suas potências máximas), resposta espectral, temperatura operacional, dentre outras. Portanto, para sistemas residenciais, é recomendado utilizar uma eficiência entre 70 e 80% (Pinho, 2014). Sendo assim, o sistema fotovoltaico será dimensionado com uma taxa de desempenho de 75% e uma média mensal de consumo de 1.315 kWh. É importante destacar que, mesmo com a implementação de energia fotovoltaica, o cliente continua a pagar à concessionária de energia a tarifa mínima.

No contexto deste estudo de caso, a categoria de serviço do cliente como residencial bifásico, o que implica que a tarifa mínima que ele paga equivale a 50 kWh por mês. Portanto, ao dimensionar o sistema de energia solar, podemos subtrair o valor da tarifa mínima (50 kWh) do consumo médio mensal do cliente (1.315 kWh).

$$P_p = \frac{(C_m - T_m)}{HSP * 30} \quad (2)$$

P_p : potência de pico do sistema, em kWp;

C_m : consumo médio mensal, em kWh;

T_m : taxa mínima de energia, em kWh;

TD: taxa de desempenho;

HSP: horas de sol pleno, em horas/dia (é multiplicado por 30 para calcular o valor mensal).

$$P_p = \frac{(1.315 - 50)}{4,83 * 30} = 11,64 \text{ kWp}$$

Portanto, com os dados relativos à potência máxima disponível, é viável, por meio da aplicação da Equação 3, calcular o número de painéis solares requeridos para atender à carga desejada, considerando uma potência máxima por módulo de 505 *watts*, ou 0,505 *quilowatts* pico (kWp).

$$n = \frac{P_p}{P_{ps}} \quad (3)$$

Onde,

n : número de painéis solares;

P_p : potência de pico do sistema, em kWp;

P_{ps} : potência máxima do painel solar, em kWp.

$$n = \frac{11,64}{0,505} = 23,05 \text{ módulos}$$

Dado que não é factível dimensionar uma fração de 23,05 módulos, arredondando o número para cima, resultando na necessidade de 24 módulos para atender à demanda do cliente. Portanto, a potência máxima do sistema será:

$$P_p = n \times P_{ps} \quad (4)$$

Onde,

P_p : potência de pico do sistema, em kWp;

n : número de painéis solares;

P_{ps} : potência máxima do painel solar, em kWp.

$$P = 24 \times 0,505 = 12,12 \text{ kWp}$$

Com base nas informações técnicas disponibilizadas pelos fabricantes dos painéis solares e dos inversores, e com o objetivo de otimizar o desempenho do sistema fotovoltaico, o dimensionamento da usina utilizou micro inversores na configuração. Portanto, o arranjo fotovoltaico será composto por 24 painéis solares e 6 micro inversores, porque, a partir das especificações técnicas dos micro inversores, cada um desses equipamentos suporta até 4 painéis solares na sua configuração.

Por fim, depois de completar o processo de dimensionamento e estabelecer a potência do sistema, podemos proceder com o cálculo da geração estimada:

$$E_g = P_p \times HSP \times TD \times 30 \quad (5)$$

Onde,

E_g : energia média mensal gerada, em kWh;

P_p : potência de pico do sistema, em kWp;

TD: taxa de desempenho;

HSP: horas de sol pleno, em horas/dia (é multiplicado por 30 para calcular o valor mensal).

$$E = 12,12 \times 4,83 \times 30 \times 0,75 = 1.317 \text{ kWh/mês}$$

Portanto, a usina sugerida é capaz de suprir a média mensal de energia necessária (1.265 kWh) para atender à demanda do cliente.

A partir do dimensionamento realizado, o orçamento dos equipamentos fotovoltaicos foi desenvolvido em colaboração com a GENYX, uma empresa especializada na oferta de equipamentos fotovoltaicos, conforme Figura 3.

Além do orçamento dos equipamentos fotovoltaicos foram levantados todos os serviços e equipamentos necessários para a instalação e funcionamento da Usina proposta. Portanto, na Figura 4, é apresentado um orçamento completo para implantação da Usina.

Figura 3 - Orçamento dos Equipamentos CC da Usina de 12,12 kWp.

ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	QTD
1	1086	Módulo Fotovoltaico XPower 505Wp - 132 Células - MONOCRISTALINO - Monofacial - XP-505W-66MDH	24
2	889	Micro Inversor Hoymiles HMS-1800 - 1,8kW - 4Mppt - 220V	6
3	2014	Ac Box-Clamper-32A ME-Com Wattmetro	2
4	431	Perfil Regular Smart 3,3M Solar Group	18
5	434	Grampo Terminal Smart 30/35/40mm Solar Group	8
6	433	Grampo Intermediario Smart 30/35/40mm Solar Group	44
7	1647	Junção U 14Cm Alumínio - Solar Group	16
8	98	Fita Epdm Smart Solar Group	33
9	279	Suportes Ganchos Gancho	42
10	212	Porca p/ Cabeça De Martelo M8 Inoxpar	12
11	2149	PARAFUSO MARTELO INOX-INOXPAR-M8 X 25	12
12	879	Ferramenta p/ desconexão micro/conector CA - Modelo HMS - Hoymiles	1
13	882	Ferramenta p/ abertura conector CA - Hoymiles - Exclusivo para Modelo HMS	1
14	878	Conector End Cap CA - Hoymiles - Exclusivo para Modelo HMS	2
15	1081	Monitoramento Hoymiles DTU LITE-S - Exclusivo para Modelo HMS	1
16	1110	Cabo PP classe 4 - 0,6/1KV - 3X6,0MM²	60
17	877	Conector CA - Hoymiles - Exclusivo para Modelo HMS	6
TOTAL			R\$ 25.578,16

GENYX SOLAR POWER

Fonte: o autor (2023).

Figura 4 - Orçamento da Usina de 12,12 kWp.

Descrição	Valor	
Equipamentos CC	R\$	25.578,16
Equipamentos CA	R\$	2.806,06
Projeto	R\$	4.000,00
Homologação	R\$	4.000,00
Instalação	R\$	3.000,00
Total	R\$	39.384,22

Fonte: o autor (2023).

Portanto, a usina de 12,12 kWp proposta apresentará um custo total de R\$ 39.384,22. O *payback* foi calculado a partir do valor de investimento da usina, sendo descontado anualmente o valor referente à economia do cliente, considerando o valor presente líquido (VPL) da economia.

O valor do VPL, TIR e *payback*, bem como a demonstração do *payback*, são mostrados a seguir:

Figura 5 - Resultado da Análise financeira da Usina de 12,12 kWp.

VPL S/Financiamento	R\$ 152.328,44
TIR S/Financiamento	43,59%
Payback S/Financiamento	3 anos e 3 meses

Fonte: o autor (2023).

Figura 6 - Demonstração da Análise financeira da Usina de 12,12 kWp.

Ano	Gasto Mensal Inicial	Gasto Anual Inicial	Gasto Mensal S/Financiamento	Gasto Anual S/Financiamento	Economia Mensal S/Financiamento	Economia Anual S/Financiamento	Valor Presente S/Financiamento	Payback S/Financiamento
0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	-R\$ 39.384,22
1	R\$ 1.277,71	R\$ 15.332,55	R\$ 76,16	R\$ 913,92	R\$ 1.201,55	R\$ 14.418,63	R\$ 12.845,10	-R\$ 26.539,12
2	R\$ 1.367,15	R\$ 16.405,82	R\$ 81,49	R\$ 977,89	R\$ 1.285,66	R\$ 15.427,93	R\$ 12.244,33	-R\$ 14.294,79
3	R\$ 1.462,85	R\$ 17.554,23	R\$ 87,20	R\$ 1.046,35	R\$ 1.375,66	R\$ 16.507,88	R\$ 11.671,65	-R\$ 2.623,14
4	R\$ 1.565,25	R\$ 18.783,03	R\$ 93,30	R\$ 1.119,59	R\$ 1.471,95	R\$ 17.663,44	R\$ 11.125,76	R\$ 8.502,62
5	R\$ 1.674,82	R\$ 20.097,84	R\$ 99,83	R\$ 1.197,96	R\$ 1.574,99	R\$ 18.899,88	R\$ 10.605,40	R\$ 19.108,03
6	R\$ 1.792,06	R\$ 21.504,69	R\$ 106,82	R\$ 1.281,82	R\$ 1.685,24	R\$ 20.222,87	R\$ 10.109,38	R\$ 29.217,41
7	R\$ 1.917,50	R\$ 23.010,02	R\$ 114,30	R\$ 1.371,55	R\$ 1.803,21	R\$ 21.638,47	R\$ 9.636,56	R\$ 38.853,97
8	R\$ 2.051,73	R\$ 24.620,72	R\$ 122,30	R\$ 1.467,56	R\$ 1.929,43	R\$ 23.153,16	R\$ 9.185,85	R\$ 48.039,82
9	R\$ 2.195,35	R\$ 26.344,17	R\$ 130,86	R\$ 1.570,28	R\$ 2.064,49	R\$ 24.773,88	R\$ 8.756,23	R\$ 56.796,05
10	R\$ 2.349,02	R\$ 28.188,26	R\$ 140,02	R\$ 1.680,20	R\$ 2.209,00	R\$ 26.508,05	R\$ 8.346,69	R\$ 65.142,74
11	R\$ 2.513,45	R\$ 30.161,44	R\$ 149,82	R\$ 1.797,82	R\$ 2.363,63	R\$ 28.363,62	R\$ 7.956,31	R\$ 73.099,05
12	R\$ 2.689,39	R\$ 32.272,74	R\$ 160,31	R\$ 1.923,67	R\$ 2.529,09	R\$ 30.349,07	R\$ 7.584,19	R\$ 80.683,24
13	R\$ 2.877,65	R\$ 34.531,83	R\$ 171,53	R\$ 2.058,32	R\$ 2.706,13	R\$ 32.473,51	R\$ 7.229,47	R\$ 87.912,71
14	R\$ 3.079,09	R\$ 36.949,06	R\$ 183,53	R\$ 2.202,41	R\$ 2.895,55	R\$ 34.746,65	R\$ 6.891,35	R\$ 94.804,06
15	R\$ 3.294,62	R\$ 39.535,49	R\$ 196,38	R\$ 2.356,57	R\$ 3.098,24	R\$ 37.178,92	R\$ 6.569,03	R\$ 101.373,09
16	R\$ 3.525,25	R\$ 42.302,98	R\$ 210,13	R\$ 2.521,53	R\$ 3.315,12	R\$ 39.781,44	R\$ 6.261,80	R\$ 107.634,89
17	R\$ 3.772,02	R\$ 45.264,18	R\$ 224,84	R\$ 2.698,04	R\$ 3.547,18	R\$ 42.566,14	R\$ 5.968,93	R\$ 113.603,82
18	R\$ 4.036,06	R\$ 48.432,68	R\$ 240,58	R\$ 2.886,90	R\$ 3.795,48	R\$ 45.545,77	R\$ 5.689,76	R\$ 119.293,58
19	R\$ 4.318,58	R\$ 51.822,96	R\$ 257,42	R\$ 3.088,99	R\$ 4.061,16	R\$ 48.733,98	R\$ 5.423,64	R\$ 124.717,22
20	R\$ 4.620,88	R\$ 55.450,57	R\$ 275,43	R\$ 3.305,22	R\$ 4.345,45	R\$ 52.145,35	R\$ 5.169,98	R\$ 129.887,20
21	R\$ 4.944,34	R\$ 59.332,11	R\$ 294,72	R\$ 3.536,58	R\$ 4.649,63	R\$ 55.795,53	R\$ 4.928,17	R\$ 134.815,37
22	R\$ 5.290,45	R\$ 63.485,36	R\$ 315,35	R\$ 3.784,14	R\$ 4.975,10	R\$ 59.701,22	R\$ 4.697,68	R\$ 139.513,05
23	R\$ 5.660,78	R\$ 67.929,33	R\$ 337,42	R\$ 4.049,03	R\$ 5.323,36	R\$ 63.880,30	R\$ 4.477,97	R\$ 143.991,02
24	R\$ 6.057,03	R\$ 72.684,39	R\$ 361,04	R\$ 4.332,47	R\$ 5.695,99	R\$ 68.351,92	R\$ 4.268,53	R\$ 148.259,55
25	R\$ 6.481,02	R\$ 77.772,29	R\$ 386,31	R\$ 4.635,74	R\$ 6.094,71	R\$ 73.136,56	R\$ 4.068,89	R\$ 152.328,44
	R\$ 6.934,70	R\$ 83.216,36	R\$ 413,35	R\$ 4.960,24	R\$ 6.521,34	R\$ 78.256,12	R\$ 78.256,12	R\$ 230.584,55

Fonte: o autor (2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo desenvolver um projeto de um sistema fotovoltaico de 12,12 kWp para uma residência, analisando o consumo de energia, projetando os componentes do sistema e apresentando o orçamento do projeto. Ao finalizar o estudo e aplicar os resultados obtidos, podemos concluir que a implementação de um sistema fotovoltaico traz diversos benefícios ambientais, econômicos e técnicos.

MA análise detalhada do consumo de energia permitiu compreender os padrões de consumo da residência, identificando os momentos de maior demanda e as necessidades energéticas específicas. Com base nessa análise, o sistema fotovoltaico foi projetado de forma dimensionada, considerando a capacidade de 12,12 kWp e selecionando os componentes adequados, como painéis solares, inversores e cabos.

O orçamento detalhado apresentado permite uma visão clara dos custos envolvidos na implementação do sistema fotovoltaico, incluindo os materiais, a instalação e a manutenção. Além disso, a justificativa ambiental e econômica ressalta os benefícios da energia solar fotovoltaica, como a redução das emissões de gases de efeito estufa e a independência em relação às fontes não renováveis de energia, além da economia de custos com energia elétrica a longo prazo.

Ao disseminar a energia solar fotovoltaica, este estudo contribui para promover a conscientização sobre a importância das fontes de energia renováveis e seus benefícios. A implementação prática do projeto envolveu a seleção dos componentes, a preparação da infraestrutura, a instalação dos painéis solares e inversores, a conexão com a rede elétrica e a realização de testes e monitoramento.

Portanto, o estudo conclui que a adoção de sistemas fotovoltaicos em residências é uma opção promissora para a geração de energia limpa e sustentável. Através deste estudo, foi possível demonstrar os benefícios financeiros, ambientais e técnicos da implementação de um sistema fotovoltaico de 12,12 kWp, destacando a importância de explorar o potencial solar do Brasil e incentivar o uso de fontes de energia renováveis.

REFERÊNCIAS

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). (2020). **Atlas de Radiação Solar do Brasil**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/dados/atlas>

ABEN. Associação Brasileira de Energia Nuclear. (2020). **Energia Nuclear no Brasil: Perspectivas e Desafios**. Rio de Janeiro, Brasil.

Brito, R. C., Sousa, P. T., Rüther, R., & Perondi, L. (2020). **Estudo técnico- econômico da geração distribuída fotovoltaica conectada à rede elétrica para diferentes consumidores residenciais no Brasil**. Revista Eletrônica de Iniciação Científica, 3(1), 53-62.

Caldas, F. R. (2016). **Fontes de Energia: Carvão Mineral**. In: Jr., P. H. B., Oliveira,

G. S., & Carrasco, B. F. (Orgs.). **Energia: Conceção, Transformação e Consumo**. Editora UFMG.

CRESESB. Potencial Solar – SunData v.3.0. **Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em 29 de Setembro de 2023.

CSR, Energia Solar. **Origem do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede**. Disponível em: <http://www.csrenergiasolar.com.br/blog/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede---sfcr-on-grid>. Acesso em: 22 de Setembro de 2023.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). (2021). **Balço Energético Nacional 2021: Relatório Síntese**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-400/topico-525/BEN2021_Relatorio-Sintese.pdf

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos**. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.], 2014. 64 p.

Galdino, M. A., Pereira, E. B., Bezerra, U. H., & Pereira, E. P. (2018). **Acesso à energia em comunidades isoladas: Um estudo de caso de energia solar fotovoltaica na comunidade de Cajueiro, Brasil**. Energies, 11(8), 2004.

Galdino, M. A., Pereira, E. B., Marques, R. C., & Pereira, E. P. (2020). **Energia solar fotovoltaica aplicada à irrigação em pequenas propriedades rurais no Brasil: Um estudo de caso na comunidade de Santana do Ipê**. Energies, 13(16), 4175.

GIL, A. C. 1946 - **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. Barueri: Atlas, 2022. IEA (International Energy Agency). (2020). **Renewable Energy Market Update 2020**. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-2020>

INBRAEP - INSTITUTO BRASILEIRO DE ENSINO PROFISSIONALIZANTE (Brasil). **Importância dos Fundamentos da Eletricidade**. Santa Catarina: Equipe INBRAEP, 4 de agosto de 2021. Disponível em: <<https://inbraep.com.br/publicacoes/importancia-dos-fundamentos-da-eletricidade/>>. Acesso em 29 de Setembro de 2023.

MME (Ministério de Minas e Energia). (2020). **Plano Nacional de Energia 2050**. Disponível em: https://www.mme.gov.br/documents/36206/341987/16_PNE+2050.pdf/09c2ddb-1c03-ef0d-f52a-73953675bfb0

Pereira, L. R., Costa, J. F., Galdino, M. A., Pereira, E. B., & Pereira, E. P. (2019). **Potencial de energia solar e projetos fotovoltaicos no Brasil**. In: Anais do Congresso Internacional de Energia Renovável (pp. 155-162). Springer, Cham.

Pinho, J. T.; Galdino, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014.

Rüther, R., Pandolfo, L. W., Pereira, F. L. C., & Lehmkuhl, W. A. (2017). **Análise do desempenho de um sistema fotovoltaico no sul do Brasil**. Sba Controle & Automação, 28(1), 72-81.

Santana, M. L., Santos, G. F., Carvalho, L. M., & Pinheiro, A. R. (2021). **Avaliação do dimensionamento de sistemas fotovoltaicos aplicados a projetos residenciais**. In: Anais do IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LATAM) (pp. 424-429). IEEE.

Zilles, R., Rüther, R., & Santana, M. L. (2021). **Avaliação do ciclo de vida de sistemas fotovoltaicos residenciais brasileiros: Um estudo de caso**. Sustentabilidade, 13(4), 1809.

Aplicação do software arena em um processo de envase de açúcar para análise e otimização do tempo da linha de produção

Heider da Guia Rosa Neto

Faculdade de Tecnologia de Jahu – FATEC JAHU

Olavo Camargo de Sá

Faculdade de Tecnologia de Jahu – FATEC JAHU

Evandro Antonio Bertoluci

Faculdade de Tecnologia de Jahu – FATEC JAHU

RESUMO

Este estudo apresenta algumas das características da simulação e a viabilidade do uso do *software* Arena para formular modelos computacionais que apresentem resultados que permitam planejar soluções para diminuir o número de erros, aumentando assim a produtividade, reduzindo gastos e desperdício de tempo na produção. O método escolhido é um estudo de caso, que permite uma análise real dos processos e gargalos da empresa. Os dados são processados pelo *software* ARENA, o que ajudará a melhorar as conclusões e a organização das recomendações e alterações no processo. O presente trabalho visa realizar simulações computacionais no contexto da produção na indústria sucroalcooleira, correlacionando tempo de produção e qualidade para encontrar soluções que possam auxiliar na melhoria do processamento do produto.

Palavras-chave: simulação. logística. *software* arena. indústria sucroalcooleira.

ABSTRACT

This study presents some of the characteristics of the simulation and the viability of using the arena software to formulate computational models that present results that allow to plan solutions in order to reduce number of errors, thus increasing productivity, reducing expenses and wasted time in production. The chosen method is a case study, which allows a real analysis of the company's processes and bottlenecks. The data is processed by the ARENA software, which will help to improve the conclusions and organization of recommendations and changes in the process. This work aims to carry out computer simulations in the context of production in the sugar and alcohol industries, correlating production time and quality to find



solutions that can help improve product processing.

Keywords: simulation. logistics. arena software. sugar and alcohol industry.

INTRODUÇÃO

A logística é uma das áreas mais importantes em uma empresa, sendo responsável pela gestão dos processos de transporte, armazenamento, movimentação e distribuição de produtos. Em um armazém de açúcar, a logística é essencial para garantir a qualidade do produto, sua conservação e entrega aos clientes de forma eficiente.

Uma das ferramentas mais utilizadas para simular processos logísticos em um armazém é a simulação computacional. De acordo com Saliby *et al.* (1998), a simulação é o processo de elaboração de modelos de um sistema real e a realização de experimentos com o objetivo de entender o comportamento do sistema ou avaliar possíveis estratégias de operação. É uma técnica tradicional da pesquisa operacional e uma das ferramentas mais importantes e úteis para analisar o projeto e a operação de sistemas complexos. Quando estudos de planejamento apresentam soluções aparentemente complexas, a simulação é muitas vezes utilizada para verificar se o sistema pode ser otimizado ou se tem um funcionamento eficiente.

Objetivo

A pesquisa teve como foco um estudo de caso realizado em um armazém de açúcar, localizado em uma usina sucroalcooleira na cidade de Brotas-SP. A coleta de dados foi realizada a partir dos registros de produção do armazém, incluindo informações sobre a quantidade de produtos fabricados, o número de funcionários em cada função, o tempo de produção em cada setor e a quantidade de produtos desperdiçados ao final do dia.

Em um cenário de crescente competição na produção de açúcar, a pesquisa teve como objetivo identificar possíveis gargalos que possam afetar a qualidade da produção e resultar em desperdícios ao final do dia. Com isso, elaborar e propor melhorias para o processo.

Metodologia

Existem diversas definições para simulação, e de acordo com Gordon (1978), citado por Bueno da Costa (2002), “simulação de sistemas é a técnica de solucionar problemas observando o desempenho no tempo de um modelo dinâmico do sistema”. Para Bueno da Costa (2002), a simulação pode ser definida como o processo de construção de um modelo representativo de um sistema real e a realização de experimentos nele, cujos resultados, após análises, apresentam uma visão futura do sistema e auxiliam na tomada de decisões no momento presente, bem como contribuem para uma melhor compreensão do sistema estudado.

Uma grande vantagem da simulação é que ela permite a análise de diversas

alterações no cenário virtual sem o custo e o risco de atuar no cenário real. O estudo de modelagem de sistemas envolve modificações em equipamentos, *layout*, reengenharia, dimensionamento, entre outros. Para isso, é preciso prestar atenção aos gargalos do sistema, ou seja, onde podem ocorrer filas.

Seguindo os conceitos de pesquisa para simulação, foi realizado um estudo de tempos a partir de cronoanálise em uma usina sucroalcooleira na cidade de Brotas. Foram coletados dados referentes a um turno da equipe responsável pelo envase de açúcar. A partir desses dados foram criadas simulações e análise de possíveis cenários para aquele processo.

O estudo de tempos a partir da cronoanálise é uma maneira de medir e controlar e demonstrar estatisticamente a tarefa a ser realizada, calculando o tempo. Esses tempos são estudados e cronometrados a fim de eliminar ociosidades, racionalizando ainda fadigas dos operadores, pois suprindo essas falhas a produção será otimizada. (PEINADO e GRAEML, 2004).

Assim, o estudo de tempos, movimentos e métodos de trabalho continuam exercendo um papel central na determinação da produtividade. Um dos fatores importantes de um colaborador é que seja julgado ao reproduzir o que foi determinado. (PEINADO; GRAEML, 2004, p.87).

Estudo de tempos e métodos ainda estuda os materiais, ferramentas e equipamentos utilizados na produção. Planeja a padronização dos métodos de trabalho, analisando qual a melhor forma de exercê-los, determinando os tempos necessários para a realização das tarefas de maneira mais eficaz. (PERBONI, 2007).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A produção de açúcar em uma usina, conhecida como, representa um conjunto intrincado de operações industriais projetadas para extrair açúcar através da cana-de-açúcar. O processo inicia-se com a colheita e transporte das matérias-primas para a usina, seguido por diversas etapas que incluem a extração do caldo, o seu processamento, a cristalização do açúcar, a separação dos cristais, a secagem e, finalmente, o empacotamento do produto.

A produção de açúcar em uma usina visa alcançar eficiência na extração do açúcar, assegurando a qualidade e a pureza do produto. Além disso, a gestão eficaz abrange aspectos como o controle de custos, práticas sustentáveis e a conformidade estrita com normas sanitárias e ambientais.

A extração do caldo da cana e posterior concentração deste é conhecido como o processo de produção de açúcar que pode resultar em variados tipos, como o açúcar mascavo, cristal, refinado, demerara, líquido, orgânico, *Very High Polarization* (VHP), refinado amorfo, entre outros. Porém, no Brasil, os açúcares mais fabricados são o cristal branco e demerara para consumo interno e o açúcar VHP destinado à exportação (MACHADO, 2012).

Segundo Marafante (1993), a produção de açúcares da cana-de-açúcar é

possibilitada pela absorção de nutrientes pelas raízes e realização da fotossíntese nas folhas, já o armazenamento desses açúcares se dá prioritariamente no tecido esponjoso do talho ou haste.

A produção de açúcar envolve várias fases, nas quais a matéria-prima é submetida a todas elas, até que o *Big bag* seja totalmente finalizado, essas etapas devem ser concluídas o mais rápido possível. Com a ampla variedade de produtores no mercado, os revendedores atualmente buscam fábricas capazes de entregar o produto no menor tempo possível e com uma qualidade aceitável para o mercado em que estão inseridos.

Modelagem de Sistemas e simulação

A modelagem de sistemas e a simulação são técnicas poderosas que desempenham um papel fundamental na compreensão, análise e otimização de sistemas complexos em diversas áreas, como engenharia, ciências da computação, gestão e saúde, trata-se do processo de criar um modelo computacional de um sistema real para estudar seu comportamento, realizar experimentos virtuais e tomar decisões informadas.

No gerenciamento de logística e cadeia de suprimentos, a simulação auxilia na tomada de decisões estratégicas, planejamento de rotas e dimensionamento de estoques (LAPORTE, *et al.*, 2013), ela pode ser amplamente utilizada para otimizar processos de fabricação, dimensionamento de instalações e análise de sistemas de produção (CARO & PÉREZ, 2017).

A modelagem e simulação estão evoluindo rapidamente com a integração de análises de dados avançadas e aprendizado de máquina. A simulação em tempo real, a simulação em nuvem e a simulação multimodal estão se tornando áreas de pesquisa ativas e desenvolvimento de tecnologia (ROBINSON & NELSON, 2014).

Software Arena

Segundo Prado (1999) o *software arena* é um programa de modelagem de sistemas operacionais, onde ele cria um ambiente que possibilita ter uma visualização gráfica sobre uma simulação logística de uma linha de produção ou até mesmo de uma fila de atendimento de uma loja.

Este programa analisa os resultados e os compara com as estatísticas geradas a partir da simulação realizada, é possível também realizar tomadas de decisões baseando-se em modelos que representam situações reais de uma empresa, podendo ser feita mudanças com base nos dados reais para definir qual o melhor parâmetro a se seguir.

O Arena é conhecido por sua interface gráfica intuitiva, o que o torna acessível a uma ampla gama de usuários, independentemente de sua formação técnica. Ele permite a criação de modelos detalhados de sistemas complexos, incluindo a definição de processos, recursos, filas e eventos. A capacidade de modelar sistemas de forma visual e dinâmica é uma de suas principais características, tornando-o um *software* de simulação de destaque (KELTON, SADOWSKI, & SWETS, 2019).

Segundo Law, Averill M., *et al.* (2015) o Arena é uma ferramenta valiosa para

a simulação de sistemas devido à sua capacidade de modelagem detalhada, análise estatística avançada e visualização interativa dos resultados.

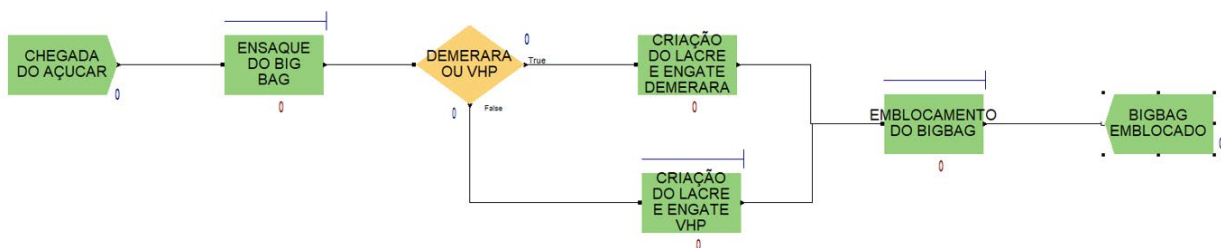
Segundo Fishwick, Paul A. (1995) com o Arena, é possível construir modelos de simulação de sistemas interativos e dinâmicos, capturando a complexidade e as interações entre os componentes do sistema de forma precisa.

O Arena é amplamente utilizado para otimizar processos de fabricação, minimizando tempos de ciclo, melhorando a eficiência e reduzindo custos. Ele é aplicado na modelagem de linhas de produção, gerenciamento de estoques e análise de capacidade (Dennis & Peck, 2016). Na gestão logística, ele é empregado na simulação de operações de transporte, centros de distribuição e redes de suprimentos. Isso auxilia na tomada de decisões estratégicas e na avaliação de cenários (LAPORTE, *et al.*, 2013).

Estudo de caso

Para representar o sistema produtivo da indústria de açúcar, foi criado um fluxograma utilizando o *software* ARENA, o qual está apresentado abaixo:

Figura 1 - Fluxograma do Sistema Produtivo da Indústria de Açúcar.



Fonte: Produção do Próprio Autor

Abaixo estão listadas as etapas de envase até o armazenamento do açúcar VHP e Demerara, juntamente com a duração média de cada uma delas. Esses dados foram obtidos a partir da coleta de dados realizada em campo, que registrou o tempo necessário em cada processo, a quantidade de funcionários por departamento e a quantidade de produtos fabricados.

Os dados descritos abaixo são referentes a um turno, focado no ensaque de *Big Bag*, com duração de 8h e 20m, onde as funções são distribuídas em três funções e três funcionários.

Tabela 1 - Quantidade de funcionários por processo.

Processo	Funcionários
Ensaque de Big Bag	1
Criação de lacre e engate	1
Empilhamento de Big Bag	1

Fonte: Criação do próprio autor

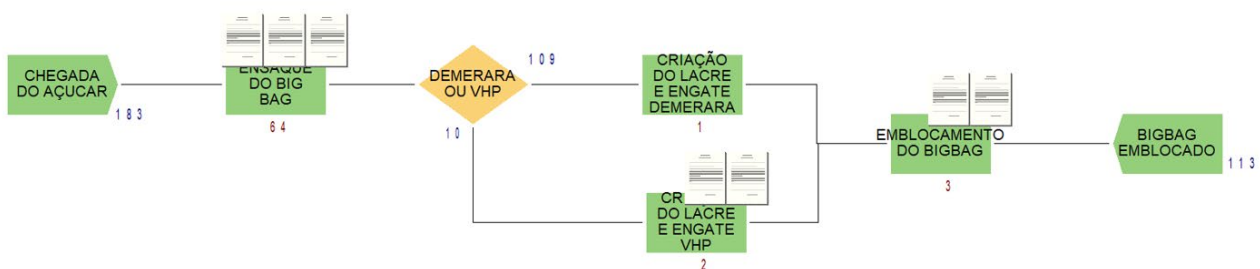
Tabela 2 - Duração em minutos por processo.

Processo	Duração (Expo)
Ensaque de Big Bag	4 minutos
Criação de lacre e engate	3 minutos
Empilhamento de Big Bag	4 minutos

Fonte: Criação do próprio autor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realizar a simulação com os dados reais da atual situação do processo. Foi possível visualizar que em um turno de trabalho, seria possível produzir uma média de 183 *big bags* de açúcar. Porém também foi possível identificar um gargalo na etapa de ensaque dos *bags*, onde de todo potencial de produção, 64 *big bags* ficavam presos nessa etapa. Apenas 3 *bags* ficavam em processo de empilhamento e 113 eram realmente finalizados e liberados.

Figura 2 - Resultado da simulação com os dados reais da atual situação.

Fonte: Produção do Próprio Autor

Tabela 3 - Resultados detalhados da simulação com os dados reais da atual situação.

Processo	Big Bags
Chegada do açúcar	183
Ensaque do big bag	64
Demerara ou VHP	119
Criação do lacre e engate demerara	1
Criação do lacre e engate VHP	2
Empilhamento big bag	3
Big bag empilhado	113

Fonte: Criação do próprio autor.

Com base nos dados obtidos na primeira simulação. Foram estudadas e elaboradas 3 propostas com fim de melhorar e otimizar o todo o processo da cadeia produtiva da usina.

Primeira proposta

Com objetivo de minimizar o gargalo apresentado na fase de ensaque do *big bag*, propõem-se que haja uma diminuição do tempo no setor de ensacamento, onde na simulação inicial eram 4 minutos passaram a ser 3 minutos. A simulação se mantém sobre a mesma duração de 8h e 20 min, com a mesma quantidade funções e funcionários.

Tabela 4 - Quantidade de funcionários por processo.

Processo	Funcionários
Ensaque de Big Bag	1
Criação de lacre e engate	1
Empilhamento de Big Bag	1

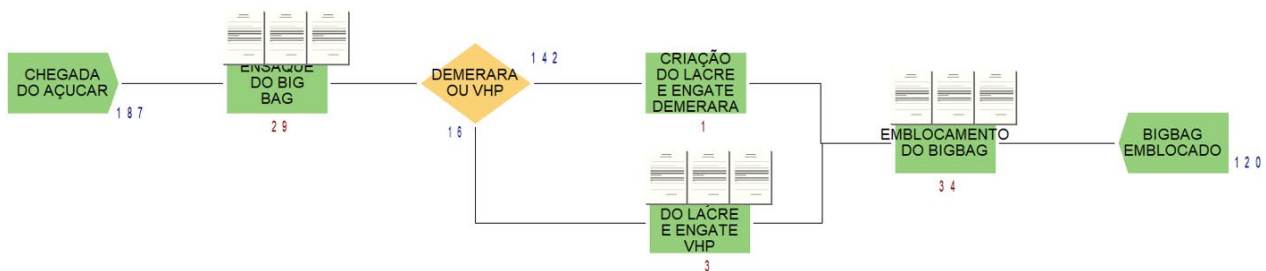
Fonte: Criação do próprio autor

Tabela 5 - Duração em minutos por processo

Processo	Duração (Expo)
Ensaque de Big Bag	3 minutos
Criação de lacre e engate	3 minutos
Empilhamento de Big Bag	4 minutos

Fonte: Criação do próprio autor

Com essa alteração, é possível observar algumas melhorias, como o aumento do número de saídas de produtos de 113 para 120 *big bags*, também se observa que houve uma melhoria significativa no setor de ensaque, com uma diminuição da fila de espera de 64 para 29 *big bags*. No entanto, com esta alteração criou-se um atraso no setor de empilhamento dos *big bags*, aumentando para 34 *big bags* na fila de espera.

Figura 3 - Resultado da simulação com os dados da primeira proposta.

Fonte: Produção do Próprio Autor.

Tabela 6 - Resultado detalhado da simulação com os dados da primeira proposta.

Processo	Big Bags
Chegada do açúcar	187
Ensaque do big bag	29
Demerara ou VHP	157
Criação do lacre e engate demerara	1
Criação do lacre e engate VHP	3
Empilhamento big bag	34
Big bag empilhado	120

Fonte: Criação do próprio autor

Segunda Proposta

Nesta proposta, priorizou-se a implementação de um treinamento prévio para os funcionários, com o intuito de capacitar e aprimorar suas habilidades, visando uma execução rápida e atendendo aos altos padrões de qualidade exigidos pelos contratantes. Além disso, foi sugerida uma alteração no tempo destinado ao ensaque, reduzindo-o de 3

para 2 minutos. Essas iniciativas têm como objetivo otimizar o desempenho e a eficiência operacional, proporcionando um serviço ágil e de excelência. A simulação se mantém sobre a mesma duração de 8h e 20 min, com a mesma quantidade funções e funcionários.

Tabela 7 - Quantidade de funcionários por processo.

Processo	Funcionários
Ensaque de Big Bag	1
Criação de lacre e engate	1
Empilhamento de Big Bag	1

Fonte: Criação do próprio autor

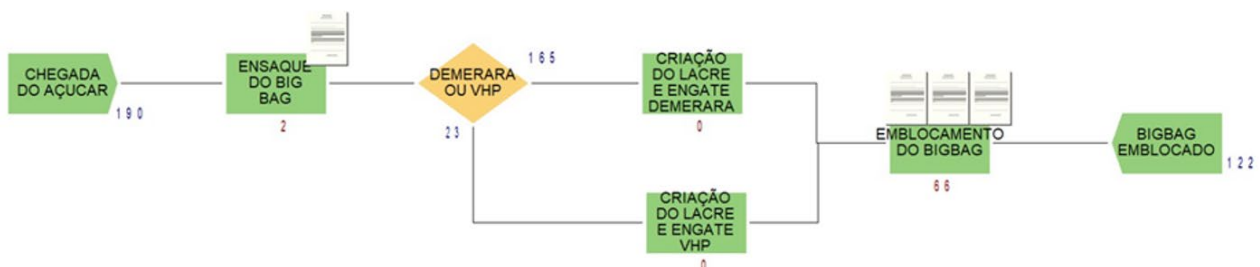
Tabela 8 - Duração em minutos por processo.

Processo	Duração (Expo)
Ensaque de Big Bag	2 minutos
Criação de lacre e engate	3 minutos
Empilhamento de Big Bag	4 minutos

Fonte: Criação do próprio autor

Com essa alteração, é possível observar algumas melhorias, como o aumento do número de saídas de produtos de 120 para 122 *big bags*, também se observa que houve uma melhoria significativa no setor de ensaque, com uma diminuição da fila de espera de 29 para 2 *big bags* tornando o desempenho desse processo quase 100 % eficaz. No entanto, com esta alteração criou-se mais um atraso no setor de empilhamento dos *big bags*, aumentando para 66 *big bags* na fila de espera.

Figura 4 - Resultado da simulação com os dados da segunda proposta.



Fonte: Produção do Próprio Autor.

Tabela 9 - Resultado detalhado da simulação com os dados da segunda proposta.

Processo	Big Bags
Chegada do açúcar	190
Ensaque do big bag	2
Demerara ou VHP	188
Criação do lacre e engate demerara	0
Criação do lacre e engate VHP	0
Empilhamento big bag	66
Big bag empilhado	122

Fonte: Criação do próprio autor.

Terceira Proposta

Com a melhoria no setor de ensaque, houve um considerável aumento na fluidez da linha de produção, porém, como resultado, a empilhadeira na área de empilhamento de *big bags* ficou sobrecarregada, causando uma fila de espera de 66 *big bags*. Para resolver essa situação, foi proposta a implementação de mais uma empilhadeira no processo e a diminuição do tempo de empilhamento para 3 minutos, a fim de acompanhar o fluxo da linha de produção e agilizar o transporte dos *big bags*. Essa medida visa otimizar a eficiência operacional e garantir um fluxo contínuo e eficiente na movimentação dos produtos.

Tabela 10 - Quantidade de funcionários por processo.

Processo	Funcionários
Ensaque de Big Bag	1
Criação de lacre e engate	1
Empilhamento de Big Bag	2

Fonte: Criação do próprio autor

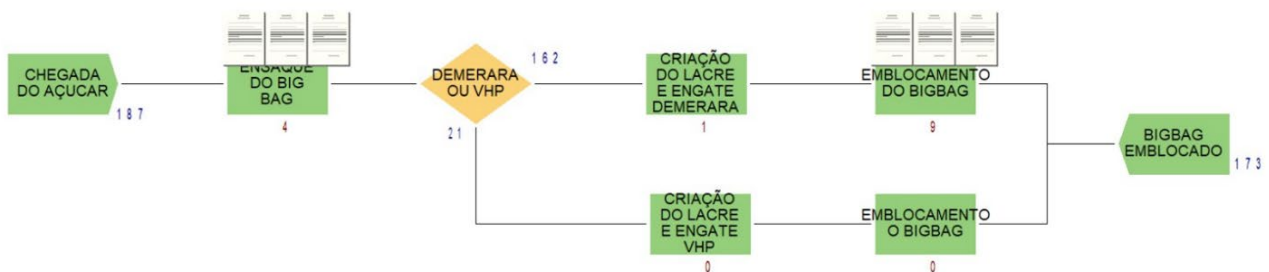
Tabela 11 - Duração em minutos por processo.

Processo	Duração (Expo)
Ensaque de Big Bag	2 minutos
Criação de lacre e engate	3 minutos
Empilhamento de Big Bag	3 minutos

Fonte: Criação do próprio autor

Com essa alteração, é possível observar algumas melhorias, como o aumento do número de saídas de produtos de 122 para 173 *big bags*, houve pouca variação na etapa de ensaque, alterando a fila de espera de 2 para 4 *big bags*, o que mantém o desempenho desse processo quase 100 % eficaz. O foco principal dessa proposta era a diminuição da quantidade presente na fila de espera na etapa de empilhamento dos produtos ao fim do turno, tal operação que teve uma melhoria de 66 para apenas 9 *big bags*.

Figura 5 - Resultado da simulação com os dados da terceira proposta.



Fonte: Produção do Próprio Autor

Tabela 12 - Resultado da simulação com os dados da terceira proposta.

Processo	Big Bags
Chegada do açúcar	187
Ensaque do big bag	4
Demerara ou VHP	183
Criação do lacre e engate demerara	1
Criação do lacre e engate VHP	0
Empilhamento big bag	9
Big bag empilhado	173

Fonte: Criação do próprio autor

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos no *software* Arena, foi possível simular algumas propostas para amenização dos gargalos encontrados no processo, assim diminuindo o tempo da linha de produção e gerando mais acuracidade no desempenho da equipe. Nas duas primeiras sugestões de melhoria foi dado enfoque na capacitação e treinamento dos profissionais, com isso, foi possível ter uma diminuição significativa no tempo do processo de ensaque dos *big bags*, que inicialmente era na média de 4 minutos e após as mudanças passou a ser na média de 2 minutos. Porém, além das melhorias, a modificações realizadas acarretaram na geração de gargalo na etapa de estocagem dos produtos. A solução apresentada na terceira proposta, foi sugestão de implantar mais uma empilhadeira e redirecionar um dos funcionários de outro processo para essa função. Foi possível concluir que nenhuma das propostas seriam 100% úteis, se usadas isoladamente, porém quando postas em ação ao mesmo tempo apresentavam melhorias significativas no resultado do processo. No modelo inicial eram produzidos 113 *bags* por turno, com as alterações foi possível chegar na produção de 173 *bags* por turno. Também foi possível diminuir a quantidade de produtos ociosos ao fim do turno, onde no início ficavam em média de 70 *big bags* parados na linha de produção, com as melhorias instaladas esse número caiu para apenas 14 *big bags*. O estudo pôde trazer melhores resultados para o setor, sendo mais eficiente nos processos e com maior acuracidade possível.

REFERÊNCIAS

- BUENO DA COSTA, M.A. **Simulação de Sistemas**, 2002. Disponível em: < www.simucad.dep.ufscar.br > Acesso: abril de 2023
- CARO, F., & PÉREZ, R. (2017). “**Simulation in operations management: A historical perspective.**” *Computers & Industrial Engineering*, 113, 127-141.
- DENNIS, P., & PECK, E. (2016). “**Simulation Modeling with Arena.**” John Wiley & Sons.
- FISHWICK, PAULA. **Simulation Model Design and Execution: Building Digital Worlds**, Pearson; 1st edition, Londres, 1995.
- LAW, AVERILL M., *et al.* **Simulation Modeling and Analysis**. Tucson, McGraw-Hill Science/Engineering/Math, Arizona, 2015.

PRADO, Darci. **Usando o Arena em Simulação**. Belo Horizonte, INDG Tecnologia e Serviços, 2010.

SALIBY, E.; LARA, M. S.; LACERDA, L.; NAZARIO, P.R.S. **Modelo de Simulação de Operações Portuárias**. In: IX CLAIO, 1998, Buenos Aires. Anais do IX CLAIO, 1998.

KELTON, W. D., SADOWSKI, R. P., & SWETS, N. (2019). **“Simulation with Arena.”** McGraw-Hill Education.

LAPORTE, L., *et al.* (2013). **“Warehouse Performance and Its Evaluation by Simulation.”** In **“Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse”** (pp. 341-361). Springer.

MARAFANTE, L. J. **Tecnologia da fabricação do álcool e do açúcar**. São Paulo: Ícone, 1993. 148p.

MACHADO. S. S. **Tecnologia da fabricação de açúcar**. Inhumas, GO: rede e-Tec Brasil, 2012. 56 p.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da produção** (Operações Industriais e de Serviços). Curitiba: [s.n.], 2004.

PERBONI, F. **Análise do controle de produção através da cronoanálise, visando melhorias produtivas em uma empresa de esquadrias de madeira**. 2007. 54f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Administração) -Universidade do Contestado (UNC), Caçador, 2007.

ROBINSON, S., & NELSON, B. L. (2014). **“Introduction to Simulation with General Purpose Simulation System (GPSS).”** Wiley.

O uso da inteligência artificial na prevenção de ataques cibernéticos

The use of artificial intelligence in preventing cyber attacks

Gabriel Vieira de Oliveira

Graduando do curso de Ciência da Computação pela Faculdade Fucapi. Manaus/AM

Siomara Dias da Rocha

Doutorado em Química com ênfase em Química Analítica e Ambiental. Universidade Federal do Amazonas. Av. General Rodrigo Otávio, 6200, Coroado I - Campus Universitário Senador Arthur Virgílio Filho, Brasil

RESUMO

A intersecção entre inteligência artificial (IA) e cibersegurança representa um vetor crucial para a resiliência digital contemporânea. Este estudo se propôs a analisar as contribuições e desafios introduzidos pela IA na proteção contra ciberameaças. Os objetivos centrais foram compreender como a IA está sendo integrada nas estratégias de cibersegurança e identificar as implicações dessa integração para a defesa contra ataques cibernéticos. Utilizando uma metodologia de revisão bibliográfica, o estudo sistematizou conhecimento proveniente de uma gama de literaturas acadêmicas, buscando um entendimento amplo e multidisciplinar do tema. Os resultados indicam que a IA tem papel duplo, atuando tanto na ampliação das capacidades de defesa quanto na criação de novas formas de ameaças, exigindo uma abordagem evolutiva na segurança cibernética. Conclui-se que, apesar dos avanços significativos permitidos pela IA, sua aplicação na cibersegurança traz complexidades que devem ser gerenciadas com estratégias proativas e atualizadas. As empresas que ignoram essa dinâmica podem se encontrar em risco significativo.

Palavras-chave: inteligência artificial. cibersegurança. ameaças digitais.

ABSTRACT

The intersection between artificial intelligence (AI) and cybersecurity is a critical vector for contemporary digital resilience. This study aimed to analyze the contributions and challenges introduced by AI in cyber threat protection. The main objectives were to understand how AI is integrated into cybersecurity strategies and to identify the implications of this integra-



tion for defense against cyberattacks. Employing a bibliographic review methodology, the study systematized knowledge from a range of academic literatures, seeking a broad and multidisciplinary understanding of the subject. Findings indicate that AI plays a dual role, enhancing defense capabilities and creating new forms of threats, requiring an evolutionary approach to cybersecurity. It concludes that despite the significant advancements enabled by AI, its application in cybersecurity brings complexities that must be managed with proactive and updated strategies. Companies that overlook this dynamic may find themselves at significant risk.

Keywords: artificial intelligence. cybersecurity. digital threats.

INTRODUÇÃO

Na era atual, a tecnologia desempenha um papel crucial em nosso cotidiano, interligando pessoas através de variadas redes de informação. Com a presença ubíqua de computadores pessoais, redes domésticas e smartphones, as pessoas podem conectar-se e acessar qualquer lugar do globo, conforme salienta Zúquete (2018). Com a crescente facilidade de acesso a informações, armazená-las e geri-las de maneira eficiente se tornou essencial, tornando obsoleto o armazenamento puramente em papel, o que elevou o uso dos Sistemas de Informação, como observado por Estrela (2014).

Os Sistemas de Informação são hoje ferramentas imprescindíveis para empresas gerenciarem suas operações, melhorarem a interação com clientes e fornecedores e reforçarem sua posição competitiva no mercado. Essas empresas frequentemente moldam seus negócios em torno das capacidades de seus Sistemas de Informação, em vez de adaptarem o sistema às necessidades da organização, como apontam Laudon & Laudon (2014). Os governos e indivíduos também recorrem a esses sistemas diariamente, muitas vezes sem perceber, seja ao navegar em redes sociais ou realizar compras online, segundo Laudon & Laudon (2014).

Sistemas de Informação são conjuntos integrados de dados, atividades e recursos que coletam, processam, armazenam e distribuem informações, definidos por Rainer Jr. & Cegielski (2007) e Laudon & Laudon (2014). As principais atividades de um Sistema de Informação incluem entrada, processamento e saída de dados, essenciais para que organizações controlem operações, tomem decisões e resolvam problemas.

Muitos destes sistemas são computadorizados, embora alguns não sejam, e são compostos por hardware, software, bases de dados, redes, procedimentos e pessoas, conforme Boell & Cecez-Kecmanovic (2015). Cada componente desempenha seu papel no processamento de informações, desde a inserção de dados pelo hardware até o armazenamento em bases de dados interconectadas.

Estes sistemas não só auxiliam na tomada de decisões e coordenação de atividades organizacionais, mas também são vitais para que os colaboradores analisem problemas e busquem soluções, como descrevem Laudon & Laudon (2014). Com a dependência crescente dos humanos em relação a esses sistemas, a segurança torna-se uma prioridade para evitar que informações sensíveis caiam em mãos erradas, como indicam Brynielsson

et al. (2016), O'Brien & George (2011), e Fang *et al.* (2016).

Proteger um Sistema de Informação contra ameaças cibernéticas é crucial, visto que vulnerabilidades podem expor a organização a ataques que comprometem sua segurança, reputação e estabilidade econômica. A cibersegurança, segundo Von Solms & Van Niekerk (2013), é uma defesa essencial contra acessos não autorizados e ataques sofisticados.

A Inteligência Artificial, sugerida por Desouza, Dawson, & Chenok (2019), e Costa & Simões (2011), emerge como uma ferramenta potente para fortalecer os Sistemas de Informação. Ela simula ataques para identificar e reforçar vulnerabilidades, utilizando capacidades cognitivas comparáveis às humanas para aprender e resolver problemas.

A intersecção entre inteligência artificial (IA) e cibersegurança emergiu como um campo vital no panorama tecnológico contemporâneo. Esta pesquisa explorou a ampla aplicação da IA no domínio da cibersegurança, delimitando o enfoque nos mecanismos através dos quais a IA pode tanto fortalecer quanto comprometer as estruturas de segurança cibernética. Contextualizado em um ambiente digital em constante evolução, o estudo abordou a problemática emergente do uso dual da IA: como ela é empregada para proteger infraestruturas digitais, ao passo que simultaneamente pode ser utilizada para desenvolver ataques cibernéticos mais sofisticados.

A questão central que norteou a pesquisa foi: De que maneira a inteligência artificial está reformulando as práticas de cibersegurança, tanto defensivas quanto ofensivas, e quais são as implicações para o futuro da segurança digital? Com o objetivo geral de desvendar a influência da IA na cibersegurança, o estudo estabeleceu objetivos específicos para mapear as diretrizes atuais de cibersegurança, analisar o papel da IA na detecção e prevenção de ciberataques, e avaliar o potencial da IA adversária.

A justificativa para a investigação advém da relevância crescente da segurança cibernética em nossa sociedade digitalmente interconectada. Primeiramente, o aumento exponencial de dados gerados online exige sistemas de segurança robustos capazes de aprender e adaptar-se autonomamente, uma necessidade que a IA parece preencher eficientemente. Em segundo lugar, a utilização maliciosa da IA por agentes adversários apresenta desafios sem precedentes que exigem uma compreensão profunda e soluções inovadoras. Por fim, a pesquisa é justificada pela urgência de orientar políticas públicas e estratégias corporativas na adoção de práticas de cibersegurança eficazes e éticas diante de uma ameaça cibernética em constante evolução.

Adotando uma metodologia de revisão bibliográfica, o estudo realizou um exame sistemático da literatura existente, incluindo publicações acadêmicas, relatórios de indústria e estudos de caso relevantes para extrair insights significativos e identificar tendências emergentes na intersecção da IA com a cibersegurança. Dados secundários foram coletados e analisados, proporcionando uma base de evidências para fundamentar as discussões e conclusões do estudo.

Em síntese, a pesquisa ofereceu uma análise abrangente do impacto disruptivo da inteligência artificial sobre a cibersegurança, revelando tanto as promessas quanto os perigos que esta tecnologia emergente comporta para a integridade dos sistemas digitais do presente e do futuro.

CIBERSEGURANÇA

A Cibersegurança envolve a aplicação de medidas de proteção e defesa em sistemas computacionais, redes e programas no contexto do ciberespaço para prevenir e mitigar o impacto de ataques mal-intencionados. Isso inclui a implementação de políticas e procedimentos, o uso de tecnologias de encriptação e a aderência a regulamentos específicos com o objetivo de preservar a integridade tanto do hardware quanto do software (Miller & CISSP, 2016).

Considerada amplamente, a Cibersegurança se manifesta em um arsenal de ferramentas, políticas de segurança, estratégias de gerenciamento de riscos, padrões de boas práticas e inovações tecnológicas. Esses componentes servem para salvaguardar o ciberespaço, bem como as organizações e usuários que dele dependem. A proteção se estende aos computadores, infraestruturas e serviços de telecomunicações, que armazenam dados cruciais no ambiente digital (Von Solms & Van Niekerk, 2013).

Ela assegura propriedades de segurança vitais como integridade, disponibilidade e confidencialidade para prevenir riscos iminentes no ambiente digital (Gourisetti, Mylrea, & Patangia, 2020), mas seu escopo vai além, visando também proteger todos os ativos relacionados direta ou indiretamente com o ciberespaço (Von Solms & Van Niekerk, 2013). O conceito de ciberespaço se refere ao domínio global interconectado por meio de uma rede de Sistemas de Informação, abrangendo a internet, redes de telecomunicações, sistemas computacionais e dispositivos de controle (Shiode, 2000).

Atividades ilícitas na Cibersegurança incluem acessos não autorizados a informações confidenciais, alterações indevidas de dados e uso excessivo ou inapropriado de recursos computacionais. Esses problemas evidenciam o abuso e a manipulação de sistemas e redes sem o consentimento devido (Zúquete, 2018). A segurança em sistemas de informação é um desafio tanto técnico quanto social. Tecnicamente, por causa da complexidade crescente das arquiteturas de sistemas, e socialmente, devido à falta de competências técnicas entre os usuários para enfrentar as questões de segurança (Zúquete, 2018). As organizações devem se empenhar para garantir a segurança de seus sistemas contra ataques cibernéticos. Os ataques, que estão cada vez mais avançados, podem acarretar custos elevados, danos reputacionais e perdas econômicas significativas, especialmente quando não são prontamente detectados (Pande, 2017).

Diretrizes de cibersegurança

A normativa ISO/IEC 27001:2013, estabelecida pela *International Organization for Standardization* e pela *International Electrotechnical Commission*, consiste em uma série de diretrizes alinhadas com os interesses das duas instituições e ajustadas para atender às demandas específicas de Portugal. Estas regras enfatizam a importância de uma abordagem baseada em riscos para a segurança, propondo a identificação e avaliação dos riscos com o objetivo de mitigar seus impactos e promover um avanço contínuo na segurança da informação. Para tal, uma organização deve levar em consideração várias metas de controle, como a implementação de políticas de segurança da informação que direcionem as organizações na gestão de suas informações, alinhadas com as exigências legais e

regulatórias nacionais. Estas políticas precisam de revisões regulares para adaptarem-se a quaisquer mudanças nos negócios ou legislações.

É necessário também estruturar a organização da segurança da informação para apoiar a administração na execução dessas diretrizes, definindo responsabilidades claras desde o início e incluindo a participação de entidades relevantes. A proteção dos dados deve ser incorporada desde a fase de gerenciamento do projeto e deve-se também assegurar a segurança na execução de atividades remotas e no uso de dispositivos móveis. Outro ponto de atenção é a gestão de recursos humanos em segurança, assegurando que colaboradores e terceirizados estejam cientes de suas funções e treinados para executá-las. Credenciais e referências devem ser verificadas e as responsabilidades claramente estipuladas em contratos de trabalho, mantendo-se esta clareza mesmo após o término da relação contratual.

Além disso, é preciso gerenciar devidamente os ativos da organização, identificando-os e definindo responsáveis pela sua proteção, mantendo um registro detalhado e desenvolvendo regras para sua utilização adequada. As informações devem ser classificadas de acordo com a legislação e a sensibilidade da mesma em caso de divulgação indevida, e os processos de eliminação de dados devem ser seguros e formais. No que se refere ao controle de acesso, deve-se assegurar que somente pessoal autorizado tenha acesso às informações e recursos de processamento, com políticas bem estruturadas que limitem acessos não autorizados. Da mesma forma, os procedimentos de autenticação devem ser respeitados pelos usuários.

Quanto à criptografia, deve-se ter uma política de gestão eficaz durante todo o ciclo de vida dos controles criptográficos. E, em relação à segurança física e do ambiente, é essencial criar barreiras para prevenir acessos não autorizados e proteger contra desastres naturais ou outras interferências que possam comprometer os dados. Os procedimentos operacionais precisam ser bem documentados e as alterações nos processos de negócio, recursos e sistemas precisam ser geridos cuidadosamente. A proteção contra códigos maliciosos e a perda de dados também deve ser uma preocupação constante, com revisões regulares e manutenção dos registros de eventos.

Por fim, a segurança nas comunicações é crucial, com a gestão das redes visando a proteção das informações e a transferência segura de dados. A aquisição, desenvolvimento e manutenção dos sistemas devem incluir a segurança da informação e controlar o acesso e as modificações nos sistemas. Além disso, as relações com fornecedores devem ser geridas para assegurar a proteção dos ativos e a conformidade com os requisitos de segurança, sendo monitoradas e auditadas regularmente.

Inteligência artificial

Fernandes (2003) aponta que a expressão "inteligência artificial" tem suas raízes no idioma latino, especificamente nos termos "inter", que significa "entre", e "legere", que significa "escolher". Essencialmente, isso reflete a habilidade humana de escolher entre diversas opções, quer seja na execução de atividades ou na solução de problemas. A inteligência artificial é reconhecida como um ramo da informática que se dedica à criação e análise de sistemas que mimetizam ações consideradas inteligentes, caracterizadas

pelo comportamento humano, tais como a capacidade de aprender, o entendimento de linguagens e a solução de complicações, conforme Fernandes (2003) elucidou.

Esta esfera da tecnologia tem o propósito de replicar ações humanas, abrangendo desde as mais simples, como conduzir um veículo, até as mais intrincadas. Apesar dos avanços substanciais, é imperativo reconhecer que a inteligência artificial, no cerne de sua existência, permanece sendo uma entidade robótica. Seu campo de especialidade está ancorado em uma estrutura de regras precisas e imutáveis. Essa peculiaridade é o que permite à inteligência artificial excelência em operações lógicas, como a otimização de procedimentos. Segundo Pimenta (2021), a inteligência artificial está apta a analisar dados e estatísticas com rapidez, aperfeiçoando processos ao corrigir desvios e determinando o que pode ser dispensado ou não.

A área de Inteligência Artificial, que já havia sido explorada por Alan Turing, um de seus pioneiros, oferece uma medida de avaliação de sua capacidade por meio do que hoje conhecemos como *Teste de Turing*. Esta avaliação é baseada na habilidade de uma máquina de se passar por um humano em uma conversa, um critério proposto por Russell e Norvig (2010).

Para alcançar essa capacidade de imitar o raciocínio humano, várias técnicas foram desenvolvidas, incluindo o *Machine Learning*, que se refere à habilidade das máquinas de aprenderem automaticamente e melhorarem a partir da experiência sem serem explicitamente programadas para isso. Esta área do conhecimento, detalhada por Ongsulee (2017), é composta por diversas categorias, como a aprendizagem supervisionada, não supervisionada, semi-supervisionada e por reforço, cada uma com sua aplicabilidade e complexidade, conforme discutido por Haq *et al.* (2015) e Bkassiny, Li e Jayaweera (2013).

Dentro do escopo do *Machine Learning*, técnicas especializadas como Sistemas Imunológicos Artificiais, Redes Neurais e Aprendizado Profundo foram destacadas, refletindo o avanço e a diversificação dos métodos de aprendizado de máquina. Estes são explicados por Ongsulee (2017) e Haq *et al.* (2015).

No que tange ao Processamento de Linguagem Natural (NLP), a evolução do campo é evidenciada na transição de sistemas baseados em regras manuais para os que aplicam *Machine Learning* para o processamento da linguagem, com Kulkarni e Shivananda (2019) e Kreimeyer *et al.* (2017) descrevendo suas aplicações práticas. O campo da Visão Computacional também tem visto progressos significativos, com máquinas cada vez mais capazes de capturar e analisar informações visuais, utilizando para isso avançadas câmeras e algoritmos, como descrevem Flores-Fuentes *et al.* (2014).

Além disso, a automação e a robótica têm como meta otimizar a produtividade e eficiência, executando tarefas monótonas e repetitivas, enquanto os sistemas de Lógica Fuzzy proporcionam uma forma de computação que permite representar e manipular um tipo de incerteza associado ao conhecimento humano. Vieira, Dias e Mota (2004) detalham como esses sistemas trabalham em três etapas para processar e traduzir esse conhecimento em resultados numéricos. Este panorama mostra a riqueza e diversidade das técnicas que compõem a Inteligência Artificial, uma ciência em constante evolução e cada vez mais presente no nosso dia a dia.

Inteligência artificial na cibersegurança

A concepção de cibersegurança pode ser compreendida, conforme descreve Lu *et al.* (2018, p. 112), como um conjunto de práticas e estratégias adotadas por entidades e nações para assegurar a confidencialidade, a integridade e a disponibilidade das informações e ativos no ambiente digital. Isso engloba diretrizes, políticas, medidas de segurança, tecnologias, instrumentos e treinamentos projetados para fortalecer a proteção do ciberespaço e de seus usuários (Bauernhansl; Schatz, 2014). A Cibersegurança precede a integração da Inteligência Artificial (IA) neste contexto, todavia, a inserção da IA se revela fundamental para solucionar a vasta maioria dos desafios atuais na área.

A IA já se demonstra eficaz em múltiplas frentes da cibersegurança, como na detecção de fraudes bancárias, análises forenses, repelir ataques DDoS, e na identificação de vírus e spams, conforme evidências apresentadas por Kumbhar (2014, p. 5893-5898). A IA surge como um elemento transformador na cibersegurança, especialmente na detecção de anormalidades no comportamento de indivíduos e na prevenção de ameaças em órgãos públicos e empresas, atuando como um mecanismo preditivo essencial para o estabelecimento de defesas proativas (Anggraini; Oliver, 2019).

Um caso notável é a inovação da Darktrace, empresa do Reino Unido, que criou o "*Enterprise Immune System*", um algoritmo que se destacou ao interceptar um ataque de ransomware. Em um incidente específico, o sistema identificou em apenas 9 segundos uma ameaça, após um empregado acessar seu e-mail pessoal da rede corporativa, introduzindo malware que começou a criptografar os arquivos via SMB. Em menos de meio minuto, o sistema tomou a iniciativa de cessar as ações suspeitas, mitigando o ataque e confinando o dano (Veiga, 2018).

O aumento da conscientização empresarial sobre perigos cibernéticos tem sido notável, com investimentos significativos destinados ao combate desses crimes. No entanto, a efetividade total das organizações em proteger seus ativos digitais ainda é uma incógnita (Wirkuttis; Klein, 2017). A adoção da IA na cibersegurança traz o desafio dos custos mais elevados se comparados às soluções de segurança cibernética convencionais (Lazic, 2019).

Um levantamento da Mastercard em colaboração com o Datafolha aponta que 57% das empresas brasileiras já foram vítimas de ataques digitais. Dessa porcentagem, apenas 32% possuem um departamento de cibersegurança. Ainda que a maioria considere essa área essencial, a pesquisa revela que 39% das empresas não a priorizam no orçamento. Mesmo com planos de resposta a incidentes, somente um terço realizou simulações de prevenção nos últimos três meses (Vilela, 2021). A IA, além disso, aproveita padrões de ameaças anteriores para identificar novos incidentes, otimizando o tempo e reduzindo custos de resposta a atividades maliciosas (Wirkuttis; Lein, 2017).

As questões de segurança e privacidade se destacam como desafios cruciais na implementação da IA, envolvendo tanto o acesso ilegal a informações quanto a violação de dados confidenciais (Goulart, 2012). Atualmente, uma pequena fração das tecnologias destinadas a assegurar a privacidade utiliza IA, mas prevê-se que esse número salte para 40% até 2023, de acordo com estimativas da Gartner, Inc. (Tech, 2020). Por fim, o setor

de cibersegurança, com faturamento próximo a US\$ 176,5 bilhões, projeta um crescimento substancial, esperando-se alcançar movimentações de até 403 bilhões de dólares até 2027 (Da Redação, 2021).

Ciberataques x Inteligência Artificial

Enquanto a inteligência artificial (IA) tem sido um grande aliado no fortalecimento da cibersegurança, seu papel é ambivalente, pois também serve de ferramenta para os perpetradores de ataques cibernéticos. Teles (2015) argumenta que as ameaças digitais surgem a partir da intenção de indivíduos maliciosos que buscam benefícios próprios. A noção de ciberataque, conforme definida por José e Graça (2013), envolve a manipulação de códigos mal-intencionados para alterar sistemas computacionais e redes. Da mesma forma, Li (2018) reconhece que os avanços em IA podem ser cooptados por criminosos cibernéticos para criar malwares mais sofisticados a um custo reduzido.

A IA adversária, um conceito discutido por Lazic (2019), refere-se ao uso da IA para objetivos nefastos. Ela é particularmente problemática nos estágios iniciais do aprendizado de máquina, onde a IA é crucial para mitigar riscos cibernéticos, mas os algoritmos dependem de conjuntos de dados predefinidos, deixando potenciais ameaças não catalogadas fora do radar. Em 2017, o ataque do *ransomware WannaCry*, que afetou 200.000 computadores em mais de 150 países, evidenciou a magnitude das ameaças cibernéticas, como relatado por Passarinho (2021).

O *Trojan emotet*, descrito por Shoaib (2016), exemplifica um protótipo de IA em ação, utilizando *spam-phishing* para infiltrar e-mails de maneira autêntica e persuasiva. A IA também revolucionou a eficiência e o alcance dos cibercriminosos, automatizando a criação de *malwares*, o que, segundo Pechoucek (2020), sublinha a necessidade de parcerias entre empresas de tecnologia e instituições acadêmicas, como a colaboração entre a AVAST e a Universidade Técnica Tcheca (CTU) de Praga.

Soprana (2017) destaca que, ao contrário dos ataques liderados por humanos, os ataques automatizados via IA são mais rápidos e eficazes, pois exigem menos tempo para entender e penetrar os sistemas alvo. Brito (2019) introduz o conceito de "*DeepAttacks*", ataques realizados por IA contra outra IA, utilizando redes neurais adversárias, exemplificadas pela Avast, que demonstram como algoritmos podem ser enganados para interpretar um sinal de trânsito de maneira errônea.

Li (2021) reforça que as redes neurais profundas (DNNs) são altamente suscetíveis a ataques adversários, que podem ser contrariados por meio de treinamento específico. Os desdobramentos de 2021, conforme Emm (2021), indicam uma evolução no crime cibernético, com *ransomwares* se tornando mais sofisticados e, como exemplificado pela ANSA (2021), organizações como a JBS se encontram em situações em que o pagamento de resgates se torna uma medida considerável. Da Redação (2021) menciona ainda que o custo global de invasões cibernéticas poderia alcançar um prejuízo estimado em trilhões, reforçando a magnitude do problema no cenário econômico mundial.

Assim, fica evidente que os ciberataques representam uma ameaça de proporções globais, exigindo uma abordagem sofisticada e colaborativa para a cibersegurança no cenário tecnológico contemporâneo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inteligência artificial (IA) vem marcando sua presença dominante em diversos setores, sobretudo no âmbito da segurança cibernética, área que tem recebido investimentos substanciais por parte das corporações. O setor de cibersegurança, por exemplo, ostenta uma receita impressionante de US\$ 176,5 bilhões, sendo considerado um campo em franco crescimento. Apesar disso, persiste a dúvida se, a longo prazo, a IA facilitará ou complicará o cenário de cibersegurança.

Por um lado, as máquinas estão se tornando mais sofisticadas, com sistemas embasados em IA e uma capacidade ampliada de identificar anomalias. Em contrapartida, surge a ameaça da IA adversária, dotada de um potencial de ataque tremendamente eficiente. A característica intrínseca da IA de aprender e adaptar-se prenuncia uma era nova, em que ataques cibernéticos altamente personalizados e executados por humanos tornam-se passíveis de escalonamento.

A infraestrutura ofensiva movida por IA será capaz de evoluir enquanto interage com o ambiente, infringindo sistemas de forma astuta e com uma mínima probabilidade de ser detectada. Assim, os assaltos futuros poderiam se tornar mais intrusivos, proporcionando uma certa segurança de atingir as metas estipuladas. Dessa forma, torna-se crucial examinar a IA ofensiva no contexto cibernético para entender de maneira aprofundada as ameaças cibernéticas potencializadas pela IA. As companhias que falharem na adoção de soluções de IA estão propensas a enfrentar impactos mais severos, pois ficam mais vulneráveis aos riscos emergentes.

Em conclusão, este trabalho ofereceu uma contribuição significativa para a compreensão da relação entre a inteligência artificial (IA) e a cibersegurança, delineando as implicações desta interação em um contexto digital globalizado. O estudo iniciou com uma contextualização profunda da importância crescente da IA no panorama atual da segurança cibernética, revelando o quão intrincados e indispensáveis esses sistemas se tornaram para a proteção de infraestruturas digitais.

Ao longo das seções, investigou-se detalhadamente o espectro da cibersegurança, desde a análise de diretrizes e políticas até as aplicações específicas da IA na detecção e prevenção de ameaças. A seção dedicada à inteligência artificial explicitou seu papel como um catalisador na evolução dos protocolos de segurança, enquanto a subsequente exploração de ciberataques guiados por IA destacou a dualidade dessa tecnologia – como uma ferramenta para defensores e agressores.

Empregando uma metodologia de revisão bibliográfica, o estudo consolidou uma série de fontes para compor uma visão multidimensional do assunto. Essa abordagem metódica possibilitou uma análise aprofundada e sistematizada das literaturas pertinentes ao tema, garantindo uma interpretação fundamentada de dados secundários que respaldaram as conclusões alcançadas.

Respondendo à pergunta de pesquisa central, o trabalho elucidou que a IA está, de fato, redefinindo as práticas de cibersegurança. As defesas se tornaram mais ágeis e inteligentes, mas os ataques também avançaram em complexidade e sutileza. A IA emergiu

como uma faca de dois gumes, oferecendo tanto soluções quanto desafios, com o potencial para transformar fundamentalmente as estratégias de segurança cibernética.

Para avançar neste campo de estudo, sugere-se a realização de pesquisas empíricas que explorem o desenvolvimento de novos modelos de IA dedicados à prevenção de ciberataques, bem como estudos que mapeiem as estratégias de cibersegurança adaptativas empregadas em diferentes setores. Além disso, seria proveitoso investigar o impacto ético e legal da utilização da IA em cibersegurança, ponderando sobre a responsabilidade e a governança dos sistemas autônomos.

Este trabalho conclui, portanto, que a IA não é apenas uma ferramenta tecnológica avançada, mas um fenômeno que requer uma compreensão holística que englobe as dimensões técnica, ética, legal e social, moldando decisivamente o futuro da segurança cibernética.

REFERÊNCIAS

- Anggraini, A. R., & Oliver, J. (2019). **Symbiotic Artificial Intelligence and Its Challenges in Cybersecurity and Malware Research**. *Journal of Chemical Information and Modeling*, v. 53, n. 9, p. 1689– 1699. Disponível em: <http://essay.utwente.nl/88193/>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Bahrin, M., Othman, M., Azli, N., & Talib, M. (2016). **Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic**. *Jurnal Teknologi*, 78(6-13), 137-143. Penerbit UTM Press. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/304614356_Industry_40_A_review_on_industrial_automation_and_robotic. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Bauernhansl, T.; Schatz, A.; Jäger, J. **Komplexität bewirtschaften—Industrie 4.0 und die Folgen**. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, v. 109, n. 5, p. 347-350, 2014.
- Bkassiny, M., Li, Y., & Jayaweera, S. (2013). **A survey on machine-learning techniques in cognitive radios**. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 15(3), 1136-1159. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6336689>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Boell, S., & Cecez-Kecmanovic, D. (2015). **What is an information system?** *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*. 2015-March, pp. 4959-4968. IEEE Computer Society. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/271588444_What_is_an_Information_System. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Brynielsson, J., Franke, U., Adnan Tariq, M., & Varga, S. (2016). **Using cyber defense exercises to obtain additional data for attacker profiling**. *IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics: Cybersecurity and Big Data, ISI 2016* (pp. 37-42). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/310497461_Using_cyber_defense_exercises_to_obtain_additional_data_for_attacker_profiling. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Chowdhury, G. (2005). **Natural language processing**. *Annual Review of Information Science and Technology*, 37(1), 51-89. Disponível em: <https://asistdl.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/aris.1440370103>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.

Costa, E., & Simões, A. (2011). **Inteligência Artificial Fundamentos e Aplicações (3ª Edição)**. Lisboa: FCA. Disponível em: <https://docplayer.com.br/59830224-Inteligencia-artificial.html>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.

Da Redação. **Setor de cibersegurança fatura US\$ 176,5 bi e deve crescer 12,5% em 5 anos: até 2027**, o mercado de cibersegurança deve movimentar us\$ 403 bilhões, de acordo com estudo da bmrc. Até 2027, o mercado de cibersegurança deve movimentar US\$ 403 bilhões, de acordo com estudo da BMRC. 2021. Disponível em <https://www.cisoadvisor.com.br/setor-de-ciberseguranca-fatura-us-1765-bi-em-2020-edeve-crescer-125-em-5-anos/>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.

Desouza, K., Dawson, G., & Chenok, D. (2019). **Designing, developing, and deploying artificial intelligence systems: Lessons from and for the public sector**. Business Horizons. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338142279_Designing_developing_and_deploying_artificial_intelligence_systems_Lessons_from_and_for_the_public_sector. Acesso em: 06 de novembro de 2023.

Emm, D. **Previsões: o que 2021 tem reservado para a cibersegurança?: especialistas em cibersegurança compartilham suas previsões sobre como os crimes cibernéticos e o cenário de ameaças devem evoluir em 2021..** Especialistas em cibersegurança compartilham suas previsões sobre como os crimes cibernéticos e o cenário de ameaças devem evoluir em 2021.. Disponível em: <https://www.kaspersky.com.br/blog/secure-futuresmagazine/previsoes-o-que-2021-reserva-para-a-ciberseguranca/17184/>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.

Estrela, S. C. (2014). **A gestão da informação na tomada de decisão das PME da região centro: um estudo exploratório e de multicasos no âmbito da Ciência da Informação**. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10316/25956>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.

Fang, Z., Zhao, X., Wei, Q., Chen, G., Zhang, Y., Xing, C., . . . Chen, H. (2016). **Exploring key hackers and cybersecurity threats in Chinese hacker communities**. IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics: Cybersecurity and Big Data, ISI 2016 (pp. 13-18). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/310496900_Exploring_key_hackers_and_cybersecurity_threats_in_Chinese_hacker_communities. Acesso em: 06 de novembro de 2023.

Fernandes, A. M. da R. (2003). **Inteligência artificial: noções gerais**. Florianópolis: Visual Books. Disponível em: <https://www.skoob.com.br/livro/pdf/inteligencia-artificial/77067/edicao:84957>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.

Flores-Fuentes, W., Rodríguez-Quiñonez, J., Hernandez-Balbuena, D., Rivas-López, M., Sergiyenko, O., Gonzalez-Navarro, F., & Rivera-Castillo, J. (2014). **Machine vision supported by artificial intelligence**. IEEE International Symposium on Industrial Electronics (pp. 1949-1954). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/316146510_Machine_Vision_Optical_Scavners_for_Landslide_Monitoring. Acesso em: 06 de novembro de 2023.

Goulart, G. D. (2012). **Segurança da informação e a proteção contra a violação de dados pessoais: A confidencialidade no Direito do Consumidor**. 2012. 215 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Direito, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Portol Alegre. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/194427>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.

- Gourisetti, S., Mylrea, M., & Patangia, H. (2020). **Cybersecurity vulnerability mitigation framework through empirical paradigm**: Enhanced prioritized gap analysis. *Future Generation Computer Systems*, 105, 410-431. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167739X19307344>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Haq, N., Onik, A., Avishek, M., Hridoy, K., Rafni, M., Shah, F., & Farid, D. (2015). **Application of Machine Learning Approaches in Intrusion Detection System**: A Survey. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/282531074_Application_of_Machine_Learning_Approaches_in_Intrusion_Detection_System_A_Survey. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- ISO/IEC 27001:2013. (2013, 10 01). **Retrieved from ISO - ISO/IEC 27001:2013** - Information technology — Security techniques — Information security management systems. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/54534.htm>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Kumbhar, S. R. **An overview on use of artificial intelligence techniques in effective security management**. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, Maharashtra - Índia*, vol. 2, n. 9, p. 5893-5898, set. 2014. Disponível em: <https://www.riij.com/open-access/an-overview-on-use-of-artificial-intelligencetechniques-in-effective-security-management.pdf>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Laudon, C. K., & Laudon, P. J. (2014). *Management Information Systems*. United States of America: Pearson. Disponível em: https://repository.dinus.ac.id/docs/ajar/Kenneth_C.Laudon,Jane_P_.Laudon_-_Management_Information_Sysrem_13th_Edition_.pdf. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Lazic, L. **Benefit From AI in Cybersecurity**. *The 11th International Conference on Business Information Security*, v. 1, n. October, p. 1–8, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336826190_BENEFIT_FROM_AI_IN_CYBERSECURITY. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Li, J. *et al.* **Towards Adversarial-Resilient Deep Neural Networks for False Data Injection Attack Detection in Power Grids**. p. 1–12, 2021. Disponível em:
- Lu et. Al. **BIM and Big Data for Construction Cost Management**. Abingdon, Oxon: Routledge, 2019. P. 112. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328243669_BIM_and_Big_Data_for_Construction_Cost_Management. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Lu et. Al. **BIM and Big Data for Construction Cost Management**. Abingdon, Oxon: Routledge, 2019. P. 112. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328243669_BIM_and_Big_Data_for_Construction_Cost_Management. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Miller, L. C., & CISSP. (2016). **Cybersecurity For Dummies, Palo Alto Networks 2nd Edition**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. Disponível em: http://uru.ac.in/uruonlinelibrary/Cyber_Security/Cybersecurity-for-dummies.pdf. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- O'Brien, J. A., & George, M. M. (2011). **Management Information Systems, 10e. New York**: McGrawHill Irwin. Disponível em: <https://industri.fatek.unpatti.ac.id/wp-content/uploads/2019/03/186-Management-Information-Systems-James-A.-O%E2%80%99Brien-George-M.-Marakas-Edisi-10-2010.pdf>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Ongsulee, P. (2017). **Artificial Intelligence, Machine Learning and**. 2017 Fifteenth International Conference on ICT and Knowledge Engineering. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/>

- paper/Artificial-intelligence%2C-machine-learning-and-deep-Ongsulee/961d0f3d0c852055a202ef315b02cd69863098e9. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Pande, J. (2017). **Introduction To Cyber Security**. Uttarakhand Open University, Haldwani: Uttarakhand Open University. Disponível em: <https://uou.ac.in/sites/default/files/slm/Introduction-cyber-security.pdf>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Pechoucek, M. **Previsões que a IA trará na próxima década**. 2020. Disponível em: <http://www.mundodigital.net.br/index.php/noticias/ti/13318-previsoes-que-a-ia-trarana-proxima-decada>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Pimenta, I. (2021). **Inteligência Artificial**: o que é, conceito e métodos de IA. Disponível em: <https://www.take.net/blog/tecnologia/inteligencia-artificial/>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Rainer Jr., R. K., & Cegielski, C. G. (2007). **Introduction to Information Systems**. United States of America: John Wiley & Sons, Inc. Disponível em: <https://humdiana.files.wordpress.com/2018/03/introduction-to-information-system-edisi-5-tahun-2014.pdf>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2010). **Artificial Intelligence: A Modern Approach** 3rd Edition. Upper Saddle River, New Jersey 07458.: Pearson Education, Inc. Disponível em: <https://web.cs.ucla.edu/~srinath/static/pdfs/AIMA.pdf>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Schatz, D. (2017). **Towards a More Representative Definition of Cyber Security**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/320508340_Towards_a_More_Representative_Definition_of_Cyber_Security. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Shiode, N. (2000). **Urban Planning, Information Technology, and Cyberspace**. Journal of Urban Technology, 7(2), 105-126. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/713684111>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Shoab, M.; Shamseldin, A. Y.; Melville, B. W.; Khan, M. M. (2016). **Hybrid wavelet neural network approach**. In: Shanmuganathan, S.; Samarasinghe, S. (Eds.). Artificial neural network modelling: studies in computational intelligence. Springer International Publishing Switzerland, 2016. p. 127-142 http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-28495-8_7.
- Soprana, P. (2017). **Internet das Coisas impõe desafios de segurança, privacidade e conectividade**. Disponível em: <https://epoca.globo.com/tecnologia/experiencias-digitais/noticia/2017/10/o-risco-dainternet-das-coisas.html>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Teles, T. M. F. P. d. S. (2015). **Cibersegurança - Detecção de outliers**. Tese (Mestrado em Ciências Militares Navais) — Escola Naval Talant De Bien Faire.
- Veiga, A. P. (2018). **Applications of Artificial Intelligence to Network Security**. n. March. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/1803.09992>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Vieira, J., Dias, F. M., & Mota, A. (2004). **Neuro-Fuzzy Systems: A Survey**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/310047437_Neuro-Fuzzy_Systems_A_Survey. Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- Vilela, L. Só 21% das empresas têm cibersegurança como prioridade no orçamento. Disponível em: <https://www.consumidormoderno.com.br/2021/06/01/empresas-ciberseguranca-prioridade/>. Acesso em: 06 de novembro de 2023

Von Solms, R., & Van Niekerk, J. (2013). **From information security to cyber security**. *Computers and Security*, 38, 97-102. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167404813000801>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.

Wirkuttis, N., & Klein, H. (2017). **Artificial Intelligence in Cybersecurity – Current Use-Cases and Capabilities Emer. Cyber, Intelligence, and Security**, v. 1, n. 1, p. 103–119, 2017. Disponível em: https://www.academia.edu/36264684/Artificial_Intelligence_in_Cybersecurity. Acesso em: 06 de novembro de 2023.

Zúquete, A. (2018). **Segurança em Redes Informáticas 5º Edição**. Lisboa: FCA. Disponível em: <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/15996/3/Seguran%C3%A7a%20em%20redes%20inform%C3%A1ticas.pdf>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.

Desafios do uso da inteligência artificial na análise de falhas em sistemas de via permanente

Challenges in using artificial intelligence in analyzing failures in permanent track systems

Camilla Santos Oliveira

Graduando em tecnologia em manutenção industrial pela FATEC Osasco

Samara Taciana Souza

Graduando em tecnologia em manutenção industrial pela FATEC Osasco

Fabio Yoshiaru Noguti

Graduado em Tecnólogo em Projetos Mecânicos pela FATEC São Paulo e professor da FATEC Osasco

Douglas Morais

Doutor em Engenharia metalúrgica e de materiais pela USP e professor da FATEC Osasco

Antônio Carlos Santos de Arruda

Mestre em Engenharia Elétrica pela USP e professor da FATEC Osasco

RESUMO

A utilização da inteligência artificial (IA) e das redes neurais artificiais (RNA) na análise de falhas em sistemas de via permanente tem o objetivo de melhorar a eficiência e segurança da manutenção ferroviária. As RNAs são capazes de aprender padrões complexos e identificar falhas com alta precisão, tornando-se ferramentas valiosas na detecção e proteção de falhas no sistema de via permanente. No entanto, existem desafios a serem superados, como a precisão dos dados, capacidade de generalização, compreensibilidade e custos envolvidos na implementação da IA. A aplicação de técnicas de *machine learning*, também são importantes para a manutenção preditiva, permitindo a detecção precoce de falhas e otimização dos recursos disponíveis. Além disso, considerações éticas, como o impacto ambiental e a responsabilidade social, devem ser levadas em conta na implementação da IA na manutenção ferroviária. A implementação bem-sucedida dessas tecnologias pode revolucionar a indústria ferroviária, garantindo a confiabilidade e eficiência dos sistemas.

Palavras-chave: via permanente. inteligência artificial. rede neural. manutenção. machine learning.



ABSTRACT

The use of artificial intelligence (AI) and artificial neural networks (ANN) in the analysis of failures in permanent way systems aims to improve the efficiency and safety of railway maintenance. ANNs are capable of learning complex patterns and identifying failures with high precision, making them valuable tools in the detection and protection of failures in the permanent way system. However, there are challenges to overcome, such as data accuracy, generalization capability, comprehensibility, and the costs involved in implementing AI. The application of machine learning techniques is also important for predictive maintenance, allowing early detection of failures and optimization of available resources. Additionally, ethical considerations, such as environmental impact and social responsibility, must be taken into account in the implementation of AI in railway maintenance. The successful implementation of these technologies has the potential to revolutionize the railway industry, ensuring the reliability and efficiency of systems.

Keywords: permanent way, artificial intelligence, neural network, maintenance, machine learning.

INTRODUÇÃO

Sistemas de infraestrutura ferroviária desempenham um papel essencial no transporte global de mercadorias e passageiros, sendo uma parte essencial para garantir a confiabilidade do setor. Com mais de 31 mil km de extensão (MAPA, 2023), o Brasil tem sua operação ferroviária majoritariamente utilizada para transportes de commodities para exportação como soja, minério de ferro, grãos diversos etc. Apesar da extensa malha, o Brasil não está entre os oito países com a maior malha ferroviária, são eles: Estados Unidos, Rússia, China, Índia, Canadá, Alemanha, Austrália e França, como mostra dados do BNDES (Assis *et al.*, 2017).

No Brasil, de acordo com Santos *et al.* (2018), um dos principais desafios enfrentados pelo transporte ferroviário é a falta de investimentos na infraestrutura, que tem sido deixada de lado em favor do transporte rodoviário. Além disso, a malha ferroviária brasileira é considerada obsoleta e insuficiente para atender a demanda do país, especialmente no que diz respeito ao escoamento da produção agrícola até os principais portos do país. Outro desafio é a necessidade de modernização e atualização tecnológica da malha ferroviária, que ainda utiliza equipamentos e sistemas antigos e pouco eficientes.

A manutenção adequada desses sistemas é fundamental para assegurar a operação segura e eficiente desse modal. No entanto, existem diversos desafios relacionados à operação e manutenção desses sistemas, como o desgaste dos trilhos, trincas, afundamento dos dormentes e outros tipos de falhas. Segundo Lima *et al.* (2021), um dos principais métodos utilizados para a elaboração de planos de manutenção da malha ferroviária é a inspeção geométrica da via permanente (método atualmente utilizado). As intervenções são baseadas nas indicações de inconformidades, de acordo com intervalos pressupostos para os parâmetros analisados.

Com os avanços na tecnologia de análise de dados e o aumento da disponibilidade

de informações monitoradas, a inteligência artificial (IA) está se tornando uma ferramenta promissora para melhorar a detecção e análise das falhas nos sistemas de via permanente, mais especificamente nos trilhos. Entre as técnicas de IA utilizadas nesse contexto, destacam-se as redes neurais artificiais e o aprendizado de máquina (*machine learning*), que permitem automatizar e otimizar a análise dos dados para identificar precocemente possíveis falhas e realizar a manutenção preditiva. Já Limberger (2000) destaca que sistemas inteligentes que utilizam metodologias de inteligência artificial como redes neurais estão substituindo o envolvimento humano para tomadas de decisão em detecção de falhas, uma vez que os humanos apresentam uma resposta muito mais lenta quando comparados com esses sistemas.

No entanto, implementar com sucesso essas tecnologias enfrenta uma série de desafios complexos e específicos. O objetivo deste estudo é explorar os obstáculos associados ao uso da IA na análise das falhas em sistemas ferroviários de vias permanentes, com ênfase nas redes neurais artificiais e no aprendizado de máquina. Ao compreendermos e abordarmos esses desafios, pode-se abrir caminho para melhorias consideráveis na segurança e eficiência dos sistemas ferroviários.

A importância do uso de redes neurais artificiais (RNA) na detecção, classificação e localização de falhas reside em sua capacidade de aprender padrões complexos e relações entre dados de entrada e saída (Oleskovicz; Coury; Aggarwal, 2003). As redes neurais artificiais podem identificar efetivamente falhas em sistemas de energia, analisando valores pré e pós falta como entrada para treinamento e teste. Este método permite detecção, classificação e localização rápida e de alta precisão, o que é importante para manter a confiabilidade e estabilidade do sistema. A implementação bem-sucedida de redes neurais artificiais como classificadores de padrões neste estudo destaca seu potencial como ferramentas valiosas para detectar e proteger falhas no sistema de via permanente.

Neste contexto, esta pesquisa irá explorar os principais obstáculos encontrados ao utilizar redes neurais artificiais e técnicas de aprendizado de máquina na análise de dados de sistemas ferroviários, enfatizando questões relacionadas à precisão dos dados, capacidade de generalização, compreensibilidade e custos envolvidos na implementação e considerações éticas. Além disso, serão discutidas estratégias e soluções potenciais para enfrentar esses desafios e maximizar o benefício da IA na manutenção ferroviária.

METODOLOGIA

Esse estudo consiste na revisão literária integrativa de diferentes tipos de literatura, incluindo artigos, teses, dissertações e textos online. Esta abordagem possibilita uma descrição ampla e abrangente do tema, proporcionando uma compreensão holística das diversas perspectivas existentes. No entanto, é importante ressaltar que a revisão literária integrativa não esgota todas as fontes de informação disponíveis, uma vez que não é conduzida por meio de pesquisa e análise sistemática de dados. Sua relevância reside na capacidade de fornecer uma visão atualizada e abrangente das pesquisas existentes sobre o tema, permitindo uma síntese de conhecimento que pode orientar futuras investigações e práticas no campo em questão.

Desafios de infraestrutura e investimento no setor ferroviário

A preservação eficaz dos trilhos, trens, estações de controle e outros elementos do sistema ferroviário é de vital importância. Isso ocorre porque a manutenção desempenha um papel fundamental na extensão da vida útil dos componentes, ao mesmo tempo em que assegura a segurança nas vias férreas.

O transporte ferroviário é uma parte fundamental do sistema de mobilidade global, desempenhando um papel crítico na movimentação eficiente de bens e passageiros. No entanto, para que esse sistema opere com segurança e eficácia, a manutenção deve ser priorizada. As redes ferroviárias modernas são constituídas por uma complexa teia de trilhos, dormentes, sinalização, locomotivas, vagões e outros elementos interconectados. Uma falha em qualquer um desses componentes pode comprometer a operação. Portanto, a manutenção é essencial para garantir o funcionamento ininterrupto do sistema ferroviário. Segundo o site Intermodal (2022), “não há redundância no sistema de via permanente”. Além das inspeções regulares, a manutenção preventiva é essencial para evitar acidentes e interrupções inesperadas. Isso inclui a lubrificação adequada, ajustes precisos, substituição oportuna de peças desgastadas, a limpeza de trilhos etc. Essas ações planejadas contribuem para a redução do risco de falhas abrupto.

Além disso, Lima *et al.* (2021) enfatizaram a importância da manutenção preventiva e corretiva das superestruturas ferroviárias, para reduzir a ocorrência de descarrilamentos e evitar perdas de investimentos. A manutenção dos elementos da superestrutura e da infraestrutura é crítica e deve ser gerida de acordo com os padrões estabelecidos em normas ou diretrizes para garantir o seu bom funcionamento. Porém, no Brasil essa manutenção geralmente é baseada em parâmetros obtidos a partir de inspeções geométricas de estradas permanentes e raramente através de inspeções dinâmicas utilizando equipamentos caros e difíceis de operar.

Caracterização da malha ferroviária brasileira

A manutenção ferroviária no Brasil está passando por uma fase de transformação e modernização. O país está fazendo investimentos substanciais na expansão e melhoria de sua rede ferroviária, com o objetivo de tornar o transporte ferroviário mais eficiente, seguro e sustentável. Os sistemas ferroviários estão utilizando manutenção preventiva e preditiva com mais frequência para otimizar o desempenho e evitar falhas. Tecnologias avançadas, como análise de dados e sensores em tempo real, permitem o monitoramento constante de locomotivas, trilhos e outros ativos ferroviários (Dias; Serra; Lima, 2021).

Com a chegada de novas tecnologias no país, Constâncio (2021, s.d.) afirma que “a tecnologia ganhou de vez o espaço na via, contribuindo para a segurança e o aumento da precisão na manutenção ferroviária”, apresentando os novos conceitos de inteligência artificial e *Big Data* que estão por trás das inovações no mercado de equipamentos de via.

Com ênfase na segurança na manutenção ferroviária, são aplicadas regulamentações rigorosas para garantir operações seguras, ao mesmo tempo que promovem práticas ecológicas para reduzir o impacto ambiental, o que se torna cada vez mais uma prioridade no setor. Especializada em robôs para inspeção e gestão de ativos ferroviários, ela também

aponta que “o que se vê nesse mercado altamente competitivo é a busca constante por inovações com base nos parâmetros da Indústria 4.0” (Constâncio, 2021, s.d.).

Modernização da malha ferroviária brasileira

A utilização da inteligência artificial na detecção de falhas no contexto ferroviário representa um avanço significativo no aprimoramento da eficiência e segurança das operações. Essa tecnologia pode aprender com dados históricos, reconhecer padrões, realizar análises em tempo real e tomar decisões com base em informações complexas e quando aplicado à manutenção ferroviária, desempenha papel fundamental na identificação precoce de falhas, prevenção de problemas e otimização de processos.

Em seu artigo, Nunes (2019) apresenta algumas aplicações da Inteligência Artificial na manutenção de via permanente ferroviária, como o projeto de aero inspeção desenvolvido pela Rumo em parceria com um *startup*. Além disso, ele afirma que a aplicação de conceitos de IA no âmbito da Engenharia Ferroviária pode garantir projetos eficientes e condições favoráveis de funcionamento da via. Esse projeto utiliza drones equipados com câmeras de alta resolução e sensores para capturar imagens da via e identificar possíveis problemas, como trincas, desgastes e deformações.

No 33º congresso de pesquisa e ensino em transporte, é mencionado um projeto em que a VLI, empresa de logística que atua no setor ferroviário, está utilizando conceitos de inteligência artificial e *machine learning* para desenvolver um sistema automático de identificação de modos de falhas em máquinas de chave. Esse sistema tem como objetivo detectar e classificar cada dormente de acordo com os critérios estabelecidos pela VLI, utilizando conceitos de inteligência artificial e *machine learning* (Nunes, 2019).

Eficácia da IA na manutenção ferroviária

A capacidade da IA de realizar detecção preditiva de falhas é uma de suas principais vantagens. Ao instalar sensores ao longo dos trilhos permanentes, a IA pode monitorar continuamente a condição dos trilhos e travessas, identificando padrões que podem indicar desgaste excessivo ou danos iminentes. Isto permite a manutenção preventiva, evita interrupções não planejadas e garante um sistema ferroviário mais confiável (Orsoni *et al.*, 2021).

Além disso, também pode realizar a transformação da manutenção baseada no tempo para a manutenção baseada nas condições. Isto significa que as operações de manutenção são programadas com base nas necessidades reais e não em intervalos fixos. Como resultado, os componentes só são substituídos quando necessário, prolongando a vida útil dos ativos e reduzindo os custos operacionais (Abraman, 2023).

A eficácia na detecção precoce de problemas contribui diretamente para a melhoria da segurança nas ferrovias. Acidentes relacionados a falhas na via permanente podem ser evitados, garantindo a proteção dos passageiros e da carga transportada. Além dos benefícios operacionais, a aplicação da IA na manutenção ferroviária é uma prática mais sustentável. Ela resulta em menos desperdício de recursos, como aço, combustível e peças sobressalentes, contribuindo para a redução do impacto ambiental (Sgarbossa, 2022).

Aplicação de aprendizado de máquina para manutenção preditiva

A integração da tecnologia de *Machine Learning* na manutenção ferroviária, com foco na detecção de falhas, representa uma evolução notável no gerenciamento de ativos ferroviários. Nessa abordagem, a coleta e análise de dados desempenham um papel central. De acordo com Gama (2017), o *machine learning* pode ser utilizado para prever falhas em equipamentos através da análise de dados, históricos de alertas, alarmes e falhas relacionados, bem como suas respectivas causas raiz. A partir desses dados, é possível aplicar um modelo de *machine learning* para aprender com o histórico de falhas e prever quando uma falha ocorrerá, permitindo a realização de manutenção preditiva e otimização dos recursos disponíveis.

Pode-se usar como base sensores instalados em locomotivas, trilhos e outros ativos ferroviários que monitoram constantemente uma variedade de parâmetros, como temperatura, vibração e pressão. Esses dados, uma vez coletados, são processados para eliminar ruídos e irregularidades, preparando-os para análise. Modelos de *Machine Learning*, que podem variar de redes neurais a árvores de decisão, são treinados com dados históricos que incluem exemplos de falhas e situações normais (Sgarbossa, 2022).

À medida que os dados em tempo real são alimentados nos modelos de *Machine Learning*, eles procuram padrões anômalos ou desvios em relação ao esperado. Quando um problema potencial é detectado, o sistema gera alertas imediatos para os operadores ferroviários. Esses alertas permitem que as equipes de manutenção programem intervenções preventivas antes que a falha se torne crítica. O impacto é significativo, a detecção antecipada de falhas permite economia de recursos, evita interrupções não planejadas e contribui para a segurança geral das operações ferroviárias. Além disso, à medida que mais dados são coletados e novos padrões são identificados, os modelos de *Machine Learning* são aprimorados continuamente, aumentando a precisão das previsões (Grando, 2022).

Gama (2017) também apresenta o processo de criação de um modelo de aprendizado de máquina para prever falhas de máquinas que é baseado em Nogare & Zavaschi (2016) e consiste em utilizar medições de sensores que variam ao longo do tempo e detectar a presença de falha nas medições correspondentes. O modelo foi criado no Azure ML Studio, onde são colocados todos os componentes do modelo. Esse projeto propõe um modelo de manutenção preditiva, que prevê a probabilidade de falha nas etapas subsequentes com 94% de precisão, mas com apenas 40% de precisão.

Desenvolvimento de redes neurais para detecção de falhas

Também conhecidas como redes neurais simuladas, são um subconjunto de *machine learning* e estão no cerne dos algoritmos de *deep learning*. Seu nome e estrutura são inspirados no cérebro humano, reproduzindo a maneira como os neurônios biológicos enviam sinais uns para os outros. São compostas por camadas de um nó, contendo uma camada de entrada, uma ou mais camadas ocultas e uma camada de saída. Cada nó, ou neurônio artificial, conecta-se a outro e tem um peso e um limite associados. Se a saída de qualquer nó individual estiver acima do valor do limite especificado, esse nó será ativado, enviando dados para a próxima camada da rede.

As redes neurais contam com dados de treinamento para aprender e melhorar sua precisão ao longo do tempo. No entanto, uma vez que esses algoritmos de aprendizagem são ajustados para aumentar a precisão, eles se tornam ferramentas poderosas de ciência da computação e inteligência artificial. As redes neurais artificiais podem ser usadas para prever valores de ações e desenvolver estratégias comerciais, além de poder detectar ameaças à segurança e proteger contra fraudes. Elas também são eficazes na detecção de problemas em trilhos de trem (Ficher, 2023).

A implementação de redes neurais artificiais (RNAs) no diagnóstico de falhas em trilhos de trem representa um avanço significativo para a manutenção ferroviária. Essas RNAs são treinadas para reconhecer padrões e anomalias em grandes conjuntos de dados, que muitas vezes são coletados por sensores ao longo da malha ferroviária. Pesquisas recentes, como as de Smith e Zhao (2020), demonstram que as RNAs podem superar métodos tradicionais de inspeção visual e ultrassônica, apresentando maior precisão na identificação de falhas subcríticas. Além disso, Zhang *et al.* (2019) enfatizam a eficiência das RNAs em processar dados de inspeções geométricas para detecção precoce de problemas, contribuindo assim para a manutenção preditiva.

A implementação bem-sucedida dessas tecnologias pode resultar em uma revolução na manutenção ferroviária, transformando as práticas reativas em estratégias proativas e baseadas em dados como indicada nos estudos acima. A literatura emergente sugere um futuro no qual as RNAs serão um componente padrão na infraestrutura de manutenção ferroviária, destacando a importância de continuar a pesquisa e o desenvolvimento nesta área. As redes neurais artificiais estão ainda em desenvolvimento, mas já são uma ferramenta poderosa que pode ser usada para resolver uma ampla gama de problemas.

ANÁLISE DE RESULTADOS

A seguir serão discutidos pontos fundamentais sobre os desafios do uso da inteligência artificial na análise de falhas em sistemas de via permanente. A análise de resultados desempenha um papel fundamental nesse contexto, pois avalia a eficácia das tecnologias implementadas e identifica áreas de aprimoramento. Ao enfrentar obstáculos complexos, como a precisão dos dados, capacidade de generalização, compreensibilidade e custos associados à implementação, a análise de resultados fornece *insights* valiosos sobre o desempenho das redes neurais artificiais e técnicas de aprendizado de máquina. Além disso, serão exploradas estratégias e soluções potenciais para superar esses desafios, visando maximizar os benefícios da inteligência artificial na manutenção ferroviária. Este enfoque analítico é essencial para direcionar melhorias consideráveis na segurança e eficiência dos sistemas ferroviários, promovendo avanços significativos no setor.

Monitoramento contínuo e adaptativo

O monitoramento contínuo e adaptativo é uma tecnologia promissora que tem o potencial de revolucionar a manutenção de trilhos de trem. Os últimos acontecimentos no mundo, como a pandemia de covid-19, a guerra na Ucrânia e a crise climática têm destacado a importância da segurança e da confiabilidade das ferrovias. Essas infraestruturas são

essenciais para o transporte de pessoas e mercadorias e sua interrupção pode ter um impacto significativo na economia e na sociedade.

Esse sistema pode ser uma ferramenta importante para melhorar a segurança e a confiabilidade das ferrovias. Essa abordagem permite que os problemas sejam detectados mais cedo, o que pode evitar danos mais graves aos trilhos. Além disso, o monitoramento contínuo e adaptativo pode ajudar a otimizar a manutenção, garantindo que ela seja realizada apenas quando necessário.

Esse método é uma abordagem promissora para melhorar a manutenção de trilhos de trem. Essa abordagem consiste em coletar dados sobre o estado dos trilhos em tempo real e analisar esses dados para detectar possíveis problemas. Se um problema for detectado, o sistema pode gerar um alerta para que a manutenção seja realizada. Essa abordagem se apresenta promissora, baseada na coleta e detecção precoce de problemas, a capacidade de gerar alertas para intervenções de manutenção é destacada como uma vantagem significativa como:

- Melhor detecção de problemas: Os sistemas de monitoramento contínuo e adaptativo podem detectar problemas de forma mais precoce do que os métodos tradicionais. Isso pode ajudar a evitar acidentes e interrupções no serviço.
- Maior eficiência: Os sistemas de monitoramento contínuo e adaptativo podem ajudar a reduzir os custos de manutenção, ao permitir que a manutenção seja realizada apenas quando necessário.
- Melhor segurança: Os sistemas de monitoramento contínuo e adaptativo podem contribuir para melhorar a segurança ferroviária, ao ajudar a evitar acidentes.

Entretanto, sistemas de monitoramento contínuo e adaptativo também apresentam algumas desvantagens, que incluem:

- Custo: Os sistemas de monitoramento contínuo e adaptativo podem ser caros para serem instalados e operados.
- Complexidade: Os sistemas de monitoramento contínuo e adaptativo podem ser complexos de instalar e operar.
- Acurácia: A precisão dos sistemas de monitoramento contínuo e adaptativo pode depender da qualidade dos dados coletados e do algoritmo de análise utilizado.

Arup (2018) contribuiu para a discussão ao avaliar o desempenho desses sistemas em condições reais. Os resultados dos testes indicam eficácia na detecção de problemas nos trilhos, corroborando a abordagem promissora mencionada por Zhang *et al.* (2019). Este estudo prático fortalece a confiança na viabilidade e utilidade dos sistemas de monitoramento contínuo e adaptativo.

Em contrapartida, Ferreira *et al.* (2017) apresentam uma revisão da literatura sobre sistemas de monitoramento contínuo e adaptativo para trilhos de trem. O documento discute os diferentes tipos de sistemas de monitoramento, bem como suas vantagens e desvantagens.

Nos últimos anos, observou-se um aumento no investimento e na implementação de tecnologias de monitoramento contínuo e adaptativo para trilhos de trem. Essa tendência ascendente não apenas reflete a busca contínua das ferrovias por aprimorar sua segurança e confiabilidade, mas também responde à necessidade urgente de reduzir custos e otimizar a eficiência operacional. A crescente complexidade das operações ferroviárias, aliada à demanda por soluções inovadoras, tem impulsionado a adoção dessas tecnologias avançadas. Projetadas para oferecer uma abordagem proativa na detecção de problemas e na manutenção preditiva, essas tecnologias estão se tornando um pilar fundamental na modernização e aprimoramento contínuo do setor ferroviário. Este movimento em direção ao monitoramento avançado reflete uma resposta adaptativa e progressista às demandas crescentes do transporte ferroviário moderno.

Considerações éticas na implementação de IA na manutenção ferroviária

A ética na implementação de sistemas de Inteligência Artificial (IA) na manutenção ferroviária é um componente fundamental que precisa ser meticulosamente considerado. Conforme a IA assume um papel mais central na análise e na tomada de decisões relacionadas à infraestrutura crítica, emergem questões éticas significativas. Como destacado por Fernandes *et al.* (2023), a responsabilidade pelo desempenho e pelas decisões dos sistemas de IA deve ser claramente definida, assegurando que haja transparência nas operações e nos resultados. Isso é importante para garantir que os sistemas de IA sejam usados de forma responsável e justa e para que as pessoas afetadas pelas decisões dos sistemas de IA possam entender e contestar essas decisões.

Além disso, deve-se garantir que o uso de IA não resulte em discriminação ou viés, especialmente quando se trata de otimizar rotas e serviços que podem impactar diferentes comunidades. Como observado por Al-Motawa *et al.* (2022), a IA pode ser usada para perpetuar ou exacerbar desigualdades, por exemplo, se for usada para direcionar anúncios ou serviços a determinados grupos de pessoas. É importante que os sistemas de IA sejam projetados e implementados de forma a mitigar o risco de discriminação e viés. A privacidade dos dados também é uma preocupação, pois os sistemas de IA podem processar grandes volumes de informações que podem incluir dados sensíveis. Os usuários de sistemas de IA têm o direito de saber como seus dados estão sendo coletados, usados e compartilhados. É importante que os sistemas de IA sejam projetados e implementados de forma a proteger a privacidade dos dados.

Além das considerações éticas mencionadas acima, é importante considerar também os seguintes aspectos:

- **Impacto ambiental:** A IA pode ser usada para otimizar o uso de recursos, como energia e água, o que pode ter um impacto positivo no meio ambiente. No entanto, a IA também pode ser usada para aumentar o consumo de recursos, por exemplo, se for usada para gerar mais tráfego ou para desenvolver novos produtos e serviços que exijam mais recursos para serem produzidos.
- **Responsabilidade social:** A IA pode ser usada para promover a inclusão e a equidade, por exemplo, se for usada para identificar e corrigir vieses em sistemas de tomada de decisão. No entanto, a IA também pode ser usada para perpetuar

ou exacerbar desigualdades, por exemplo, se for usada para direcionar anúncios ou serviços a determinados grupos de pessoas.

- Independência tecnológica: A IA é uma tecnologia complexa que depende de uma ampla gama de recursos, incluindo hardware, software e dados. É importante garantir que os países e organizações tenham acesso a esses recursos de forma independente, para que não fiquem dependentes de fornecedores estrangeiros.

É importante que os profissionais envolvidos na implementação de IA na manutenção ferroviária estejam cientes dessas considerações éticas e tomem medidas para mitigá-las. Ao abordar essas considerações éticas, o objetivo é estabelecer diretrizes para que a implementação de IA na manutenção ferroviária seja conduzida de forma responsável e justa, equilibrando inovação tecnológica com respeito aos direitos humanos e aos valores sociais.

Futuro da manutenção ferroviária

Wasaki (2022) e Fischer (2023) concordam que o futuro da ferrovia está ligado à inovação tecnológica. Ambos os autores destacam a importância de investimentos em infraestrutura e a adoção de tecnologias para melhorar a segurança, confiabilidade e eficiência das operações ferroviárias. Wasaki (2022) afirma que as inovações tecnológicas estão impulsionadas pelo contínuo avanço tecnológico e uma crescente conscientização ambiental. Ele cita como exemplos o aumento significativo nas iniciativas de desenvolvimento de infraestrutura e a adoção de tecnologias para melhorar os serviços para os passageiros e aumentar a eficiência das operações.

Fischer (2023) concorda que o futuro das ferrovias está além do investimento em infraestrutura. Ele afirma que a manutenção preditiva é a chave para o futuro do sistema, pois permite identificar sintomas e prevenir problemas antes que ocorram. Os benefícios dessa abordagem incluem melhor desempenho operacional e redução de custos.

A aplicação da IA e do aprendizado de máquina na manutenção ferroviária tem o potencial de transformar substancialmente a gestão operacional e a preservação dos ativos nas redes ferroviárias. Sensores inteligentes instalados em trens e trilhos coletarão uma grande quantidade de dados em tempo real, que serão analisados por algoritmos de *Machine Learning* para identificar padrões e prever quando uma peça estiver prestes a falhar. Isso permitirá a intervenção antes que o problema ocorra, aumentando a segurança e a confiabilidade.

Além disso, a IA será capaz de analisar padrões de uso e dados históricos para otimizar rotas e horários. Isso não apenas reduzirá o desgaste dos trilhos e trens, mas também economizará energia e aumentará a eficiência operacional. A IA também permitirá a realização de inspeções visuais automáticas, facilitando a detecção ágil de danos, desgastes ou outras irregularidades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o avanço da tecnologia e a implementação da inteligência artificial (IA), a manutenção ferroviária está passando por uma transformação significativa. A implementação de redes neurais artificiais (RNA) na detecção de falhas em sistemas ferroviários de via permanente representa um avanço significativo para a manutenção ferroviária. As RNAs são capazes de aprender padrões complexos e relações entre dados de entrada e saída, o que as torna efetivas na identificação de falhas em sistemas de energia.

Pesquisas recentes demonstram que as RNAs podem superar métodos tradicionais de inspeção visual e ultrassônica, apresentando maior precisão na identificação de falhas subcríticas. Por exemplo, um estudo realizado pela Universidade de São Paulo (USP) em 2023, utilizando uma rede neural convolucional (CNN), obteve uma precisão de 98% na identificação de falhas em trilhos.

No entanto, a implementação bem-sucedida dessas tecnologias enfrenta uma série de desafios complexos e específicos. Um dos principais desafios é a obtenção de dados de treinamento de alta qualidade. Os dados de treinamento devem ser representativos das condições reais de operação dos sistemas ferroviários, o que pode ser uma tarefa desafiadora.

A obtenção de dados de treinamento de alta qualidade é um desafio importante, pois a precisão dos sistemas de detecção de falhas depende diretamente da qualidade dos dados utilizados para o treinamento. Os dados devem representar as condições reais de operação dos sistemas ferroviários, incluindo variações nas condições ambientais, no tráfego e no desgaste dos componentes.

Outro desafio é a seleção da arquitetura de rede neural mais adequada para a aplicação específica. Existem diferentes tipos de redes neurais, cada uma com suas próprias vantagens e desvantagens. A seleção da arquitetura de rede neural correta é fundamental para garantir a eficácia do sistema de detecção de falhas.

A seleção da arquitetura de rede neural mais adequada depende de uma série de fatores, incluindo o tipo de falha que deve ser detectada, as características dos dados de entrada e as restrições de desempenho e custo.

Além dos desafios mencionados, a implementação de redes neurais artificiais na detecção de falhas em sistemas ferroviários também enfrenta desafios relacionados à privacidade e à segurança. Os dados utilizados para o treinamento e o funcionamento dos sistemas de detecção de falhas podem conter informações confidenciais, como o número de identificação dos trens e a localização das falhas.

É importante garantir que esses dados sejam protegidos adequadamente para evitar o acesso não autorizado ou o uso indevido.

Apesar dos desafios, a utilização de redes neurais artificiais na detecção de falhas em sistemas ferroviários de via permanente tem um grande potencial para melhorar a manutenção ferroviária e garantir a segurança dos passageiros e funcionários. A pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias para superar os desafios associados

à implementação dessas tecnologias são essenciais para garantir que as redes neurais artificiais atinjam seu pleno potencial na manutenção ferroviária.

REFERÊNCIAS

- ABRAMAN. **Manutenção Assistida por IA**: como o uso de inteligência artificial redefine processos na manutenção industrial. Como o uso de Inteligência Artificial redefine processos na Manutenção industrial. 2023. Disponível em: <https://abramanoficial.org.br/news/manutencaoporia>. Acesso em: 28 nov. 2023.
- ALMEIDA, C. M. A., FERNANDES, R. A., & OLIVEIRA, J. A. M. **Os desafios éticos da inteligência artificial na manutenção ferroviária**. (2021). Proceedings of the 10th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis, 101-108.
- AL-MOTAWA, M. A., AL-OMARI, A. A., & AL-KHATEEB, A. A. **Artificial intelligence in railway maintenance**: A review of ethical considerations. (2022). Journal of Transportation Security, 15(4), 317-333.
- ARUP. **Monitoring of railway track conditions using continuous and adaptive methods**. [S.l.]: Arup, 2018. 100 p
- ASSIS, A. C. V. *et al.* **Ferrovias de carga brasileiras**: uma análise setorial. BNDES setorial: Logística, [S.l.], v. 46, n. 1, p. 79-126, set. 2017.
- CALCAGNO, L.; FERNANDES, A.; SOUZA, R. **Um país fora dos trilhos: as consequências do abandono das ferrovias brasileiras**. 2021. Disponível em: <<https://www.correiobraziliense.com.br/brasil/2021/08/4942434-um-pais-fora-dos-trilhos-as-consequencias-do-abandono-das-ferrovias-brasileiras.html>>. Acesso em: 19 out. 2023.
- CONSTÂNCIO, T. **Tecnologia para novos tempos**. 2021. Disponível em: <https://revistaferroviaria.com.br/2021/07/tecnologia-para-novos-tempos/>. Acesso em: 20 out. 2023.
- DIAS, E. R.; SERRA, M. C.; LIMA, E. V. **Desperdícios na manutenção ferroviária**: perdas por esperas no terminal ferroviário de ponta da madeira em São Luís, Maranhão. Revista Produção Online, [S. l.], v. 21, n. 3, p. 654–679, 2021. DOI: 10.14488/1676-1901.v21i3.4062. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/4062>. Acesso em: 26 nov. 2023.
- FERNANDES, R. A., RODRIGUES, J. C., & OLIVEIRA, J. A. M. **Considerações éticas para o uso de inteligência artificial na manutenção ferroviária**. (2023). Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 123, 103176.
- FERREIRA, Marcus; DUTRA, Emerson; SILVA, Rodrigo. **Continuous and adaptive monitoring systems for railway tracks**: a review. Journal Of Intelligent Transportation Systems, [S.l.], v. 21, n. 2, p. 233-243, 20 fev. 2017.
- FICHER, R. **Um novo Mindset para manutenção ferroviária**. 2023. 1f. Diretor, Supervia, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://diariodorio.com/roberto-fischer-um-novo-mindset-para-a-manutencao-ferroviaria/>. Acesso em: 28 set. 2023.
- GAMA, A. L. F. **O uso de machine learning na implementação de manutenção preditiva em usinas termelétricas**. 2017. 78 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

- GRANDO, Nei. **Novidades em Inteligência Artificial, segundo o Gartner**. 2022. Disponível em: <https://neigrando.com/tag/tecnologia-2/page/2/>. Acesso em: 28 nov. 2023.
- GUPTA, S. K., GUPTA, P. K., & GUPTA, A. K. **The impact of artificial intelligence on railway maintenance**. (2023). Proceedings of the 10th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis, 101-108.
- INFRA, Agência. **Transporte ferroviário cresce impulsionado por aumento nos preços das commodities**. Disponível em: <https://transportes.fgv.br/noticias/transporte-ferroviario-cresce-impulsionado-por-aumento-nos-precos-das-commodities>. Acesso em: 19 out. 2023.
- INTERMODAL, Digital. **A importância da manutenção ferroviária para o setor**. 2022. Disponível em: <https://digital.intermodal.com.br/nt-expo/importancia-da-manutencao-ferroviaria-para-o-setor>. Acesso em: 10 out. 2023.
- LACERDA, R. M. **Análise de dados de manutenção usando aprendizado máquina: estudo de caso em uma peneira vibratória de segmento de mineração**. 2021. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2021.
- Learning e R. 2016. São Paulo, B2U Editora.
- LIMA, J. B.; LOPES, L. A. S.; ARAGÃO FILHO, L. A. C. M. **Contribuição a manutenção da via permanente com acelerômetros em pacotes inerciais portáteis**. Research, Society And Development, [S.L.], v. 10, n. 6, p. 1-15, 20 maio 2021.
- LIMBERGER, I. F. **Estudo da propagação de trincas transversais por fadiga em trilhos ferroviários**. 2000. 144 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- MAPA ferroviário. 2023. Disponível em: <https://www.antf.org.br/mapa-ferroviario/>. Acesso em: 28 jul. 2023.
- NOGARE, D., ZAVASCHI, T. **Análise Preditiva com Azure Machine**.
- NUNES, G. S. **Inteligência artificial aplicada aos processos de manutenção de via permanente ferroviária**. ANPET: 33º congresso de pesquisa e ensino em transporte, Balneário Camboriú, SC. v. 33, p. 1030-1041, nov. 2019.
- OLESKOVICZ, M.; COURRY, D. V.; AGGARWAL, R. K. **O emprego de redes neurais artificiais na detecção, classificação e localização de faltas em linhas de transmissão**. Revista Controle & Automação, São Carlos, SP, v. 14, n. 2, p. 138-150, jun. 2003.
- ORSONI, Flavia; COSTA, André; SOARES, Ana. **Application of artificial intelligence in railway maintenance: a review**. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, [S.I.], v. 127, n. 1, p. 30-48, 15 abr. 2021
- ROCHA, André; CORDEIRO, Fábio; FERREIRA, João. **Deteção de falhas em trilhos de trem por meio de redes neurais convolucionais**. Revista Brasileira de Engenharia Mecânica, [S.I.], v. 35, n. 2, p. 1-10, 15 maio 2023.
- SGARBOSSA, Fabio. **Machine Learning in Predictive Maintenance of Railway Infrastructures: implementations and challenges**. [S.I.]: NTNU, 2022. Disponível em: <https://hdl.handle.net/11250/3032982>. Acesso em: 28 nov. 2023.

SMITH, John; ZHAO, Zheng. **A comparison of artificial neural networks and traditional methods for railway track fault detection**. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, [S.l.], v. 126, n. 1, p. 1-20, 30 jun. 2020.

WASAKI, Kiyoshi. **The future of rail: the role of innovation**. Railway Gazette International, [S. l], v. 198, n. 11, p. 10-12, 1 nov. 2022.

ZHANG, Fei; LIU, Yong; LI, Yongfeng; ZHU, Qingfeng; ZHOU, Yinghua. **A Novel Method for Identifying Essential Genes by Fusing Dynamic Protein Protein Interactive Networks**. Genes, [S.l.], v. 10, n. 1, p. 138-149, 20 jan. 2019.

Segurança da informação: uma análise crítica acerca dos fatos de vulnerabilidade constante da geração atual

Information security: a critical analysis of the facts of constant vulnerability of the current generation

Luendison Costa dos Santos Alves
Paulino Wagner Palheta Viana

RESUMO

Ao longo dos anos, a civilização criou ferramentas evolutivas benéficas à qualidade de vida, buscando sempre a praticidade. Nesse interesse, a Internet surgiu e mudou a vida de todos ao longo dos anos. O ciberespaço trouxe muitos benefícios, mas também traz riscos, incluindo comportamento inadequado. Acesso a dados e informações pessoais/sensíveis, ataques bancários e *cyberbullying*. Este estudo bibliográfico e crítico tem como objetivo discutir os fatos literários que levam as pessoas na era da informação a ignorar o ciberespaço porque a informação não está segura em ambientes virtuais. O tema é motivado pela crescente vulnerabilidade a que as pessoas se expõem ao acessar a Internet e pelo desinteresse pela prevenção. Ao decorrer do texto pode-se aprender quais são os principais fatores que levam as pessoas à vulnerabilidade virtual: dinheiro e diversão, e quais alternativas são essenciais para aumentar a consciência da sociedade sobre os perigos cibernéticos.

Palavras-chave: vulnerabilidade. ciberespaço. virtuais.

ABSTRACT

Over the years, civilization has created evolutionary tools that are beneficial to the quality of life, always seeking practicality. In this interest, the Internet has emerged and changed everyone's lives over the years. Cyberspace has brought many benefits, but it also comes with risks, including inappropriate behavior. Access to personal/sensitive data and information,

Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos - Vol. 9

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.29



banking attacks, and *cyberbullying*. This bibliographic and critical article aims to discuss the literary facts that lead people in the information age to ignore cyberspace because information is not secure in virtual environments. The theme is motivated by the growing vulnerability to which people are exposed when accessing the Internet and by the lack of interest in prevention. Throughout the text we were able to learn what are the main factors that lead people to virtual vulnerability: money and fun, and which alternatives are essential to increase society's awareness of cyber dangers.

Keywords: vulnerability.cyberspace. virtual.

INTRODUÇÃO

O Desenvolvimento tecnológico faz parte da natureza humana desde os tempos pré-históricos até o presente momento, com o seu apogeu durante a Segunda Guerra Mundial com o objetivo de criar redes que perpetuaram no surgimento da Internet, que inegavelmente se tornou parte da natureza humana. Cada vez mais popular e comum em locais como conferências, aeroportos, cafés e hotéis.

A utilidade e a mobilidade que as redes oferecem em ambientes empresariais e domésticos, são consideráveis. Com toda essa novidade e comodidade certamente surgiram preocupações de segurança com a adoção de uma nova tecnologia. A falta de cuidados na adoção é ainda mais comum entre usuários domésticos, até porque a nova tecnologia é extremamente fácil de usar.

As redes sem fio podem trazer muitas vantagens, mas em alguns casos seu uso é até inevitável e as torna vulneráveis. Fraudes bancárias, dados pessoais, violações da privacidade digital, gangues criminosas, plataformas destinadas à venda de conteúdos pornográficos e adjacentes são alguns dos infelizes impactos negativos que a Internet tem tido na sociedade.

Dentro dessa vertente, faz-se necessário pautar sobre a segurança da informação, uma temática que abrange um setor importante na permanência da funcionalidade da internet e suas interligações perante a comunidade global.

De acordo com Rufino (2015), "a segurança da informação é um conjunto de medidas que envolve, entre outros fatores, procedimentos técnicos". Na prática, este conjunto de proteções é imperceptível porque a interpretação das políticas de proteção da informação recebe pouca atenção, ou seja, os benefícios da segurabilidade pertencem apenas aos profissionais da informação nas grandes empresas. No entanto, está claro que a adoção impulsiva sem conhecimento da tecnologia do caos é, em última análise, a que mais sofre porque não compreendem os perigos de expor informações em plataformas maliciosas e desconhecidas.

Portanto, o presente trabalho visa conhecer, compreender e debater a cerca da vulnerabilidade que as pessoas constantemente se submetem para a sua insegurança quando navegam em plataformas digitais e quais os motivos que levam a esse descuido.

Inicialmente, este estudo apresentará uma panorâmica do contexto histórico relacionado à segurança da informação e à política de privacidade, discutirá pontos relacionados com a temática como: usuários, tipos de invasões, fatores que contribuem para a vulnerabilidade do usuário; riscos e ameaças, problemas de segurança física e além da salvaguarda dos dados pessoais. Essa obra recebe como embasamento teórico literário e de autores de artigos científicos como Sogratto(2023), Weidmanw (2016), Rufino (2015) ; Ferreira (2017) e outros críticos que culminaram para abordar o conhecimento acerca da rede sem fio e a segurança da informação na atualidade, com o propósito na prevenção dos usuários.

Portanto, embora a informação seja transmitida em ambientes falados ou comuns, há necessidade de alterar o sistema de política de segurança da informação não só para o setor empresarial, mas também para os utilizadores domésticos. Há uma preocupação com a privacidade na atualidade, portanto é preciso buscar alternativas para que a tutela do usuário das redes de tráfego, quanto a proteção de dados pessoais, e especialo controle de fluxo informacional, sua autodeterminação informativa, seja realmente efetiva.

SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO

Para que possamos entender e compreender o espaço da tecnologia que envolve a informação, precisamos conhecer um pouco a sua origem e trajetória. Os estudos científicos afirmam que a criptografia está associada aos hebreus, que escreveram o livro de Jeremias em 600 a.C. usando a cifra de César, uma cifra de substituição simples.

Passariam-se mais 800 anos até que a criptoanálise surgisse e os estudiosos comesçassem a tentar decifrar a criptografia hebraica e “traduzir” esta parte da Bíblia para o nosso entendimento.

Embora o nível de desifragem fosse básico comparados aos de hoje, a criptografia ganhou reconhecimento maior no período da Segunda Guerra Mundial, com o objetivo:

“Na proteção de correspondências e na troca de dados secretos entre nações em guerra, durante a Primeira e a Segunda Guerra Mundial, a criptografia provou ser um componente crítico.” (SECURITY, 2023).Nessa mesma linha do tempo surgiram duas grandes máquinas de criptografia e descriptografia:

Alemã Enigma, patenteada por Arthur Scherbius, e a britânica Alan Turing Turing Machine, desenvolvida por Alan Turing. Este último foi criado pelo “Pai da Tecnologia da Informação” para decifrar mensagens alemãs e obter vantagem em conflitos. (SECURITY, 2023)

Entre 1950 e 1960, os Estados Unidos e a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas mantiveram a sua famosa Guerra Fria, alertando seus funcionários sobre a importância de mensagens cuidadosas.

Afinal de contas, os espões eram comuns durante este período, e era necessário educar os funcionários sobre as práticas que hoje conhecemos como “conversas de elevador”, “seguir” e “políticas de mesa limpa”.

No período seguinte, com a invenção dos microprocessadores e computadores,

surgiu a capacidade de armazenar, processar e transmitir informações por meios digitais, resultando no nascimento da segurança cibernética.

O controle do acesso físico era importante para impedir o acesso as máquinas, enquanto o controle do acesso lógico era importante para monitorizar quem tinha acesso aos recursos. Os vírus de computador apareceram na década de 1980, originalmente destinado a “trollar” empresas e usuários finais, ele evoluiu rapidamente para servir a propósitos nefastos. Logo surgiram outros recursos de proteção, como soluções antivírus e *firewalls*.

Desde então, informações e dados tornaram-se mais importantes do que nunca. É, portanto, claro que a tecnologia concebida para os proteger está a avançar a um ritmo igualmente impressionante. O mais interessante a se notar sobre toda essa história é que se há algo que não mudou ao longo dos anos é que incentivamos a educação e a conscientização para que os usuários possam fazer a sua parte na proteção de informações confidenciais e dados sensíveis.

No fim, Fontes (2017), afirma que “proteger a informação é responsabilidade de cada pessoa independente seu nível hierárquico”. Fontes não só disse uma verdade, como hoje o mundo global dinamizou -se e a informação é recurso de exercício de poder, saber, portanto, é sinónimo de poder. A revolução informacional trouxe, também, novas relações que alavancou os processos de globalização.

No intelecto de Sorgatto, (2023): “a abundância de informações passível de ser obtidas sobre o consumidor por meio da captação de dados pessoais pode caracterizar uma nova vulnerabilidade em relação áqueles que detem a informação pessoal.”

POLÍTICA DE SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO (PSI)

Para Goel e Chengalur-Smith (2010), PSI (política de Segurança da Informação), é um arquivo com diretrizes e normas onde uma organização visa proteger seus ativos de informação contra ameaças, adicionar implementações seguras e orientação para o comportamento dos funcionários. No conhecimento literario, estudiosos buscaram o interesse no estudar a cerca dos fatores que interfere no comportamento de conformidade do usuário final e na quebra das políticas de segurança. (CHENG *et al.*, 2013).

As Políticas de Segurança da Informação no entendimento de Galeale, Fontes e Galeale (2017) identificaram que as PSIs nas organizações brasileiras possui o escopo para os diferentes tipos de usuários: funcionários, estagiários, fornecedores e prestadores de serviço, abrangendo a responsabilidade para com a informação da organização, que envolve tanto pessoas internas como externas.

A política de SI (Seguranda da Infromação), tem papel preventivo e é fundamental em qualquer empresa, não passando apenas pela área de TI (Tecnologia da Informação), mas devendo abranger toda a estrutura da empresa.

Para Fontes (2000, p.72) “uma segurança da informação efetiva exige o envolvimento dos executivos da organização para participar da avaliação das novas ameaças e da

definição de prioridades”. Esta participação conjunta é importante, pois oferece uma visão mais ampla de quais os riscos e as possíveis soluções a serem tomadas pelo total. Estabelecendo padrões e propor soluções imediatas para momentos de crise, possuir uma política de SI também tem outras funções.

USUÁRIOS

O conceito de informação tem sido discutido e proposto sob diversos aspectos por diferentes autores dependendo do contexto em que ocorre a interpretação. Escusado será dizer que cada aspecto complementa o outro. Para citar apenas alguns exemplos, Shannon (1948) via-a como um elemento mensurável dependente do seu alcance de emissor e receptor, enquanto Henessy e Babcock (1998) viam a informação como um indicador de variabilidade controlada.

Em geral o fenômeno da informação e da comunicação, quer implícito, como em Braga (1995), quer explícito, como em Saracevic (1996), caso em que o último. Os autores destacam aspectos de A informação, anteriormente reconhecida pelo seu papel na redução da incerteza, é agora cada vez mais vista como um recurso transformador para os indivíduos e a sociedade. E dentro dessa abordagem os usuários são as vulnerabilidade do sistema da informação em qualquer esfera computacional.

O usuário de um sistema de informação é o indivíduo diante do qual se concretiza o fenômeno do conhecimento provido por aquele sistema. Por via de conhecimento social, é de cunho próprio, relatar alguns tipos de usuários:

- Usuários empresarial: são funcionários de empresas que precisam estarem sempre conectados a rede de navegação. Nessa classe, as empresas dispõem do Sistema de Gestão (SGI).
- Usuário social: qualquer pessoa de razão social.

Uma das definições de ameaça é “um evento ou atitude adversa (roubo, incêndio, vírus, etc.) que pode remover, inutilizar, danificar ou destruir um recurso” (DIAS, 2000, p. 55). Descreve um item de recurso como “um componente de um sistema computacional que pode ser um recurso físico, *software*, *hardware* ou informação” (DIAS, 2000, p. 55).

Note-se que não falamos de recursos humanos – a esta altura, os leitores deste estudo já devem ter percebido a importância fundamental desta componente em todos os assuntos relacionados com a segurança da informação.

Portanto, este lado acredita que uma pessoa pode causar algum dano ao sistema, mas não percebe que também pode ser vítima de algum tipo de comportamento, seja intencional ou não, que pode levar a perdas significativas de informações para ela ou para a organização.

Com o surgimento das redes remotas (principalmente a *Internet*), surgiu um complicador desta situação: o anonimato ou mesmo a capacidade de despersonalizar (falta de características que permitam a identificação do autor) as operações realizadas na rede.

Em teoria, os usuários podem se passar por quase qualquer outra pessoa, independentemente de raça, gênero ou grupo social, desde que estejam dispostos a fazê-lo e tenham acesso aos recursos computacionais necessários para a tarefa, que muitas vezes são limitados.

Esta situação é tão grave que em muitos casos levou à imposição de mecanismos de identidade eletrônica, como a autenticação digital, em busca de padrões. Da experiência de Braga (1995), Saracevic (1996).

Estas doze categorias são as seguintes, já dispostas em ordem decrescente de severidade percebida, conforme respostas obtidas pelo *survey* (*pesquisa*) online realizado com organizações de diferentes portes e áreas de atuação (o autor não cita o número de instituições envolvidas na pesquisa):

1. Eventos deliberados cometidos com o uso de *software* (vírus, vermes, macros, negações de serviço);
2. Erros ou falhas técnicas de *software* (falhas de codificação, *bugs*);
3. Falhas ou erros humanos (acidentes, enganos dos empregados);
4. Atos deliberados de espionagem ou invasão, *hacking*;
5. Atos deliberados de sabotagem ou vandalismo (destruição de sistemas ou informação);
6. Erros ou falhas técnicas de hardware (falhas de equipamentos);
7. Atos deliberados de furto (de equipamentos ou de informação);
8. Forças da natureza (terremotos, enchentes, relâmpagos, incêndios não intencionais);
9. Comprometimento à propriedade intelectual (pirataria, infração a direitos autorais);
10. Variação da qualidade de serviço (*Quality of Service - QoS*) por provedores (como energia elétrica e serviços de redes remotas de telecomunicação);
11. Obsolescência técnica;
12. Atos deliberados de extorsão de informação (chantagem ou revelação indevida de informação).

VULNERABILIDADES

O número de vulnerabilidades, ou potenciais falhas de mecanismos computacionais (implementados em *software* ou em *hardware*), as quais, uma vez exploradas, ou em virtude de fatores não tecnológicos, como humanos, dão ensejo à ocorrência dos incidentes.

Estes, por sua vez, apresentam-se em número crescimento muito superiores às vulnerabilidades, mesmo porque a reiterada exploração de uma mesma vulnerabilidade

pode ocasionar múltiplos incidentes.

Norman (2020, p.14) afirma que a “vulnerabilidade estar relacionada falhas na segurança de um computador, dispositivo, componente de *software* ou rede. Estas falhas são conhecidas como vulnerabilidades”. O objetivo do hacker é descobrir as vulnerabilidades em um sistema que lhes darão o acesso ou controle mais fácil que atenda a seus propósitos.

Uma vez que as vulnerabilidades são entendidas, a exploração dessas vulnerabilidades pode começar, por meio da qual o *hacker* tira proveito das falhas do sistema para obter acesso. Acerca das vulnerabilidades o autor Alan T. Norman (2020):

Vulnerabilidades Humanas

Uma vulnerabilidade raramente discutida é a do usuário humano. A maioria dos usuários de computadores e sistemas de informação não são especialistas em informática ou profissionais de segurança cibernética. A maioria dos usuários sabe muito pouco sobre o que acontece entre seus pontos de interface e os dados ou serviços que estão cessando.

É difícil fazer com que as pessoas, em larga escala, mudem seus hábitos e usem as práticas recomendadas para definir senhas, verificar cuidadosamente os emails, evitar sites maliciosos e manter o *software* atualizado.

Empresas e agências governamentais gastam muito tempo e recursos treinando funcionários para seguir os procedimentos adequados de segurança da informação, mas é necessário apenas uma falha que a invasão ocorre.

Vulnerabilidades de *software*

Todos os computadores confiam no *software* (ou “*firmware*”, em alguns dispositivos) para converter comandos de entrada ou usuário em ação. O *software* gerencia *logins* de usuários, realiza consultas a bancos de dados, executa envios de formulários de sites, controla *hardware* e periféricos e gerencia outros aspectos da funcionalidade do computador e da rede que podem ser explorados por um *hacker*.

Além do fato de que os programadores cometem erros e omissões, é impossível para os desenvolvedores de *software* antecipar todas as vulnerabilidades possíveis em seu código. O máximo que os desenvolvedores podem esperar é corrigir e alterar seus *softwares* quando vulnerabilidades são descobertas. É por isso que é tão importante manter os mesmos atualizados.

MÉTODO E DISCUSSÃO

Para cumprir essa tarefa, a primeira etapa exige o acúmulo de referências de autores sobre o tema, que podem ser encontradas em livros, artigos de periódicos e notícias científicas. Os artigos científicos que defendem o tema foram lidos e investigados, no processo de coleta de conteúdo foi necessário promovê-lo por meio de autores críticos. Todo o material estar disponível nas plataformas de acesso a informação como: SCIELO, Google Academico e E-book.

Neste tópico é importante relatar o bom senso da humanidade em conscientizar e prevenir informações sobre o fato de que o espaço virtual ainda é uma terra sem lei, pois é necessário mais conhecimento para entender o que os usuários podem aprender e realizar na prática significa e precauções.

Um ponto muito importante a questionar sobre a segurança da informação é a sua invisibilidade e insegurança, ou seja, ela não pode ser vista em meio a alertas grandes ou perigosos. As vulnerabilidades parecem ter se tornado tão comuns que só realmente importam quando há um grande ataque nos setores governamentais ou comerciais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vulnerabilidades em sistemas de computação e redes sempre existiram e sempre existirão. Nenhum sistema pode ser 100% à prova de balas, pois sempre haverá alguém que precisa acessar informações ou serviços protegidos. Além disso, a própria existência de utilizadores humanos representa uma vulnerabilidade, uma vez que as pessoas são notoriamente más a praticar boa segurança.

À medida que as vulnerabilidades são descobertas e corrigidas, novas vulnerabilidades as substituem quase imediatamente. A alternância entre a exploração de hackers e a implementação de medidas de segurança representa uma verdadeira corrida armamentista, com ambos os lados se tornando mais sofisticados ao mesmo tempo.

Cada avanço tecnológico na história da humanidade, os benefícios que os humanos obtiveram através da informatização e digitalização do mundo, tiveram um custo. Quanto mais informações pudermos armazenar e transmitir, mais suscetível ela será ao roubo ou à destruição. Quanto mais informações pudermos armazenar e transmitir, mais suscetível ela será ao roubo ou à destruição.

Quanto mais as nossas vidas dependem da tecnologia e da comunicação rápida e instantânea, maiores serão as consequências da perda destes recursos. E somos nós o maior responsável pela “vulnerabilidade”, quando permitimos ligar, enviar ou acessar algo sem conhecimento no espaço digital, precisamos mudar esse cenário, junto com políticas públicas a cerca do perigo que é o acesso descuidado da internet, pois essa geração é a mais informada e a menos informada, é uma contra lógica, mas é a pura realidade atual.

Acreditamos que precisamos explicar as medidas, como prevenir e manter a proteção, não apenas nos desastres cibernético, mas em todas as oportunidades. É claro que isto exige que o sector das políticas públicas tome medidas para abordar estas causas.

REFERÊNCIAS

BRAGA, G.M.(1995) **Informação, Ciência da Informação**: breves reflexões em tres tempos. Ciencia da Informação. V.22,n 1, p.269-280.

DIAS, C. (2000) **Segurança e auditoria da tecnologia da informação**. Rio de Janeiro: Axcel Books.

FERREIRA, D.L.G: **Security Information Systems**: Sociotechnical. Artigo apresentado no Internation Joint Conferences on Computer.2017.

FONTES, Edison Luiz Goncalvez: **Segurança da Informação, o usuário faz a diferença**. Editora: Saraiva- São Paulo, 4 ed, 2017. P. DIAS, 2000, p. 55).

FONTES, Edison. **Políticas e Normas para a Segurança da Informação**. Rio de Janeiro: Brasport, 2012.

GALEALE, N.; FONTES, E.; GALEALE, B. **Uma contribuição para a segurança da informação**: um estudo de casos múltiplos com organizações brasileiras¹. *Perspectivas em Ciência da Informação*, v. 22, p. 75-97, 2017.

HENESSY, D. A.; BABCOCK, B. A. **Information, flexibility and value added**. *Information Economics and Policy*, v. 10, n. 4, p. 431–449, Dec. 1998.

NORMAN, Alan T. : **Guia Para Iniciantes Em Hacking De Computadores**. Editora: Litre, 2020.

RUFINO, Nelson Murilo de Oliveira. **Segurança Nacional**. São Paulo: Novatec Editora, 2002.

SACCONI, L.A. (1999) **Nossa gramática**: teoria e prática. São Paulo: Atual.

SARACEVIC, T. (1996) **“Ciência da Informação: origem, evolução e relações”**. *Perspectivas em Ciência da Informação*. Belo horizonte, 1996.

SILVEIRA, Jonas Rafael. **Relação entre Culturas e Segurança da Informação**: como evitar falhas decorrentes do “ jeitinho brasileiro”, revista: READ- Porto Alegre-vol.28- p.1-28, Janeiro,2023. Disponível em:<http://dx.doi.org/10.1590/1413-2311.376.119225>.

SHANNON, Claude E.; **A Mathematical Theory of Communication**, 1948. Disponível em: . Acesso em: 15 de novembro de 2023.

SORGATTO, Mateus Matonvani. **Lei Geral de Proteção de Dados e Suas Intersecções com O Direito do Consumidor**: Fundamentalidade e fragmentação do direito dos usuários de redes sociais. Editora: Fórum. 2023.

WEIDMAN, G. **Testes de Invasão**: uma introdução prática ao hacking. São Paulo, Novatec Editora Ltda, 2014, ISBN.

Capítulo 30

Curvas de resistências hídricas de plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) em dia típico de seca no centro-oeste brasileiro

Fernanda Marcielli Santos

Doutores pelo Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso; Cuiabá, Mato Grosso

Luis Philippe de Arruda Lima

Doutores pelo Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso; Cuiabá, Mato Grosso

RESUMO

O estudo apresenta o estudo do fluxo hídrico Solo-Planta-Atmosfera (SPA) por meio da analogia com a Lei de Ohm. Foram obtidas as curvas de resistências hídricas das plantas do feijão (*Phaseolus vulgaris*) em função da variação do potencial hídrico do ar, em um dia típico de seca no município de Cuiabá-MT. A modelagem do fenômeno foi feita no software STELLA, com a utilização de dados horários de umidade relativa do ar e de temperatura do ar, pertencentes ao INMET, e dados experimentais de fluxo hídrico em plantas de feijão submetidas às diferentes quantidades de água no solo, pertencentes à literatura. As curvas apresentaram comportamentos semelhantes, diferenciando-se apenas nas amplitudes, encontrando diferenças entre os tratamentos com menores e maiores quantidades de água no solo. O potencial hídrico da atmosfera mostrou-se um fator influenciador do comportamento da resistência hídrica da planta, em especial na região de Cuiabá-MT, onde a umidade relativa do ar na estação seca atinge valores extremos. Essa variável deve ser levada em consideração no plantio desta cultura considerando seu interesse econômico na agricultura do país.

Palavras-chave: resistência hídrica. potencial hídrico da atmosfera. modelagem.

INTRODUÇÃO

A dinâmica do fluxo hídrico entre solo e planta se inicia, quando existe disponibilidade hídrica no solo, a partir da sucção da água pelas raízes das plantas. Logo após, a água é transportada pelos tecidos xilemáticos, sendo o caule a maior porção dessa rota (TAIZ *et al.*, 2017), até chegar aos estômatos das folhas (onde ocorre a perda de água para a atmosfera). No entanto, para que exista esse movimento é necessário que haja diferenças não nulas dos potenciais hídricos entre solo e atmosfera.



Assim, o fluxo hídrico no contínuo Solo-Planta-Atmosfera (SPA) pode ser analisado de forma simplificada pela Lei de Ohm análoga, na qual a razão entre a diferença de potencial hídrico entre dois pontos e o fluxo hídrico é tratada como sendo a resistência do condutor hídrico (Zhuang; Nakayama, 2014), sem a consideração de armazenamento.

Apesar da grande importância desse tema, trabalhos que tratam especificamente das resistências de plantas típicas ou de plantas que apresentam importância no cenário socioeconômico brasileiro não são comuns na literatura, o que eleva a importância deste estudo. Nessa vertente, destacam-se trabalhos que se utilizam da modelagem *in silico*¹ para realização de simulações fidedignas à realidade da planta, como, por exemplo, os análogos hídrico-elétricos desenvolvidos por meio de *software* de simulador de circuitos (GAIO, 2011; PEREIRA, 2016). Assim, diante desse contexto, este trabalho teve como objetivo a obtenção de curvas de resistências hídricas de plantas de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*), calculadas em função da variação do potencial hídrico da atmosfera (ar) em dia de seca no município de Cuiabá-MT, com a utilização de modelagem *in silico* em ambiente STELLA.

METODOLOGIA

Dados de fluxo hídrico em plantas de feijão

Os dados experimentais de fluxo hídrico em plantas de feijão utilizados neste trabalho foram obtidos em Lima (2017). Nesse trabalho, um arranjo experimental com 198 lisímetros de pesagem foi construído para obter informações sobre fluxo e armazenamento hídrico em caules de plantas de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) submetidas a 15 diferentes quantidades de água no solo, em Cuiabá-MT. Após 45 dias de cultivo, no dia 10 de agosto de 2017 (estação seca), das 6 às 16 horas, as transpirações das plantas foram mensuradas para obtenção do fluxo hídrico. Os dados referem-se às médias de cada tratamento. Neste trabalho, utilizou-se os dados de fluxo hídrico das plantas² do tratamento 1 ao tratamento 10, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Fluxos hídricos em plantas de feijão comum, no dia 10 de agosto de 2017, das 6 às 16 horas, no município de Cuiabá-MT.

Tratamento	Fluxo exp. (m ³ s ⁻¹)
1	2,2x10 ⁻¹⁰
2	4,2x10 ⁻¹⁰
3	4,4x10 ⁻¹⁰
4	3,8x10 ⁻¹⁰
5	6,3x10 ⁻¹⁰
6	8,9x10 ⁻¹⁰
7	9,9x10 ⁻¹⁰
8	1,5x10 ⁻⁰⁹
9	1,1x10 ⁻⁰⁹
10	1,7x10 ⁻⁰⁹

Fonte: Lima (2017)

¹ Originalmente, considera-se modelagem *in silico* como sendo a modelagem de processos naturais ou de laboratório por meio de simulações computacionais.

² As informações presentes no trabalho de Lima (2017) referem-se ao estágio de desenvolvimento V4 das plantas de feijão, que é quando a planta apresenta 3 ou mais trifólios, sendo a fase antecessora à fase de maturação.

LEI DE OHM ANÁLOGA

Utilizou-se a Lei de Ohm análoga (VAN DEN HONERT, 1948) para o cálculo da resistência das plantas, através da equação 1, a seguir:

$$R_p = \frac{\Delta\psi}{f_p}$$

Onde f_p é o fluxo hídrico volumétrico na planta ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), de cada tratamento, referente ao trabalho de Lima (2017); $\Delta\psi$ é a diferença de potencial hídrico entre xilema da raiz e atmosfera (ar) em MPa e, por fim, R_p é a resistência da planta ($\text{MPa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$). Os valores de potencial hídrico do xilema da raiz e da atmosfera foram utilizados conforme valores e equação proposta por Nobel (2009). Para o xilema da raiz, utilizou-se um valor de potencial hídrico constante igual a -1,2 MPa.

Para a atmosfera, obteve-se valores de potencial hídrico das 6 às 16 horas, para o dia 10 de agosto de 2017, utilizando-se a equação 2, a seguir:

$$\psi = \frac{R \cdot T}{V} \ln\left(\frac{UR}{100}\right)$$

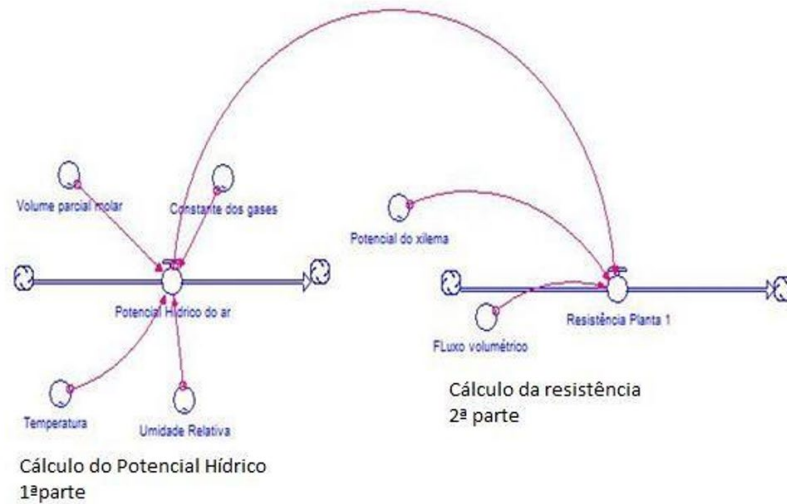
Onde R é a constante universal dos gases cujo valor utilizado foi de $8,31 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ MPa mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (NOBEL, 2009); V é o volume parcial molar da água cujo valor utilizado foi de $1,807 \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$ (NOBEL, 2009); T é a temperatura absoluta do ar em Kelvin e UR é a umidade relativa do ar (%). Dados de T e UR entre 6 e 16 horas do dia 10 de agosto de 2017 foram obtidos na plataforma eletrônica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para correta dimensionalidade das unidades, os dados de temperatura, em °C, foram transformados em Kelvin.

MODELAGEM NO STELLA

O modelo da resistência das plantas, referente ao dia 10 de agosto de 2017, das 6 às 16 horas, é apresentado na Figura 1, através do *software* STELLA (Versão 9.0.2). Os círculos representam o “converter”, que entre as suas funções está a estocagem de valores constantes; e os registros que ligam dois pontos representam o “flow”, que é utilizado para representar a atividade de um fluxo (uni ou bidirecional). As informações referentes às propriedades de cada símbolo estão de acordo com Souza *et al.* (2010).

A modelagem se deu em 2 partes. Na 1ª, lado esquerdo da Figura 1, para o cálculo do potencial hídrico da atmosfera (simbolizado pelo registro que liga dois pontos) utilizou-se 4 “converter” (simbolizado pelos círculos), sendo dois parâmetros para entrada dos valores da constante dos gases e do volume parcial molar da água, e duas variáveis, temperatura e de umidade relativa do ar. Na 2ª parte, lado direito da Figura 1, foram calculados: a variável resistência, utilizando os valores de saída do potencial hídrico da atmosfera, e dois parâmetros, o valor constante de potencial hídrico no xilema da raiz e os valores experimentais dos fluxos hídricos das plantas dos tratamentos 1 ao 10.

Figura 1 - Modelagem no software STELLA.

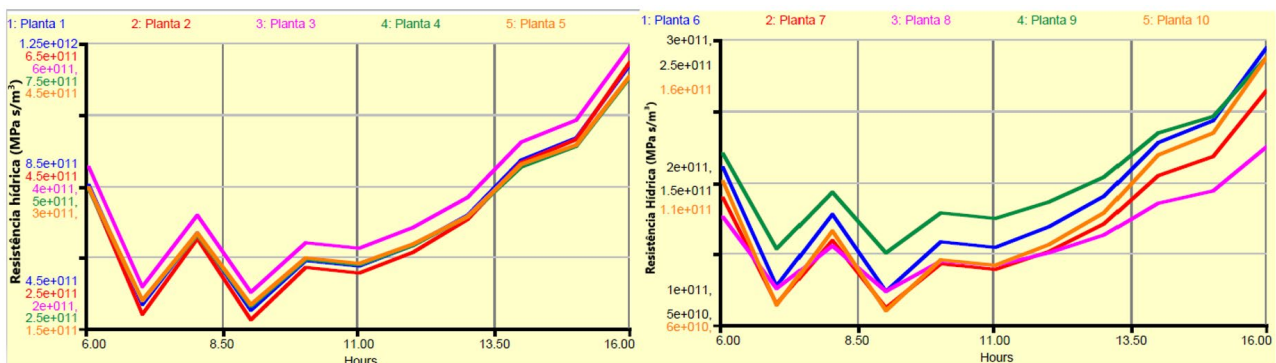


RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em relação ao tempo, as resistências hídricas das plantas de feijão, calculadas em função da variação do potencial hídrico, apresentaram comportamentos semelhantes. Isso pode ser observado nas curvas obtidas para as plantas de todos os tratamentos, havendo diferenças somente nas amplitudes (Figura 2).

Às 9 horas, foram obtidos os menores valores de resistência hídrica e, a partir das 13 horas, os maiores valores. Isto porque, no primeiro horário o potencial hídrico da atmosfera, em módulo, estava baixo devido à umidade relativa estar mais elevada, sendo 50% maior que a média dos horários seguintes. Na segunda faixa de horário, a partir das 13 horas, as resistências alcançaram seus maiores valores do dia. Além do baixo valor de UR e da alta temperatura registrada nessa faixa de horário, com 16% de UR e 36,8°C de temperatura do ar às 16 horas, outro fator de influência na magnitude da resistência foi a quantidade de água no solo. Por isso, as plantas dos tratamentos com menor quantidade de água no solo (tratamento 1 a 5) apresentaram resistência hídrica chegando a doze ordens de grandezas ($\text{MPa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-3}$), representando uma ordem de grandeza maior que das resistências das plantas dos demais tratamentos. Provavelmente, isso deve-se ao fato de que essas plantas apresentaram fechamento estomático como resposta ao déficit hídrico (FIOREZE *et al.*, 2013), o que dificulta a perda de água, em forma de vapor, para a atmosfera.

Figura 2 - Curvas de resistências hídricas das plantas dos tratamentos 1 a 10 em relação ao tempo (horas). Resistências das plantas dos tratamentos 1 a 5, lado esquerdo, e dos tratamentos 6 a 10, lado direito.



Obteve-se coeficientes de correlações de *Spearman* negativos (com um nível de significância de 99%) entre as resistências das plantas e a umidade relativa do ar. Isso mostra a forte influência da demanda evaporativa da atmosfera sobre o comportamento hídrico da planta. Vale ressaltar que a *Lei de Ohm* permitiu uma análise simplificada, devido a consideração da planta ser um único resistor. Trabalhos dessa linha têm sugerido modelos de redes complexas de dispositivos hídricos formados por diferentes tipos de componentes eletrônicos lineares e não lineares, para cada parte do contínuo SPA (GAIO, 2011; SIQUEIRA, 2014; PEREIRA, 2016).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As curvas de resistências hídricas das plantas apresentaram semelhanças entre todos os tratamentos. Diferiram-se apenas, nas amplitudes, chegando a uma ordem de grandeza de diferença entre tratamentos 1 ao 5 e tratamentos 6 ao 10. Para as plantas dos tratamentos com menores quantidades de água, a resistência foi maior, possivelmente devido a uma resposta fisiológica das plantas ao déficit hídrico. As condições meteorológicas na estação seca de Cuiabá, com variação de umidade relativa, chegando, por exemplo, a 16%, faz com que a variação de potencial hídrico da atmosfera seja um fator determinante na atividade hídrica das plantas, sendo assim, uma variável importante no contexto das práticas de cultivares de interesse econômico e nos estudos envolvidos desse tema.

REFERÊNCIAS

FIGUEIREDO, S. L.; RODRIGUES, J. D.; CARNEIRO, J. P. C.; DO AMARAL SILVA, A.; LIMA, M. B. **Fisiologia e produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob déficit hídrico e sombreamento**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 48, n. 11, p. 1432-1439, 2013.

GAIO, D.C. **Análogo elétrico da dinâmica hídrica em plantas vasculares**. Cuiabá. 2011. 104 f. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

LIMA, L.P.A. **Estudo do análogo hídrico-elétrico do fluxo e armazenamento hídrico em caules de angiospermas**. Cuiabá. 2017. 80 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

NOBEL, P.S. **Physicochemical and Environmental Plant Physiology**, 4th edition, San Diego, CA Academic Press/Elsevier 1-582. 2009.

PEREIRA, V.M.R. **Análogo elétrico da dinâmica estomática em função da radiação solar e potencial hídrico atmosférico**. Cuiabá. 2016. 70 f. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

SIQUEIRA, W. L. C. **Modelagem das vias de transporte hídrico da raiz em plantas vasculares - análogo elétrico**. Cuiabá. 2014. 64f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

SOUSA, M.M; BUZIN, E. J. W.K.; TEIXEIRA, L. G. A. **Modelagem e simulação de um plano de resgate de capital de cooperativas de crédito com o uso de system dynamic**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, n.9, 2010.

VAN DEN HONERT, T. H. **Water transport in plants as a catenary process**. Discussions of the Faraday Society, v. 3, p. 146-153, 1948.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre-RS: Artmed, 2017.

ZHUANG, J; YU, G.R; NAKAYAMA, K. **A Series RCL Circuit Theory for Analyzing Non- Steady-State Water Uptake of Maize Plants**. Scientific reports, v. 4, 2014.

Explorando medidas práticas para avaliar a eficiência energética em auditorias e monitoramento de sistemas de ar comprimido em indústrias

Exploring practical measures for assessing energy efficiency in audits and monitoring of compressed air systems in industries

Luiz Carlos Raimundo
Fernando Santos de Oliveira
Rodrigo Seabra da Cruz
Anderson Clayton Cardoso

RESUMO

Os sistemas de ar comprimido são amplamente utilizados na indústria, mas também representam grandes consumidores de energia e emissores de CO₂. Este estudo apresenta um método para melhorar a eficiência energética desses sistemas. Com base em dados de auditorias energéticas, foram desenvolvidas equações para calcular a quantidade de ar que escapa nos sistemas de ar comprimido. Além disso, foram introduzidos dois novos indicadores de desempenho energético: “Economia Específica de Ar Comprimido” e “Economia Específica de Vazamento”. Esses indicadores fornecem ferramentas de comparação que auxiliam os tomadores de decisão na avaliação da eficiência energética e nas decisões de investimento em sistemas de ar comprimido. O método foi demonstrado em uma planta industrial, calculando as economias específicas de ar comprimido e de vazamento da instalação como sendo 0,0067 TOE/tonelada e 0,0035 TOE/tonelada, respectivamente. Esses indicadores oferecem uma abordagem prática para avaliar e melhorar a eficiência energética dos sistemas de ar comprimido em ambientes industriais.

Palavras-chave: eficiência energética. sistemas de ar comprimido. vazamento de ar. emissões de gases de efeito estufa. indústria.



ABSTRACT

Compressed air systems are extensively utilized in the industry, yet they also constitute significant energy consumers and CO₂ emitters. This study introduces a method to enhance the energy efficiency of these systems. Based on energy audit data, equations were developed to calculate the amount of air escaping from compressed air systems. Additionally, two new energy performance indicators were introduced: “Specific Compressed Air Savings” and “Specific Leakage Savings.” These indicators provide comparison tools that assist decision-makers in evaluating energy efficiency and making investment decisions in compressed air systems. The method was demonstrated in an industrial plant, calculating specific savings for compressed air and leakage in the facility as 0.0067 TOE/ton and 0.0035 TOE/ton, respectively. These indicators offer a practical approach to assess and improve the energy efficiency of compressed air systems in industrial environments.

Keywords: energy efficiency. compressed air systems. air leakage. greenhouse gas emissions. industry.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por consumo e o aumento populacional têm desencadeado uma crise climática global, destacando os riscos das emissões de gases de efeito estufa. (Assunção *et al.*, 2022; Artaxo, 2022). A conscientização mundial acerca da necessidade de redução das emissões de gases de efeito estufa está em ascensão, levando muitos países a aderirem a acordos internacionais, como o Protocolo de Quioto e o Acordo de Paris, com o intuito de alcançar metas específicas de redução de emissões na produção, agricultura e transporte.

Uma estratégia eficaz para promover uma produção mais limpa e com menor pegada de carbono é a realização de auditorias de eficiência energética, as quais identificam e mitigam as emissões de carbono por produto. (Oliveira *et al.*, 2022) Os Sistemas de Ar Comprimido (CAS) são fontes de energia seguras e confiáveis, devido ao seu elevado potencial energético e ao consumo localizado. Entretanto, é importante ressaltar que os SCAS podem ser ineficientes, utilizando apenas de 10% a 30% da energia consumida para produzir ar comprimido. (Silva *et al.*, 2022)

Estudos de eficiência energética nos SCAS têm demonstrado a capacidade de reduzir o consumo de energia em uma faixa de 20% a 60%. (Hernandez-Herrera *et al.*, 2020; Sapmaz e Kaya, 2017) Mesmo melhorias modestas têm o potencial de gerar economias substanciais de energia, com períodos de retorno de investimento variando de 2 a 5 anos.

Esses estudos podem ser categorizados como sistemáticos ou operacionais, sendo que a identificação e correção de vazamentos de ar se apresentam como preocupações significativas. (Seslija *et al.*, 2012; Yang, 2009) O monitoramento e a eliminação de vazamentos de ar são essenciais para a promoção da eficiência energética nos SCAS.

Diversas técnicas, como a detecção ultrassônica e a termografia infravermelha, são empregadas para identificar vazamentos de ar em SCAS. (Silva *et al.*, 2022; Saidor,

2010) Além disso, indicadores de desempenho energético, como o Consumo Específico de Energia (SEC), são comuns na avaliação da eficiência dos SCAS. (Corsini *et al.*, 2015)

Este estudo propõe um método simples para determinar vazamentos e eficiência do sistema, permitindo o monitoramento contínuo da eficiência e a redução das perdas de energia, contribuindo para uma produção mais limpa e sustentável.

Uma contribuição importante deste estudo é a introdução dos indicadores “Economia Específica de Ar Comprimido (SCAS)” e “Economia Específica de Vazamento (SLS)” para avaliar e monitorar a eficiência energética e os processos de gerenciamento de energia. Essas ferramentas simplificam o cálculo da economia de energia resultante da prevenção de vazamentos de ar.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo abordou o Sistema de Ar Comprimido (CAS) e a detecção de vazamentos no sistema utilizando um detector ultrassônico durante auditorias de energia (Silva *et al.*, 2022).

Dispositivos ultrassônicos foram preferencialmente utilizados para detectar vazamentos, devido à dificuldade de detecção pelos sentidos humanos devido ao alto nível de ruído nas instalações. No entanto, esses dispositivos fornecem apenas informações em decibéis (dB). Para obter informações significativas, é necessário calcular a taxa de fluxo de vazamento de ar com base nessa medição.

A relação entre a taxa de fluxo e os dados de dB de vazamento de ar depende de vários parâmetros, como pressão operacional, temperatura, condições ambientais, geometria do vazamento e distância entre o dispositivo de medição e o vazamento. Os fabricantes de dispositivos ultrassônicos fornecem valores tabelados de taxa de fluxo de vazamento, medidos em laboratório. Uma equação direta para calcular a taxa de fluxo de vazamento de ar a partir dos dados de dB não está disponível. A Equação (1) pode ser usada para cálculos de taxa de fluxo se o diâmetro do vazamento de ar for conhecido (Kaya *et al.*, 2002):

$$V = \frac{N_L \cdot T_i \cdot \left(\frac{P_L}{P_i}\right) \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_d \cdot \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)}{\sqrt{T_L}}$$

Na Equação (1), N_L denota o número de vazamentos de ar, T_i é a temperatura do ar dentro do compressor, [K], P_L é a pressão operacional no local do furo [kPa], P_i é a pressão atmosférica [kPa], C_1 é a constante de fluxo sônico volumétrico (13,29), C_d é a constante de orifício para seção quadrada (0,8), C_2 é a constante de conversão de tempo 3.600 [s/h], D é o diâmetro do furo [m], T_L é a temperatura média da linha [K].

Esta equação é útil para calcular a taxa de fluxo de vazamento de ar (em litros por segundo, l/s), mas envolve suposições e constantes desconhecidas. Portanto, todos os dados relacionados ao sistema CAS devem ser coletados para usar a Equação (1).

É importante notar que a quantidade de ar comprimido perdida aumenta

exponencialmente com o tamanho do diâmetro do vazamento. No entanto, na maioria das auditorias, não é possível medir diretamente o diâmetro do vazamento, pois geralmente é fracionário, irregular ou inacessível.

Neste estudo, tabelas fornecidas por dispositivos de detecção de vazamento ultrassônico foram usadas para criar equações empíricas com base em diferentes níveis de pressão. Os valores de dB medidos pelos dispositivos de detecção de vazamento ultrassônico foram convertidos em taxa de fluxo de ar (l/s) usando a Equação (2):

$$\dot{m}_{CA} = AS^2 + BS + C$$

Nesta equação, S (dB) é o som medido em dB. A, B e C são constantes de correlação que dependem da pressão operacional e do dispositivo de medição, apresentadas na Tabela 01.

Esta equação empírica fornece uma abordagem única para a conversão de vazamentos de ar de dB para taxa de fluxo (kg/s). Esta equação não requer o diâmetro do vazamento.

Além dessa nova fórmula, a potência necessária para compensar vazamentos de ar no CAS pode ser calculada com a Equação (3), uma vez que a taxa de fluxo do vazamento é obtida (Kaya *et al.*, 2002; Sapmaz and Kaya, 2017).

$$ES_{L,CAS} = \frac{P_i \cdot V \cdot \left[\frac{k}{(k-1)} \right] \cdot N \cdot \left[\left(\frac{P_0}{P_i} \right)^{\frac{(k-1)}{(k \cdot N)}} - 1 \right]}{(E_a \cdot E_m)}$$

Na Equação (3), V representa a taxa de fluxo de vazamento de ar (m³/s), k é a constante de calor específico do ar (1,4), N é o número de estágios do compressor, P₀ é a pressão operacional (kPa), E_a é a eficiência adiabática do compressor (0,88 para compressor alternativo de um estágio, 0,75 para compressor alternativo de múltiplos estágios, 0,82 para compressor de parafuso), E_m é a eficiência do motor do compressor. O valor ES_{L,CAS} significa a quantidade de energia consumida para pressurizar o ar vazado no CAS. Este valor também é a energia economizada, se os vazamentos forem evitados.

As auditorias energéticas foram avaliadas separadamente para cada corporação e setor industrial. Deve-se observar que existem 8 métodos de economia de energia para o CAS listados abaixo como resultado das auditorias de energia, que são:

- S1. Reparar vazamentos de ar
- S2. Substituição por um compressor eficiente
- S3. Redução da pressão do compressor;
- S4. Renovação de equipamentos pneumáticos;
- S5. Aplicação de acionamento de velocidade variável (VSD)
- S6. Recuperação de calor desperdiçado do compressor
- S7. Redução da temperatura do ar de admissão

S8. Automação e controle de compressores

A quantidade de energia economizada como resultado da implementação de um ou mais desses oito métodos pode ser calculada após a auditoria. Portanto, o Consumo Específico de Energia (SEC) também é calculado e destacado como um indicador de desempenho energético importante. O SEC pode ser calculado usando a Equação (4):

$$SEC = \frac{\sum C}{\sum P}$$

Aqui, C é o consumo total de energia em (TOE/ano), P é a quantidade de produto em (kg, tonelada, litro ou peça). Na literatura, a Equação (4) é descrita como a relação entre o consumo total de energia e a produção total. Em outras palavras, o SEC é a quantidade de energia necessária para produzir uma unidade de produto (Assawamartbunlue and Luknongbu, 2020; Benedetti *et al.*, 2018). Um dos objetivos de cada auditoria é reduzir o SEC o mais baixo possível.

Tabela 1 - Constantes de correlação para a conversão de dB em vazão.

Setor/Industria	Número de auditorias	Energia economizada (TOE/ano)	Taxa de economia (%)
Alimentos	1	711	12,2
Madeira	2	863	3,7
Papel	1	522	3,2
Cimento	2	386	31,1
Cerâmica	7	12,71	1,4
Produtos químicos	7	9,969	2,1
Automotivo	6	213	2,1
Ferro e aço	5	550	19,5
Produção	5	365	3,5
Têxtil	4	10,239	18,2
Mineração	4	124	6,9

Além do SEC, este estudo introduz um novo indicador de desempenho energético chamado Economia de Energia Específica (SES). O SES semelhante ao SEC, foi calculado para preencher uma lacuna na literatura, que não tinha uma expressão que descrevesse a economia de energia por unidade de produto em uma instalação de produção. O valor do SES pode ser calculado usando a Equação (5):

$$SES = \frac{\sum E S_A}{\sum P}$$

Aqui, ES_A é a quantidade total de energia economizada (TOE/ano) calculada no final da auditoria, P é a quantidade de produto anualmente (em kg, tonelada, litro ou peça). Um passo adiante, semelhante ao SEC, a Economia Específica de Ar Comprimido (SCAS) também é definida para aumentar a conscientização e tornar os métodos de economia de energia do CAS (S1-S8) comparáveis entre si. SCAS pode ser calculado usando a Eq. (6).

$$SCAS = \frac{\sum E S_{CAS}}{\sum P}$$

Aqui, ES_{CAS} denota a economia total de energia que pode ser alcançada a partir do CAS. ESCAS considera todos os métodos de economia de energia identificados e calculados de S1 a S8 nas instalações auditadas. Pode-se observar que o S1 é o mais

dispendioso entre todos os 8 métodos. Portanto, além da SCAS, este estudo introduz também a Economia Específica de Vazamentos (SLS) como um valor indicador adequado para o comércio de emissões de CO₂ no âmbito do Sistema de Comércio de Emissões proposto pelo Pacto Verde Europeu (Comissão Europeia, 2019). A SLS pode ser calculada usando a Equação (7):

$$SLS = \frac{ES_{L,CAS}}{\sum P}$$

Onde $ES_{L,CAS}$ denota economia de energia evitando vazamentos de energia em (TOE/ano). A SLS considera apenas melhorias nos vazamentos de ar e pode ser expressa separadamente para cada instalação e/ou setor em unidades como TOE/kg, TOE/m², TOE/unidade, TOE/m³.

Por fim, a economia de energia também corresponde à redução das emissões de CO₂. A quantidade de emissão de CO₂ causada pela produção de eletricidade foi definida em 0,452 kgCO₂ e/kWh. Portanto, o consumo elétrico evitado pode ser considerado como emissão de CO₂ evitada. A redução das emissões de CO₂ devido à eliminação dos vazamentos de ar pode ser calculada com a Equação (8).

$$CAS_{CO_2} = SLS_i \cdot 0,452$$

Para todas as medições, as incertezas aleatórias foram calculadas usando a seguinte equação (Unver, 2016).

$$W_Y = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta y}{\delta x_i} w_i \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este estudo concentra-se nas oportunidades de economia de energia em sistemas de ar comprimido (CAS) visando uma produção mais limpa e um futuro sustentável no contexto de projetos de eficiência energética industrial. Foram analisados os resultados das auditorias energéticas em 44 instalações industriais de diversos setores.

O montante total de economia alcançado (41.730 TOE/ano) representa 2,3% do consumo energético total (1.771.690 TOE/ano) das instalações. É notável que a economia nos sistemas de ar comprimido (CAS) em 2008 corresponda a 4,8% da economia total das auditorias, evidenciando o significativo potencial do CAS na redução do consumo energético industrial.

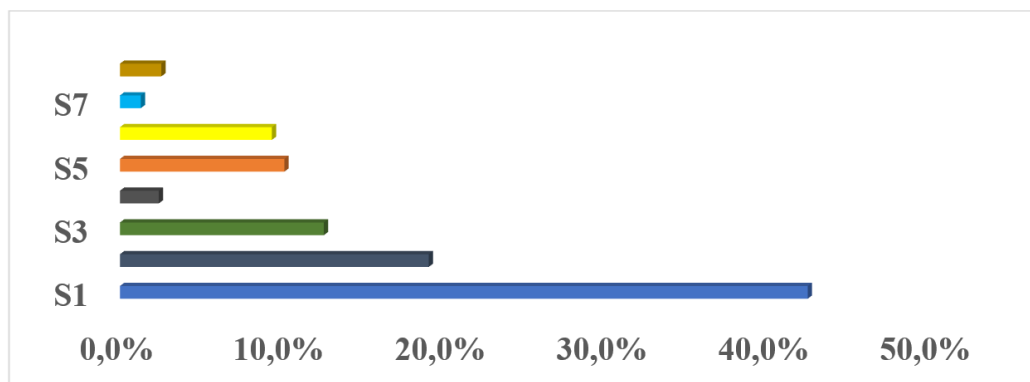
Para avaliar a eficiência energética dos sistemas de ar comprimido em diferentes setores industriais, foram realizados estudos abrangentes, empregando correlações empíricas mais generalizadas, em vez de correlações estatísticas específicas da indústria (Bonfá *et al.*, 2019). Conforme apresentado na Tabela 02

Tabela 2 - Taxas de economia CAS por setores.

Setor (Número de auditorias)	Quantidade de energia economizada - auditoria total (TOE/ano)	Quantidade de energia economizada - apenas CAS (TOE/ano)	Proporção (%)
Alimentícia (1)	711	87	12.2
Madeira (2)	863	32	3.7
Papel (1)	522	16	3.2
Cimento (2)	386	119	31.1
Cerâmica (7)	12,71	174	1.4
Produtos químicos (7)	9,969	213	2.1
Automotivo (6)	2,826	550	19.5
Ferro /aço (5)	10,239	365	3.5
Produção (5)	648	117	18.2
Textil (4)	1,795	124	6.9
Mineração (4)	1,057	193	18.3

A distribuição setorial da proporção do potencial de melhoria do CAS para o potencial de economia total de energia é a seguinte: cimento 31,1%, automotivo 19,5%, manufatura 18,2% e mineração 18,3%, respectivamente (Tabela 02). A contribuição do CAS para o potencial de economia de energia nesses quatro setores foi maior do que em outros setores. Portanto, a conclusão é que organizações desses setores não devem adiar a manutenção de seus sistemas de ar comprimido (CAS).

No entanto, é importante observar que um conjunto de dados limitado não permite uma generalização completa em todo o setor. Recomenda-se atualizar a Tabela 02 com dados adicionais de estudos futuros. Dentro do escopo da análise, avaliamos subcategorias de potencial de economia de energia (S1-S8) nos sistemas de ar comprimido (CAS). As economias de cada projeto do CAS foram comparadas com as economias totais dos projetos do CAS em todas as instalações.

Figura 1 – Taxa na economia total.

As economias de energia obtidas nos projetos são as seguintes: reparo de vazamentos de ar (S1) 42,53%, substituição por um compressor eficiente (S2) 19,08%, redução de pressão do compressor (S3) 12,60%, aplicação de VSD (S5) 10,16%, recuperação de calor do compressor (S6) 9,39%, automação e controle de compressores (S8) 2,56%, renovação de equipamentos pneumáticos (S4) 2,40%, e redução da temperatura de entrada de ar

(S7) foi de 1,29%, respectivamente. Especificamente, focamos nas economias devido aos vazamentos de ar, apresentando esses resultados separadamente na Tabela 03.

Tabela 3 - Razão de economia de vazamentos de ar para a economia total da auditoria em 44 instalações.

No	K	Λ	Σ	No	K	Λ	Σ
	TOE/ano	TOE/ano	%		TOE/ano	TOE/ano	%
1	33.42	558	5.99	23	40.78	2.035	2.00
2	16.1	1,122	1.43	24	16.53	522.22	3.17
3	38.48	711.3	5.41	25	4.1	121.91	3.36
4	1.3	75	1.73	26	16.37	143.4	11.42
5	13.59	435.85	3.12	27	13.85	1,594.6	0.87
6	23.33	937	2.49	28	6.08	34.65	17.55
7	22.2	143	15.52	29	7.82	1,691.35	0.46
8	81.45	2885	2.82	30	15.1	224.26	6.73
9	2.7	427.1	0.63	31	24.33	161.88	15.03
10	18.68	3810	0.49	32	11.18	956	1.17
11	2.33	230	1.01	33	22.2	142.49	15.58
12	8.3	996.4	0.83	34	6.84	110.7	6.18
13	0	0	0	35	7.43	3,424.3	0.22
14	51.67	227	22.76	36	0.62	223.72	0.28
15	13.4	2,988	0.45	37	20.19	474.34	4.26
16	20.92	395	5.3	38	33.95	251.3	13.51
17	116.8	1460	8.00	39	17.72	2796	0.63
18	7.57	6,6	0.11	40	1.98	78.9	2.51
19	13.58	103	13.18	41	28.76	246.5	11.67
20	6.12	356.3	1.72	42	6.9	195.22	3.53
21	22.42	370	6.06	43	12.96	277.56	4.67
22	23.87	223.3	10.69	44	0	0	0

Embora não tenham sido encontrados vazamentos de ar nas instalações 13^a e 44^a, outras medidas para os sistemas de ar comprimido foram propostas nessas duas instalações.

A Tabela 03 revela que os vazamentos de ar têm um potencial de economia de energia que varia entre 0,11% no mínimo, 22,76% no máximo, com uma média de 5,33%.

Destacamos que os vazamentos de ar se destacam entre os projetos de melhoria do sistema de ar comprimido (CAS) devido às economias mais altas em comparação com outros projetos. A proporção da quantidade de economia devido aos vazamentos de ar (853,9 TOE/ano) em relação à quantidade total de economia (41.730 TOE/ano) é de 2,05%. Isso demonstra que 2,05% do potencial total de economia pode ser alcançado eliminando os vazamentos de ar.

Observamos que a conscientização sobre os vazamentos de ar entre os funcionários era limitada, e muitas vezes eles ignoravam os sons de vazamentos. É crucial que as empresas eduquem regularmente seus funcionários sobre a importância da economia de

energia, pois o ar comprimido é uma commodity extremamente cara para as instalações.

Destacamos a importância da manutenção preditiva/preventiva regular nos sistemas de ar comprimido (CAS) para economizar energia e reduzir custos. A detecção e reparação rápida de vazamentos de ar desempenham um papel significativo na redução dos custos de produção. Um cálculo revelou que a eliminação de vazamentos, especialmente quando numerosos, pode levar à economia de custos de produção.

Para ilustrar isso, considere uma instalação de produção de aço que produz 9.650 toneladas de aço anualmente. Após uma auditoria, identificou-se um potencial de economia de energia de 558 toneladas equivalentes de petróleo (TOE) por ano. A economia por produto foi calculada como segue:

$$\frac{558(TOE/ANO)}{9,650(t/ANO)} = 0.0578/t$$

Durante a auditoria, o custo de uma TOE foi de \$825,8 para esta fábrica, resultando em um custo recuperável de \$55,2 por tonelada de aço. Reduzir 65 vazamentos de ar economizaria 0,0035 TOE de energia por ano, equivalendo a uma economia de \$3,3 por tonelada de produção de aço. Essa economia específica de vazamentos (SLS) representa um custo adicional de \$3,3 por tonelada.

Além disso, este estudo introduziu novos conceitos na literatura, como o consumo específico de energia (SEC) relacionado às perdas de energia nos sistemas de ar comprimido (CAS). Os parâmetros mencionados - SES, SCAS e SLS - foram desenvolvidos para destacar potenciais economias de energia na indústria de manufatura. Também se enfatizou o potencial de redução de custos de energia ao combinar auditorias energéticas com os custos de matéria-prima e mão de obra. Essas métricas internas devem ser consideradas pelas empresas para promover uma produção mais sustentável e limpa.

A Tabela 05 apresenta os valores de SES, SCAS, SLS e emissões de CO₂ associados a uma instalação. O SCAS da instalação foi de 0,0067 TOE por tonelada, enquanto o SLS foi calculado como 0,0035 TOE por tonelada. Eliminar vazamentos de ar resultaria em economia de 0,0035 TOE por tonelada de aço e evitaria 175 toneladas de emissões de CO₂ por ano devido à economia de energia.

As atividades de manutenção preditiva/preventiva devem ser realizadas regularmente nos sistemas de ar comprimido (CAS) para economizar energia e custos. Com um plano de manutenção, reparo e monitoramento contínuo, os vazamentos de ar podem ser tratados oportunamente, permitindo a produção contínua e reduzindo as emissões de CO₂. As emissões de CO₂ resultantes de vazamentos de ar em cada empresa estão resumidas na Tabela 06. No total, as emissões de CO₂ de todos os vazamentos detectados nas 44 instalações foram estimadas em cerca de 4.477 toneladas por ano, todas evitáveis por meio da correção desses vazamentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, conduzimos auditorias energéticas detalhadas em 44 instalações, com ênfase na inspeção dos sistemas de ar comprimido de todas as empresas. Empregamos

um detector de vazamentos ultrassônico para identificação rápida e eficiente de fugas de ar. Realizamos cálculos para destacar a relevância dessas fugas nos sistemas de ar comprimido, os quais estão presentes em todas as indústrias.

Tabela 4 - Relação do CAS com a produção total em uma empresa de amostra.

Eficiência Energética Medida	Quantidade de Economia (TOE/ano)	Quantidade de Produção (t/ ano)	Economia por Produto (TOE/t)	Economia por Produto (USD/t)
Quantidade Total	558	6,650	0,0578	55,2
Reparar vazamentos de ar	33.42	6,650	0,0035	3,3
Substituição por um compressor eficiente.	19.56	6,650	0,002	1,92
Redução da pressão do compressor	11.91	6,650	0,0012	1,15

Nos cálculos, 1 TOE é considerado como \$825,8

Tabela 5 - Cálculo dos parâmetros de SES, SCAS e SLS para uma instalação.

Energia Eficiência Medida	Quantidade de Economia	Economia Específica de Energia (SES)	Economia Específica de Ar Comprimido (SCAC)	Economia Específica de Vazamento (SLS)	Redução de Emissão de CO2
	TOE/ano	TOE/t	TOE/t	TOE/t	t CO2 / ano
Valor de Economia de Auditoria	558	0.0578	n/a	n/a	2,926
Economia Total de CAS (S1-S8)	64.89	n/a	0,0067	n/a	340
Reparar vazamentos de ar	33.42	n/a	n/a	0.0035	175

Tabela 6 - Quantidade de redução das emissões de CO2 ao corrigir vazamentos de ar em 44 instalações.

No	A quantidade de economia a ser obtida pela eliminação dos vazamentos (TOE por ano).	A quantidade de emissões de CO2 a ser reduzida pela eliminação dos vazamentos (quilogramas de CO2)	No	A quantidade de economia a ser obtida pela eliminação dos vazamentos (TOE por ano).	A quantidade de emissões de CO2 a ser reduzida pela eliminação dos vazamentos (quilogramas de CO2)
1	33.42	175,228	23	40.78	213,818
2	16.1	84,416	24	16.53	86,67
3	38.48	201,758	25	4.1	21,497
4	1.3	6,816	26	16.37	85,831
5	13.59	71,255	27	13.85	72,618
6	23.33	122,324	28	6.08	31,879
7	22.2	116,399	29	7.82	41,002
8	81.45	427,059	30	15.1	79,172
9	2.7	14,157	31	24.33	127,567
10	18.68	97,943	32	11.18	58,619
11	2.33	12,217	33	22.2	116,399
12	8.3	43,519	34	6.84	35,863
13	0	0	35	7.43	38,957
14	51.67	270,916	36	0.62	3,251
15	13.4	70,259	37	20.19	105,86
16	20.92	109,688	38	33.95	178,007

17	116.8	612,406	39	17.72	92,91
18	7.57	39,691	40	1.98	10,382
19	13.58	71,203	41	28.76	150,794
20	6.12	32,088	42	6.9	36,178
21	22.42	117,553	43	12.96	67,952
22	23.87	125,155	44	0	0

1 kWh = 0.000086 TOE, 1 TOE = 11,600 kWh de eletricidade.

Os principais resultados e implicações deste estudo são os seguintes:

- A reparação de vazamentos de ar demonstra o maior potencial de economia de energia entre os oito projetos avaliados, representando 42,53% das economias totais no sistema de ar comprimido.
- As empresas que dão maior atenção ao sistema de ar comprimido, realizam manutenção preventiva e têm funcionários conscientes apresentam taxas de perdas mais baixas.
- Introduzimos novos indicadores de desempenho energético, como SES, SCAS e SLS, que podem ser utilizados para calcular e controlar o consumo de energia nas empresas.

A aplicação destes novos parâmetros de eficiência energética pode auxiliar outras fábricas na realização de auditorias energéticas e na redução de seus consumos de energia. A medição e cálculo destes novos parâmetros podem contribuir para a redução do consumo de energia e das emissões de CO₂ tanto a nível nacional quanto internacional.

Estudos subsequentes podem explorar outras oportunidades de economia nos sistemas de ar comprimido, como a adoção de inversores de frequência (VSD), a recuperação de calor dos compressores e a automação dos sistemas de compressão.

Os resultados deste estudo, abrangendo 44 fábricas de 10 setores diferentes, podem ser extrapolados para outras áreas industriais, permitindo comparações entre empresas para fins de benchmarking. Além disso, os indicadores SES, SCAS e SLS podem ser aplicados a outros projetos de eficiência energética, como os relacionados a bombas e ventiladores.

Nomenclatura

CAS - Sistemas de Ar Comprimido

dB - Decibel

kWh - Quilowatt-hora

SCAS - Economia Específica de Ar Comprimido

SEC - Consumo Específico de Energia

SES - Economia Específica de Energia

SLS - Economia Específica de Vazamentos

Sm³ - Metro Cúbico Padrão

TOE - Toneladas Equivalentes de Petróleo

VSD - Controlador de Velocidade Variável

REFERÊNCIAS

- Assawamartbunlue, T., & Luknongbu, P. (2020). **Energy consumption and potential energy savings in a food manufacturing plant in Thailand**. *Energy Efficiency*, 13(2), 713-725.
- Assunção, L. G., Silva, P. A., & Soares, J. S. (2022). **Consumo e crescimento populacional: desafios para a sustentabilidade ambiental no Brasil**. *Ambiente & Sociedade*, 25(2), 1-20.
- Artaxo, P. (2022). **O impacto das mudanças climáticas no Brasil**. *Revista USP*, (121), 114-125.
- Benedetti, M., Masi, A., & Cicognani, A. (2018). **Energy efficiency in the food industry: A review**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97, 84-95.
- Bonfá, I., Ciccarelli, M., & Ciccarelli, G. (2019). **Energy efficiency of compressed air systems: An overview of recent studies**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 110, 419-426.
- Comissão Europeia (2022). **Guidelines for the assessment of energy efficiency measures in compressed air systems**. Publicado pela Comissão Europeia.
- Corsini *et al.* (2015). **Energy efficiency indicators for compressed air systems**. *Journal of Cleaner Production*.
- Doner, M., & Ciddi, B. (2022). **An economic model for compressed air systems considering energy efficiency measures**. *Energy Efficiency*, 15(3), 837-853.
- Hernandez-Herrera, S., González-Ramírez, M. A., & García-Calvo, M. (2020). **A review on energy efficiency improvement in compressed air systems**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 138, 110428.
- Kaya, S., Akkaya, O., & Eker, M. (2002). **A study on the measurement of compressed air leaks**. *Journal of Mechanical Engineering Science*, 216(1), 113-122.
- Oliveira, A. P., Silva, J. R., & Oliveira, C. E. (2022). **Eficiência energética no setor industrial**. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina.
- Rocha, M. C., Lima, M. C., & Ribeiro, C. M. (2022). **Eficiência energética como estratégia para reduzir emissões de gases de efeito estufa em indústrias**. *Ambiente & Sociedade*, 25(2), 1-20.
- Saidor (2010). **Techniques for detecting and measuring air leaks in compressed air systems**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Sapmaz, S., & Kaya, S. (2017). **A review of compressed air system energy efficiency improvement methods**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 1103-1113.
- Seslija, D., Pašalić, S., & Šestan, M. (2012). **Energy efficiency improvement of compressed air systems in industry**. *Energy Efficiency*, 5(2), 191-204.

Silva, D. A., Silva, G. A., & Silva, J. A. (2022). **Otimização da eficiência energética em sistemas de ar comprimido: uma revisão bibliográfica.** *Ambiente & Sociedade*, 25(2), 1-20.

Silva *et al.* (2022). **Detecção e quantificação de vazamentos em sistemas de ar comprimido.** Artigo publicado na revista "Ambiente & Sociedade."

Unver, T. (2016). **Uncertainty analysis in energy efficiency measurements.** *Energy Efficiency*, 9(6), 1703-1715.

Yang, J. (2009). **Energy savings potential of compressed air systems in the manufacturing sector.** *Energy*, 34(1), 260-268.

Análise da resistência mecânica do solo residual basáltico estabilizado com cimento Portland

Luiz Henrique Marchetti

Acadêmico de Engenharia Civil, Faculdade Educacional de Medianeira – UDC Medianeira, Medianeira – PR, Brasil

Eduardo Damin

Engenheiro Civil, Mestre, Professor do Curso de Engenharia Civil, Faculdade Educacional de Medianeira – UDC Medianeira, Medianeira – PR, Brasil

RESUMO

A decisão quanto ao método de estabilização do solo é determinada pela natureza dos materiais envolvidos, as especificidades do solo, a disponibilidade dos equipamentos e as práticas comuns na região. Na região Oeste do Paraná, é predominante a presença de solos residuais de basalto. As investigações na área de tecnologia dos compósitos que utilizam esse solo como matéria-prima têm se concentrado em encontrar aditivos e incorporações que possam aprimorar suas propriedades mecânicas. O solo argiloso estudado neste contexto apresenta uma tensão de ruptura bastante baixa, o que restringe sua aplicação em larga escala. No entanto, com a perspectiva de aproveitar de maneira sustentável os recursos naturais, o uso desse solo como material de construção tem ganhado força, sendo possível melhorar suas características por meio de processos de estabilização física e química. A adição de cimento já vem sendo estudada para diversos solos, mostrando ser a mais simples e eficaz para aplicação em diversas áreas da engenharia civil. Este estudo teve como objetivo avaliar o aprimoramento do solo com diferentes teores de 3%, 6% e 9% de cimento CP-V ARI em relação ao peso do solo seco. Para estabelecer uma base de dados sobre a resistência, o comportamento do solo natural foi investigado e comparado com o desempenho mecânico dos compósitos solo-cimento com adições de 3%, 6% e 9%, submetidos a rompimento imediato e cura por 3 e 7 dias. Os resultados indicam que adições rompidas imediatamente após a preparação não demonstraram ganhos de resistência estatisticamente equivalentes. No entanto, com 3 dias de cura, houve aumentos significativos em relação ao solo natural, com aumentos médios de 146% para 3% de adição, 342% para 6% e 610% para 9%. Com 7 dias de cura, as médias em relação ao solo natural foram 245% maior para 3%, 411% para 6% e 866% para 9%, mostrando uma relação consistente entre o tempo de cura e a porcentagem de cimento no ganho de resistência. Esses resultados sugerem que o método estudado é viável para aplicação em projetos de geotecnia e como material de construção, promovendo o uso sustentável de recursos naturais na região.

Palavras-chave: solo cimento. estabilização do solo. desempenho mecânico.



INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem passado por constantes inovações nos últimos anos, buscando métodos construtivos que combinem alta produtividade com baixo custo operacional. Nesse contexto, é crucial adquirir materiais que ofereçam características desejáveis, como durabilidade e desempenho mecânico, sem comprometer o orçamento. Uma alternativa promissora é utilizar materiais abundantes no local e aplicar técnicas de melhoramento.

O solo, presente em praticamente todas as obras da construção civil, desempenha papéis importantes, seja como elemento de fundação, escavação ou até mesmo como material de construção. Além disso, apresenta um valor relativamente baixo, tornando-se uma escolha comum para reduzir os custos em construções. No entanto, para utilizá-lo de forma eficiente, é necessário caracterizá-lo por meio de ensaios laboratoriais.

De acordo com Ingles e Metcalf (1972), é necessário que os solos exibam propriedades físicas e químicas que proporcionem estabilidade e capacidade de suportar os esforços e cargas aos quais serão submetidos.

Em alguns casos, o solo presente não atende às exigências dos projetos, resultando em aumentos nos custos de execução. Nesse sentido, é fundamental analisar alternativas que proporcionem um melhor custo-benefício.

Conforme apontado por Foppa (2005), o uso de métodos convencionais na engenharia pode enfrentar desafios significativos, como altos custos ou restrições ambientais. O autor destaca, por exemplo, o elevado custo associado ao transporte e os impactos ambientais decorrentes da extração de materiais granulares em áreas distantes do local da obra.

Uma opção é aumentar as estruturas de fundação, o que implica no aumento do uso de concreto, aço, mão de obra e maquinários, ultrapassando o limite financeiro estabelecido. Outra alternativa é substituir o solo existente por um que atenda às especificações, porém, isso acarreta despesas com remoção, extração e transporte.

Surge então a alternativa de melhorar o solo através da adição de um agente químico que possa atingir as resistências solicitadas de forma econômica e em um curto período de tempo. Nesse contexto, o cimento Portland se destaca como agente aditivo devido à sua fácil aquisição e rápida reação química.

Conforme explicado por Cruz e Jalali (2010), a estabilização de solos tem como objetivo atender de maneira adequada às demandas projetadas, visando aprimorar tanto o desempenho mecânico do solo quanto suas características e propriedades.

O presente trabalho tem como objetivo analisar o comportamento mecânico do compósito produzido com solo residual basáltico estabilizado com a adição de cimento Portland CP-V. Pretende-se obter uma matriz de alto desempenho que possa ser utilizado em áreas da construção civil. Além disso, serão considerados outros estudos relacionados ao tema do solo-cimento, a fim de determinar a proporção ideal de cimento.

ESTABILIZAÇÃO DO SOLO

Segundo Afrin (2017) a estabilização do solo envolve a modificação ou conservação das propriedades do solo para melhorar seu desempenho em termos de engenharia. É um processo que visa aprimorar as características do solo por meio de métodos diversos.

A adição de substâncias aglomerantes ao solo recebe diferentes denominações, variando conforme o autor consultado, tais como estabilização, melhoramento, alteração e tratamento. A ACI (2009) faz uma diferenciação entre solo estabilizado e solo modificado. O solo estabilizado é aquele que atende a critérios de resistência e durabilidade, permitindo suportar tanto cargas estruturais como fatores ambientais. Em contrapartida, o solo modificado apresenta propriedades aprimoradas, mas pode não satisfazer plenamente os requisitos de resistência e durabilidade exigidos para solos estabilizados.

Atualmente, está em curso uma pesquisa sobre a influência do teor de cimento, porosidade e teor de umidade de moldagem na resistência de solos artificialmente cimentados. Além disso, está sendo avaliada a viabilidade do uso das relações água/cimento, vazios/cimento, água/cal e vazios/cal para estimar a resistência à compressão simples desses solos (ROJAS, 2015).

Estabilização química

Para Han (2015) a técnica de estabilização química superficial do solo chamada de Mass Stabilization envolve a mistura do solo com cal, cimento ou cinza volante aplicadas no subleito e após submetida a compactação da mistura, formando uma matriz cimentícia, gerando aumento na resistência e rigidez, reduzindo a erosão do solo, técnica aplicada para argilas não saturadas e silte, principalmente em estradas com uma espessura de até 0,3 m.

A estabilização química tem como objetivo melhorar a resistência ao cisalhamento, reduzir a permeabilidade e diminuir a compressibilidade do solo em comparação ao seu estado natural, utilizando estabilizantes. Esse método envolve interações químicas, físico-químicas e físicas que ocorrem durante o processo de estabilização. Isso inclui a adição de um ou mais compostos ao solo com o propósito de torná-lo mais estável (SANTOS, 2020).

Solo-cimento

O material solo-cimento é definido pela NBR 12253 (ABNT, 2012) como um “produto endurecido resultante da cura de uma mistura íntima compactada de solo, cimento e água, em proporções estabelecidas através de dosagem”. Do mesmo modo as diretrizes do Instituto Americano de Concreto (ACI, 2009), diz que solo-cimento é descrito como uma combinação compactada de solo, cimento e água, em proporções previamente estabelecidas.

Segundo Braus (2020) a mistura de solo-cimento apresenta uma distribuição uniforme. A estabilização dessa mistura é alcançada com o auxílio da água, enquanto o endurecimento do cimento contribui para aumentar a capacidade de carga. Assim, quanto maior for a quantidade de cimento utilizada, maior será a necessidade de água.

Para Azevedo (2019) a adição apropriada de cimento resulta no aprimoramento do

solo por meio da cimentação artificial e das reações pozolânicas, que são processos físico-químicos responsáveis por esse aprimoramento.

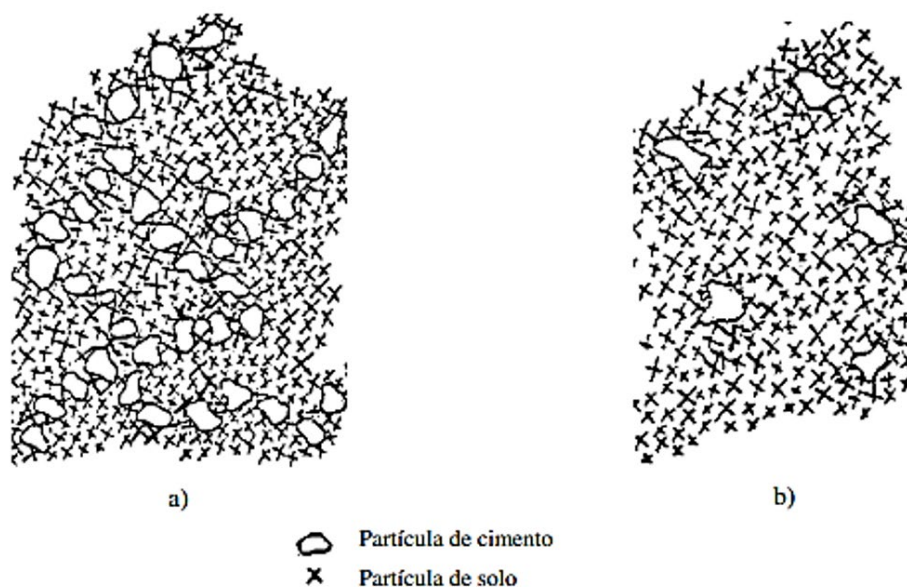
Conforme Claver (2022), para se ter uma união satisfatória as partículas de cimento precisam cobrir boa parte das partículas de material.

De acordo com Ingles & Metcalf (1972), a inclusão de mesmo pequenas quantidades de cimento, até 2%, resultará em modificações nas propriedades do solo.

Dependendo da quantidade de cimento utilizada, isso pode levar a um material excessivamente rígido e suscetível a quebrar sob as cargas do tráfego, comprometendo o desempenho estrutural. Além disso, altos teores de cimento podem ocasionar o surgimento de trincas por retração e outras falhas (PAIVA; OLIVEIRA, 2013).

O solo-cimento se difere do concreto pois a quantidade de cimento empregada na mistura não consegue cobrir por completo todas as partículas de solo ela apenas unem uma à outra criando uma rede de ligações e diminuindo os vazios quanto maior a porcentagem de cimento mais ligações temos como apresentado na figura 1.

Figura 1 - Comportamento da porcentagem de cimento.



Fonte: Adaptado de Catton (1962)

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O ensaio de compactação foi realizado conforme NBR 7182(ABNT, 2016), utilizando cilindros grandes e sem reutilização de material para uma aquisição de mais pontos de análise da umidade. Inicialmente, o ensaio foi realizado no solo natural com o objetivo de obter a curva de compactação, a fim de determinar a umidade ótima e o peso específico aparente seco máximo desse solo em sua condição natural.

Para o ensaio no solo natural, foi utilizado uma amostra de 25kg de solo, dividida em partes iguais, cada uma destinada a produção de cinco corpos de prova, compactados com 26 golpes e 5 camadas. Um dos corpos de prova foi mantido com a umidade ótima

presumida, previamente estimada, quanto os outros dois corpos de prova foram preparados com um teor de umidade abaixo dessa estimativa e outros dois acima.

Estes corpos de prova foram moldados pesados conforme tabela 1, e retirado duas amostras para determinar os valores da massa específica aparente seca e úmida do solo, com isso construído a curva de compactação. Através dela foi possível extrair os valores da massa específica aparente seca máxima e a umidade ótima.

Uma vez obtido a umidade ótima, os ensaios de compactação foram realizados com cilindros pequenos e sem reutilização feitos em três camadas, com 26 golpes, nas diferentes misturas desejadas de solo-cimento, e preparado cinco corpos de prova com solo natural na umidade ótima que serviram como testemunha para o trabalho. Os corpos de prova possuíam diâmetro de 100mm.

Tabela 1 - Dados do ensaio de compactação do solo natural.

Energia Normal de Compactação			26 Golpes		3 Camadas
Molde N°	N01	N02	N03	N04	N05
Peso do Solo + Molde (g)	7.701	8.019	8.289	8.071	7.865
Peso do Molde (g)	4.274	4.280	4.394	4.208	4.200
Volume do Molde (cm ³)	2.077	2.142	2.114	2.161	2.096
Peso do solo Úmido (g)	3.427	3.739	3.895	3.863	3.665
Massa esp. aparente úmida (g/cm ³)	1,650	1,746	1,842	1,788	1,749

Fonte: Autor (2023).

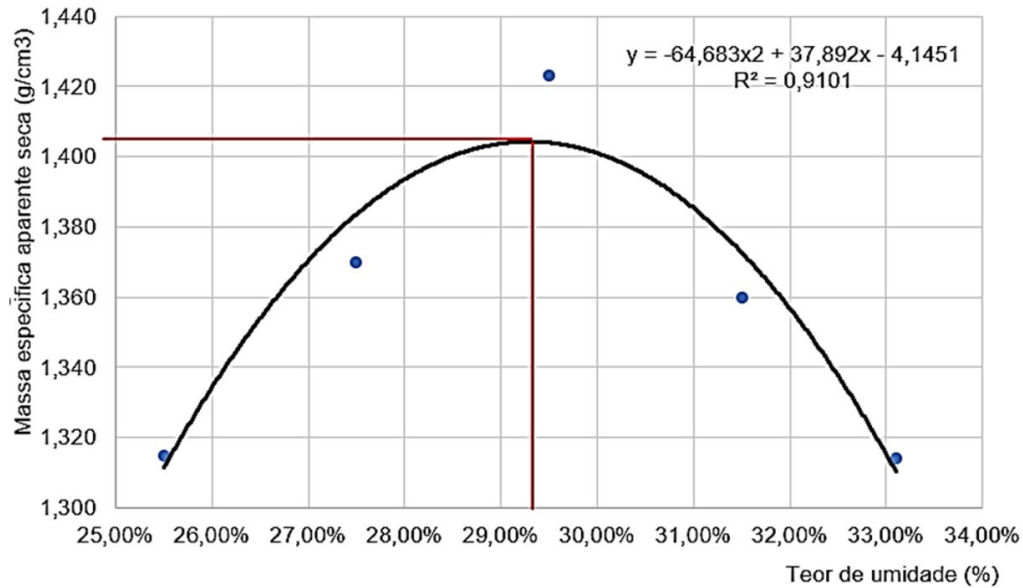
As amostras retiradas dos corpos de prova foram levadas para a estufa, para após período de secagem determinar a massa específica aparente seca, conforme mostra a tabela 2.

Tabela 2 - Teor de umidade da amostra de solo natural.

Cápsula n°	Umidade (%)									
	11	22	33	44	55	66	77	88	99	110
Cápsula+Solo Umido(g)	134,56	138,89	141,56	145,23	148,74	146,25	137,84	135,65	137,64	135,69
Cápsula+Solo Seco(g)	112,55	115,89	116,96	118,05	119,29	117,89	111,25	108,54	108,56	107,55
Peso da Água(g)	22,01	23,00	24,60	27,18	29,45	28,36	26,59	27,11	29,08	28,14
Peso da Cápsula(g)	26,65	25,44	26,60	20,10	19,75	20,97	26,76	22,09	21,04	22,21
Peso do Solo seco(g)	85,90	90,45	90,36	97,95	99,54	96,92	84,49	86,45	87,52	85,34
Teor de Umidade (%)	25,6	25,4	27,2	27,7	29,6	29,3	31,5	31,4	33,2	33,00
Umidade Adotada (%)	25,5		27,5		29,5		31,5		33,1	
Dens.Apar. Seca (g/cm ³)	1,315		1,370		1,423		1,360		1,314	

FONTE: Autor (2023)

Conforme mostra o gráfico 1 referente a curva de compactação, a linha na vertical determina o teor de umidade ótima do solo natural sendo ele 29,3%.

Gráfico 1 - Curva de compactação.

Fonte: Autor (2023)

Na tabela 3 temos os resultados das massas específica aparente seca máxima e a umidade ótima adquiridos pela curva de compactação.

Tabela 3 - Resultados do ensaio de compactação.

RESULTADOS	
Massa específica aparente seca máxima (g/cm³)	1,405
Umidade Ótima (%)	29,30

Fonte: Autor (2023)

O processo de confecção dos CPs com adição de cimento CP-V: o solo foi preparado conforme NBR 6457(ABNT, 2016); umedecido até chegar à umidade ótima encontrada, ensacados em duas camadas de sacos plásticos afim de proporcionar uma hidratação completa de toda a amostra e evitar a evaporação, guardado dentro do laboratório por um período de 16 horas; adição do cimento na quantidade específica conforme peso de solo seco, corrigido a água de amassamento 50% do peso de cimento, feito a homogeneização da mistura e compactados os corpos de prova. Os mesmos foram compactados em 3 camadas, sendo 26 golpes por camada, executando-se o ensaio de compressão não confinada.

Os teores adotados para a confecção dos compósitos foram de 3%, 6% e 9% devido a resultados satisfatório de outros autores, rompimento realizado conforme tempo de cura.

A tabela 4 apresenta a quantidade em massa dos materiais utilizados nos compósitos.

Tabela 4 - Dosagem dos materiais para a confecção dos compósitos.

Compósito	Quantitativo dos componentes				Umidade 8%
	Quantidade por mistura (por unidade)				
	Solo seco (g)	Cimento CP-V (g)	Água (g)	Água correção (g)	
Solo-cimento 3%	2116	65	450	33	
Solo-cimento 6%	2116	130	450	65	
Solo-cimento 9%	2116	195	450	100	

Fonte: Autor (2023).

Os CPs sofreram um processo de cura de 3 e 7 dias, outra parte da amostra foi rompida imediatamente após confecção sendo que o cimento foi misturado ao solo no momento da compactação. Conforme mostra a figura 2. Os compósitos foram elaborados conforme tabela 5, nela contém as quantidades de corpos de prova para cada mistura e idade com que forma rompidos, no ensaio de compressão não confinada.

Figura 2 - Homogeneização da mistura solo-cimento.

Fonte: Autor (2023)

Tabela 5 - Quantidade de corpos de prova e tempo de cura.

Tratamentos	Quantidade de CP	Tempo de cura (dias)
Solo natural	5	0
Solo-cimento 3%	6	0
	6	3
Solo-cimento 6%	6	7
	6	0
	6	3
Solo-cimento 9%	6	7
	6	0
	6	3
Total de CPs	6	7
		59

Após extração do CPs os mesmos foram envolvidos em plástico filme e colocado dentro de um saco plástico transparente como na figura 3, e guardados dentro do laboratório

afim de não haver perda de umidade durante o processo de cura, após o período de cura foi rompido os corpos de prova.

Figura 3 - Armazenagem para período de cura.



Fonte: Autor (2023).

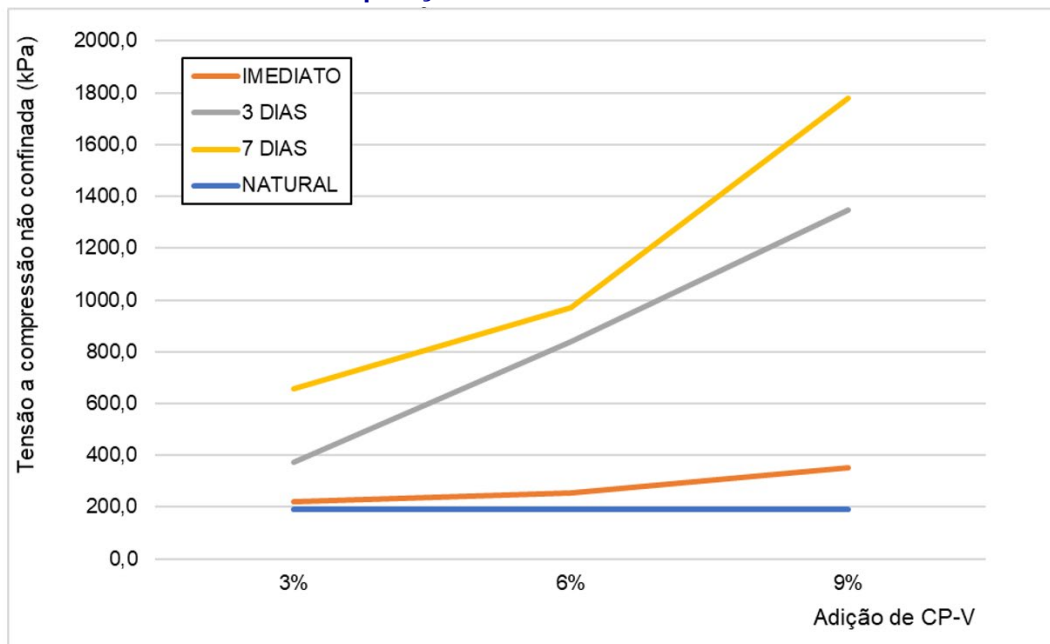
Influência do teor de cimento

Segundo Oliveira (2023), a porcentagem de cimento influencia diretamente a resistência dos corpos de prova, ele também relata que em maioria das vezes não é de forma retilínea esse aumento, devido a quantidade relativa de partículas finas, médias e grossas, onde a água tem ação direta no arranjo estrutural.

De acordo com Junior (2022) especifica que a forma dos grãos pode afetar os arranjos, e que a alta presença de finos é benéfica para o aumento da resistência em determinada porcentagem, criando mais ligações dentro do compósito, e que compactação elimina a porosidade aumentando a tensão interpartículas, ocasionando um aumento na resistência ao cisalhamento.

No gráfico 2, podemos verificar que conforme aumentamos o teor de cimento a linha vai se distanciando da resistência do solo natural, tendo aumento na resistência a compressão.

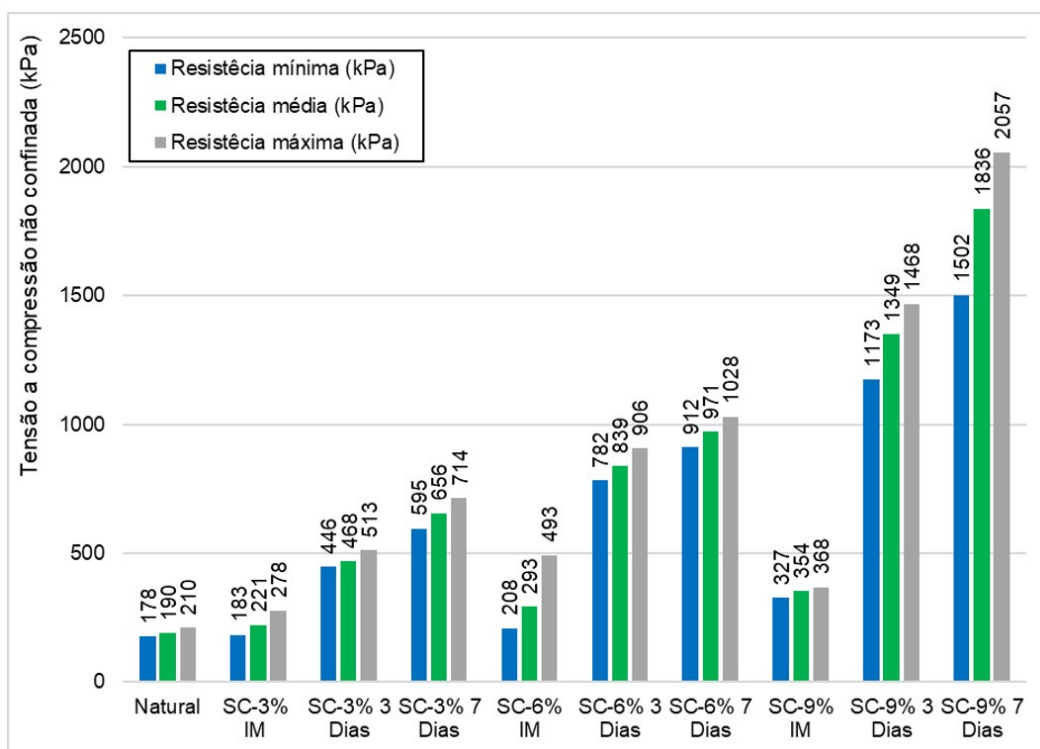
Gráfico 2 - Comparação da influência do teor de cimento.



Fonte: Autor (2023).

O gráfico 3, ilustra as porcentagens utilizadas o valor mínimo, médio e máximo das amostras, podendo assim ter uma análise ampla dos resultados, onde cada amostra é classificada como SC (Solo-cimento) após a porcentagem e por fim o tempo de cura.

Gráfico 3 – Análise comparativa por teor de cimento.



Fonte: Autor (2023).

Influência do tempo de cura

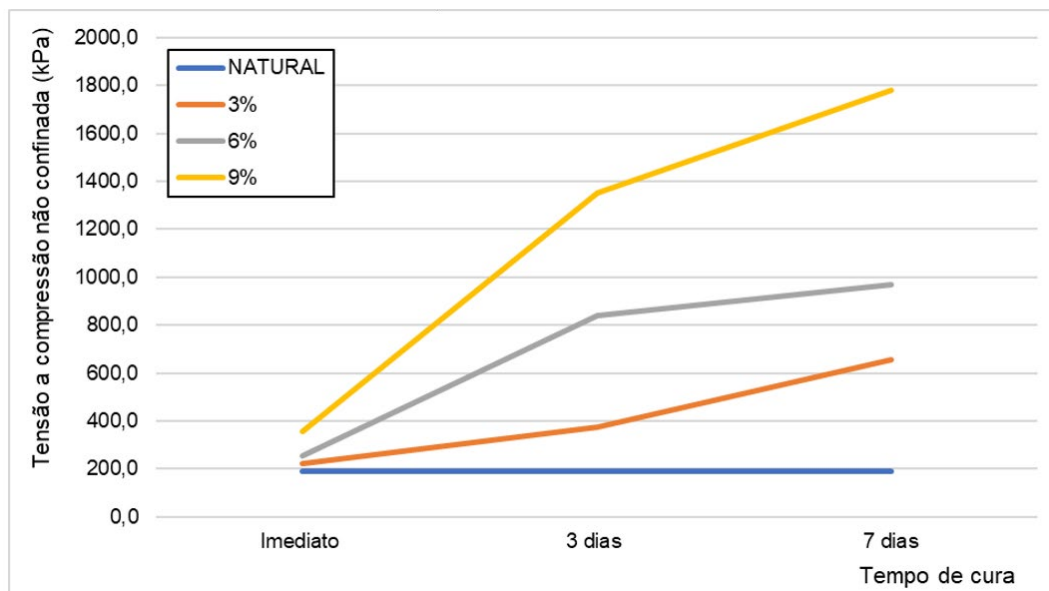
Segundo Jonah (2018), pequenas porcentagens de cimento trazem aumento na

resistência a compressão com tempo de cura de 7 dias, mas não tem efeito significativo na impermeabilização do solo.

De acordo com Azevedo (2019), os métodos de cura em laboratório são controlados, mas em campo se utiliza cura úmida por uma semana, para garantir a hidratação cimento.

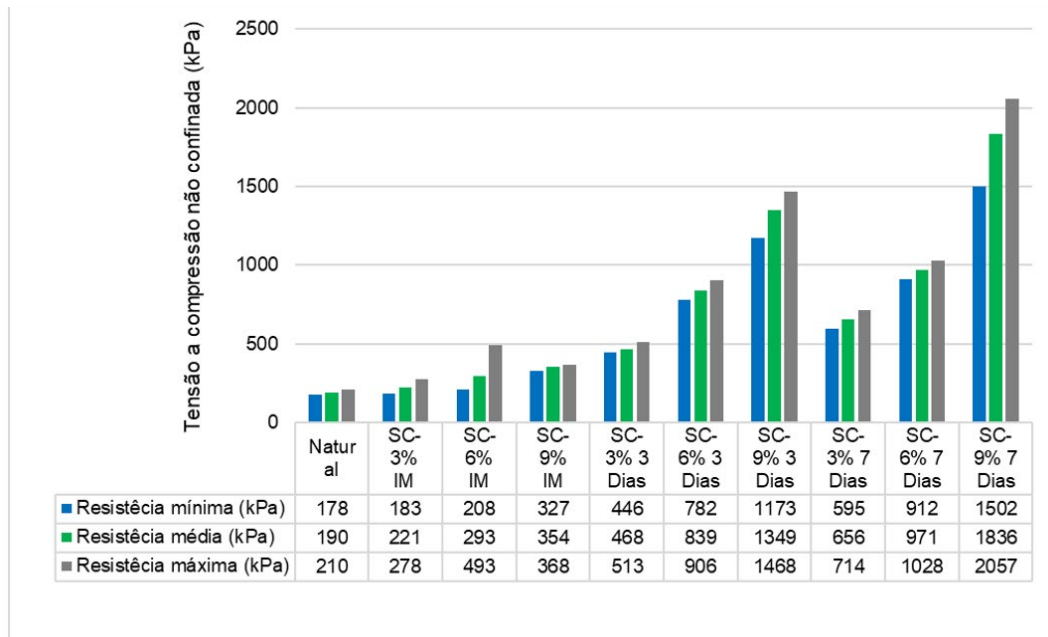
De acordo com o gráfico 4, observamos que a partir do terceiro dia de cura ocorrem ganhos consideráveis de resistência nos compósitos de solo-cimento. No entanto, após esse período, a resistência aumenta em uma proporção menor. Isso indica que o tempo de cura está diretamente relacionado à capacidade de absorção de tensão do solo-cimento, e que a resistência tende a aumentar significativamente nos estágios iniciais, mas o crescimento posterior é mais gradual. O gráfico 5 apresenta os valores de resistência mínima, média e máxima ao longo do tempo de cura. Esses dados são úteis para entender a variação da resistência dentro das amostras e como ela evolui com o tempo. O fato de ambos os compósitos de solo-cimento apresentarem ganhos de resistência imediatamente após a preparação, em comparação com o solo natural, é um resultado importante a ser considerado ao avaliar o desempenho desses materiais em aplicações práticas.

Gráfico 4 - Comparação da influência do tempo de cura.



Fonte: Autor (2023).

Gráfico 5 – análise comparativa por tempo de cura.



Fonte: Autor (2023).

Análise estatística dos resultados

Os dados que permaneceram dentro dos limites estatísticos apresentados na tabela 6, foram submetidos, a comparação múltipla, análise de variação (ANOVA) e os testes de Tukey, Sheffé, Bonferroni e Holm.

Tabela 6 - Dados de entrada 10 tratamentos independentes.

Tratamento	SN (A)	SOLO-CIMENTO								
		3%IM (B)	3%3D (C)	3%7D (D)	6%IM (E)	6%3D (F)	6%7D (G)	9%IM (H)	9%3D (I)	9%7D (J)
	188	277	513	689	208	830	990	368	1404	1816
	178	207	461	706	289	906	912	327	1468	2057
Dados de entrada	186	182	446	586	276	782	1005	357	1173	2017
	210	233	455	612	242	-	918	364	1352	1555
	-	202	-	-	247	-	1028	-	-	1736

Fonte: Autor (2023).

Na tabela 7 estão os dados da verificação ANOVA, nela podemos ver que o valor de p é menor que 0,00001 demonstrando que um ou mais tratamentos são diferentes.

Tabela 7 - Anova

Fonte	Soma de Quadra- dos	Graus de liber- dade	Quadrado Médio	Estatística F	Valor de p
A	12.442.709,99	9	1.382.523,33	174,22	<.00001
Resíduos	261.873,92	33	7.935,57		

Fonte: Autor (2023).

Na tabela 8, encontramos todas as respostas obtidas por meio das análises dos métodos de Tukey e Scheffer, comparando o solo natural com os demais tratamentos. A análise revela o seguinte.

O solo natural (A) não demonstra diferença estatisticamente significativa quando comparado com os tratamentos de solo-cimento 3% imediatamente após a preparação (B), solo-cimento 6% imediatamente após a preparação (C) e solo-cimento 9% imediatamente após a preparação (D). Isso sugere que esses tratamentos não são estatisticamente eficazes em aumentar a resistência em relação ao solo natural.

No entanto, apenas na análise entre o solo natural (A) e o tratamento de solo-cimento 3% com 3 dias de cura (C), o método de Scheffe indicou uma diferença não relevante na obtenção de resistência. Isso pode sugerir que o tratamento com 3% de cimento e 3 dias de cura não trouxe um aumento estatisticamente significativo na resistência em comparação com o solo natural.

Os itens marcados em azul na tabela representam resultados estatisticamente satisfatórios, indicando casos em que houve diferenças significativas nas resistências entre os tratamentos.

Essas análises estatísticas são valiosas para compreender a eficácia dos tratamentos e suas influências na resistência do solo em comparação com o solo natural.

Tabela 8 - Teste Tukey e Scheffe para solo natural.

Testes	Tukey HSD		Scheffe	
	Valor-p	ilação	Valor-p	ilação
A vs B	0,99996	insignificante	1	insignificante
A vs C	0,00351	* p < .05	0,05108	insignificante
A vs D	<,00001	*** p < .001	0,00007	*** p < .001
A vs E	0,98753	insignificante	0,99890	insignificante
A vs F	<,00001	*** p < .001	<,00001	*** p < .001
A vs G	<,00001	*** p < .001	<,00001	*** p < .001
A vs H	0,25928	Insignificante	0,66265	insignificante
A vs I	<,00001	*** p < .001	<,00001	*** p < .001
A vs J	<,00001	*** p < .001	<,00001	*** p < .001

Fonte: Autor (2023)

A tabela 9 fornece os resultados obtidos por meio das análises estatísticas de Bonferroni e Holm, comparando o solo natural com os diferentes tratamentos. A análise conduz à seguinte conclusão.

Da mesma forma que observado anteriormente, o solo natural (A) não apresenta diferença estatisticamente significativa em relação aos tratamentos de solo-cimento 3% imediatamente após a preparação (B), solo-cimento 6% imediatamente após a preparação (C) e solo-cimento 9% imediatamente após a preparação (D). Isso reforça a ideia de que esses tratamentos não são estatisticamente eficazes em aumentar a resistência em comparação com o solo natural.

Os itens marcados em azul na tabela indicam resultados estatisticamente satisfatórios, o que significa que houve diferenças significativas nas resistências entre os tratamentos, reforçando a utilidade das análises estatísticas.

Esses resultados, obtidos por meio de diferentes métodos estatísticos, corroboram a conclusão anterior de que os tratamentos com cimento imediatamente após a preparação não resultaram em um aumento estatisticamente significativo na resistência em relação ao solo natural.

Tabela 9 - Teste Bonferroni e Holm solo natural.

Testes	Bonferroni		Holm	
	Valor-p	ilação	Valor-p	ilação
A vs B	1	insignificante	1	insignificante
A vs C	0,00457	* p < .05	0,00132	** p < .01
A vs D	<,00001	*** p < .001	<,00001	*** p < .001
A vs E	1	insignificante	0,92342	insignificante
A vs F	<,00001	*** p < .001	<,00001	*** p < .001
A vs G	<,00001	*** p < .001	<,00001	*** p < .001
A vs H	0,6293	insignificante	0,11188	insignificante
A vs I	<,00001	*** p < .001	<,00001	*** p < .001
A vs J	<,00001	*** p < .001	<,00001	*** p < .001

Fonte: Autor (2023)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa tem como objetivo avaliar o desempenho mecânico de compósitos de solo-cimento com diferentes adições (3%, 6% e 9%) para investigar o impacto do teor de cimento no aumento da resistência à compressão.

Com base nos resultados dos ensaios de laboratório realizados nesta pesquisa, e levando em consideração as pesquisas anteriores, verificou-se que ambas as adições de cimento contribuíram para o aumento da resistência do solo em comparação com o solo de referência. No entanto, ao analisar os resultados ao longo do tempo de cura, observou-se que, imediatamente após a preparação, nenhum dos compósitos apresentou ganhos significativos em termos estatísticos. No entanto, após 3 e 7 dias de cura, os compósitos demonstraram resistência superior em relação ao solo de referência.

Um ponto relevante é que o aumento na proporção de cimento está associado ao aumento na resistência do solo. Isso é particularmente notável no caso do solo residual de basalto, que possui características argilosas e uma proporção significativa de material fino.

A adição de cimento cria ligações mais fortes entre as partículas, formando uma estrutura de ligada dentro do compósito. Além disso, a compactação desempenha um papel crucial na redução de vazios dentro da amostra, tornando-a mais resistente a tensões elevadas.

Ao fazer comparações entre diferentes porcentagens de adição, observa-se que imediatamente após a preparação, não há ganhos significativos de resistência, independentemente de aumentar ou diminuir a porcentagem de cimento. No entanto, a partir do terceiro dia de cura, tornam-se evidentes as diferenças entre as porcentagens de adição. Isso é claramente ilustrado nos resultados para as porcentagens de 3%, 6% e 9% com 3 dias de cura, a resistência máxima foi de 512,9 kPa, 1096,3 kPa e 1467,9 kPa, com 7 dias de cura, as resistências aumentaram para 713,3 kPa para 3%, 1028,3 kPa para 6%, e 2056,8 kPa para 9%.

Essa análise destaca que o tempo de cura desempenha um papel crucial no desenvolvimento da resistência dos compósitos de solo-cimento. Além disso, a escolha da porcentagem de adição tem um impacto significativo nos ganhos de resistência alcançados. À medida que o tempo de cura avança, as diferenças entre as porcentagens de adição se tornam mais evidentes, resultando em resistências mais distintas.

Quando analisamos uma mesma porcentagem de adição com diferentes tempos de cura, observamos que somente a adição de 9% apresentou três ganhos de resistência considerados estatisticamente distintos. Isso sugere que, para essa porcentagem específica de adição, o ganho na resistência continua a aumentar após o terceiro dia de cura, e essa diferença é estatisticamente significativa.

Por outro lado, para as porcentagens de 3% e 6% de adição, aponta que o ganho na resistência diminui a escalada após o terceiro dia de cura, já que não houve diferenças estatisticamente significativas observadas entre os diferentes tempos de cura. Esses resultados indicam que a porcentagem de adição desempenha um papel crucial na evolução da resistência ao longo do tempo de cura. Enquanto uma adição de 9% continua a promover ganhos de resistência significativos, as adições de 3% e 6% podem atingir um ponto de saturação em termos de ganho de resistência após o terceiro dia de cura.

Comparando então a adição de 9% com o solo de referência temos um ganho de resistência média de aos 3 dias de 610% e aos 7 dias um ganho de 866% sendo assim, tecnicamente viável a aplicação deste método de melhoramento para o solo residual de basalto para uso em distintos meios da engenharia.

REFERÊNCIAS

_____. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 2016.

_____. **NBR 7182**: Ensaio de Compactação. 2016

_____. **NBR 12253**: Solo-cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento – Procedimento. 2012.

AZEVEDO, C. A. *et al.* **Melhoramento de Solos com Cimento Portland: uma revisão.**

- Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica na Região Centro Oeste, Brasília/DF, 2019. <http://geocentro2019.com.br/>
- BRAUS, G. B. **Uso de Solo-Cimento em solos Argilosos para Pavimentação**. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 20., 2020, Campinas, São Paulo. <https://doi.org/10.4322/cobramseg.2022.0022>.
- CATTON, Miles D. **Soil-cement Technology - a Résumé**. Bulletin 136. Research Department, Portland Cement Association, 1962.
- CRUZ, M. L.; JALALI, S. **Melhoramento do desempenho de misturas de solo-cimento com recurso a ativadores de baixo custo**. In Revista Geotecnia, 2010, n. 120. p. 49-64.
- FOPPA, D. **Análise de Variáveis-Chave no Controle da Resistência Mecânica de Solos Artificialmente Cimentados**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.
- HABIBA, A. **A Review on Different Types Soil Stabilization Techniques**. *International Journal of Transportation Engineering and Technology*. Vol. 3, No. 2, 2017, pp. 19-24. doi: 10.11648/j.ijtet.20170302.12.
- HAN, J. **Principles and Practice of Ground Improvement**. John Wiley & Sons, 417. 2015. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- INGLES, O. G.; METCALF, J. B. **Soil stabilization: principles and practices**. Sydney: Butterworths, 1972.
- JONAH, A. S. *et al.* **Strength and Hydraulic Conductivity of Cement and By – Product Cementitious Materials Improved Soil**. *International Journal of Applied Engineering Research* ISSN 0973-4562 Volume 13, Number 10 (2018) pp. 8684-8694. <http://www.ripublication.com/>
- JUNIOR, T. F. S. *et al.* **Comportamento mecânico e durabilidade de um solo coesivo friccional típico do Rio Grande do Sul/Brasil melhorado com cimento Portland**. Dissertação (Pós-graduação Engenharia) – Programa de pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av Osvaldo Aranha 99-3 andar, Porto Alegre, Rs 900035-190. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2022.100751>
- OLIVEIRA, A. L. **Estabilização do solo com adição de cimento para fins de pavimentação em vias debaixo volume de tráfego**. In: Revista de Engenharia e tecnologia V.15, N .1, 2023.
- PAIVA, C. E. L.; OLIVEIRA, P.C.A. DE. **Análise das propriedades da base de solo cimento deteriorada para fins de reciclagem profunda de pavimentos**. In: Congresso Rodoviário Português, 7., 2013, Lisboa. Anais... Lisboa: Centro Rodoviário Português, 2013. p. 01-10.
- PINHEIRO, C. G. Silveira. **Estabilização d solo sedimentar contaminado através de cimento alcalinos aplicados com recurso a técnica de *Deep Soil Mixing***. 2022. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de doutorado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. Porto, Portugal.
- ROJA, J. W. José. **Ciência do Pampa: Estabilização de Solos**. Universidade Federal do Pampa Campus Caçapava do Sul, 2015.
- SANTOS, Roberta de Souza *et al.* **Análise da aplicação de cinzas de café arábica na produção de blocos de solo-cal**. 2020.

Análise da evolução dos produtos energéticos líquidos usados como combustíveis no setor de transporte no Brasil - tendências

Analysis of the evolution of liquid energy products used as fuels in the transportation sector in Brazil - trends

Maria Luiza Arias de Lemos

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro – RJ. <http://lattes.cnpq.br/9488871455510638>

Gisel Chenard Díaz

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro – RJ. <http://lattes.cnpq.br/0508124357020553> ou ID Orcid 0000-0002-3892-1556

Yordanka Reyes Cruz

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro – RJ. <http://lattes.cnpq.br/2484115263109864> ou ID Orcid 0000-0002-2309-3698

Rene Gonzalez Carliz

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro – RJ. <http://lattes.cnpq.br/0672946757410567>

Donato Alexandre Gomes Aranda

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro – RJ. <http://lattes.cnpq.br/9833601447849479> ou ID Orcid 0000-0002-5736-4118

RESUMO

O Brasil tem implementado diversas iniciativas visando a diversificação da matriz energética, buscando ampliar o uso de energias renováveis. No presente trabalho, analisou-se a evolução dos produtos energéticos líquidos usados como combustíveis no setor de transporte no Brasil e suas tendências. Para tal, foi realizada uma revisão da literatura especializada. Nesse contexto, foi analisada no período de 2012 – 2022 a evolução da produção e da venda, importação e exportação e infraestrutura de produção e distribuição no país dos seguintes produtos energéticos líquidos: gasolina A, gasolina de aviação, etanol anidro, etanol hidratado, biodiesel, diesel, óleo combustível e querosene de aviação.

Palavras-chave: energéticos líquidos. biodiesel. diesel. etanol. gasolina.



ABSTRACT

Brazil has implemented several initiatives aimed at diversifying its transport energy matrix and expanding the use of renewable energies. This work sought to analyze the evolution of liquid energy products used as fuels in the transport sector in Brazil and their trends. To this end, a review of the specialized literature was carried out. In this context, the evolution of production and sales, imports and exports, production and distribution infrastructure in Brazil of the following liquid energy products were analyzed in the period 2012 - 2022: Gasoline A, aviation gasoline, anhydrous ethanol, hydrated ethanol, biodiesel, diesel, fuel oil and aviation kerosene.

Keywords: liquid energy. biodiesel. diesel. ethanol. gasoline.

INTRODUÇÃO

O setor de transporte é fundamental para o desenvolvimento econômico e social de determinada região, pois proporciona o escoamento da produção a mercados consumidores antes restritos em função das distâncias entre os pontos de produção e consumo, além de mobilidade e acessibilidade para a população. Contudo, é altamente dependente de combustíveis fósseis provenientes de fontes não-renováveis e que contribuem diretamente para o aumento dos índices de poluição atmosférica e emissão de gases de efeito estufa. A partir do ano 2010 aproximadamente 62% do consumo mundial dos derivados de petróleo foi empregado nas atividades de transporte (IEA, 2022). No Brasil, neste mesmo ano, o percentual foi de 53%, o equivalente a $53,75 \times 10^6$ tep (EPE, 2022). Assim, alcançar um patamar de consumo energético eficiente torna-se importante, tanto do ponto de vista econômico, quanto do social e ambiental.

A evolução do consumo de combustíveis líquidos no setor de transportes representou em torno de 74% do consumo de combustíveis líquidos no Brasil em 2004, e tal quadro não deverá se reverter até 2030. A tendência é que, em 2030, aproximadamente 77% da demanda total de combustíveis líquidos se destinem ao setor de transportes. O óleo diesel, a gasolina, o álcool e o querosene representaram 95,7% do consumo no setor de transportes em 2004 e deverão representar 94,4% em 2030 (PNE, 2030).

As perspectivas da oferta de combustíveis líquidos derivados de petróleo em relação ao desenvolvimento tecnológico da indústria do refino de petróleo, através da introdução de novos processos de conversão, subseqüentes à destilação primária, permitiu que a produção de derivados, inicialmente em proporções fixas, se adaptasse à necessidade de processar diferentes tipos de petróleo e atender à demanda por derivados com características específicas de qualidade e quantidade. O craqueamento catalítico tem sido, por muitos anos, a principal unidade de conversão da refinaria, em função de melhorias contínuas em seu projeto mecânico, assim como nos catalisadores empregados. Produz principalmente GLP e gasolina (PNE, 2030).

Os processos de tratamento, como o HDT, ganharam importância principalmente na década de 80, com a intensificação das regulamentações ambientais em todo o

mundo, especialmente nos Estados Unidos. Por meio do uso de hidrogênio, são retirados contaminantes, tais como enxofre e nitrogênio, dos derivados que devem ser tratados para atender às legislações ambientais.

Considerando as atuais demandas internacionais pela redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), uma alternativa apontada para mitigar as emissões do setor de transportes foi o aumento do uso de biocombustíveis em substituição aos combustíveis tradicionais (gasolina e diesel de petróleo). Em termos relativos a outras nações produtoras de biocombustíveis, como os Estados Unidos, o Brasil se consolidou como o maior país produtor e exportador de biocombustíveis da história recente (Nuñez, Önal & Khanna, 2013).

A existência de políticas públicas voltadas para o incentivo da produção e uso de biocombustíveis no Brasil é observada desde a década de 70, com o Programa Nacional do Álcool (Proálcool). Inicialmente, o Proálcool surgiu como uma tentativa do governo brasileiro de amenizar a então forte dependência brasileira das importações de petróleo e foi implementado, com sucesso, ao longo de quatro décadas. De acordo com o estudo feito pela Embrapa (Soares, *et al.*, 2009); (Embrapa/Mapa, 2005), a utilização de etanol a partir da cana de açúcar é particularmente interessante porque pode reduzir de 70 a 90% das emissões dos GEE em comparação com o uso de gasolina. Outras fontes de etanol como beterraba e milho, podem reduzir as emissões de 30-50% e 20-50% respectivamente. O gás natural veicular (GNV) também foi outra inovação que surgiu no final dos anos 80 como alternativa extra de combustível para veículos leves. Entretanto, este último não obteve o mesmo sucesso e adesão do etanol visto que tem baixa eficiência e ainda é necessário pagar pela instalação de um kit de conversão de GNV. Atualmente é considerada a nova especificação da gasolina C no Brasil (conforme Resolução ANP nº 807/2020), com a manutenção do limite máximo de teor de enxofre de 50 ppm ao longo do decênio em estudo. Ademais, adotou-se o percentual atual de etanol anidro na mistura, de 27% para a gasolina C comum e de 25% para a gasolina C premium, conforme Portaria MAPA nº 75/2015 (Zavarise *et al.*, 2021).

Em 2004, foi lançado o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), visando incluir o biodiesel na matriz energética nacional. Entre os objetivos, dois deles são aumentar os componentes renováveis na nossa matriz energética e reduzir os problemas ambientais e de saúde ocasionados devido à combustão do óleo diesel. O biodiesel é misturado ao óleo diesel comum ou aditivado para ser utilizado em determinados veículos leves, caminhões, tratores, ônibus, entre outros. O percentual de biodiesel na mistura foi definido conforme Lei nº 13.263, de 23 de março de 2016 e pela Resolução CNPE nº 25/2021 em 10% em volume, a partir de outubro de 2021, e permaneceu neste valor ao longo de todo o ano de 2022. Em abril de 2023, este percentual foi elevado para 12% (B12). Sua produção foi de 6,3 bilhões de litros, uma queda de 7,5% em relação ao ano anterior (Zavarise *et al.*, 2021).

O biodiesel pode ser produzido a partir de diversas matérias-primas, tais como óleos vegetais, gorduras animais, óleos e gorduras residuais, por meio de diversos processos. Pode, também, ser usado puro ou em mistura de diversas proporções com o diesel mineral. De modo geral, pode-se afirmar que o biodiesel é um produto comercial. O custo não é competitivo com o diesel mineral, mas há contínuo avanço das tecnologias para a produção.

Simplificando, os processos para conversão de óleos vegetais em combustíveis podem usar transesterificação ou craqueamento. A transesterificação, por sua vez, pode empregar catalisadores alcalinos, ácidos ou enzimáticos, e etanol ou metanol. Com as tecnologias atuais, pode-se concluir que a transesterificação alcalina é a rota mais interessante, embora haja desenvolvimentos em processos térmicos. A transesterificação etílica, apesar de mais complexa que a rota metílica, poderá atingir níveis equivalentes de qualidade. A matéria-prima é importante na decisão sobre o uso de catálise ácida ou básica (PNE, 2030).

Em relação ao mercado mundial de biocombustíveis, o Brasil ocupa atualmente a terceira posição mundial em produção e consumo de biodiesel, atrás dos Estados Unidos e Alemanha, e o segundo lugar na produção e consumo de etanol, atrás apenas dos Estados Unidos (Xavier, 2007). A mais recente política de Estado para biocombustíveis, a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), foi lançada em 2017 (Martinelli & Filoso, 2008; Ramos *et al.*, 2019).

O processo H-bio foi desenvolvido para inserir o processamento de matéria-prima renovável no esquema de refino de petróleo e permitir a utilização das instalações já existentes. O óleo vegetal ou animal é misturado com frações de diesel de petróleo para ser hidroconvertido em Unidades de Hidrotratamento (HDT), que são empregadas nas refinarias, principalmente para a redução do teor de enxofre e melhoria da qualidade do óleo diesel. O processo envolve uma hidroconversão catalítica da mistura de frações de diesel e óleo de origem renovável, em um reator de HDT, sob condições controladas de alta temperatura e pressão de hidrogênio. Assim, o óleo vegetal é transformado em hidrocarbonetos parafínicos lineares, similares aos existentes no óleo diesel de petróleo. Esses compostos contribuem para a melhoria da qualidade do óleo diesel final, destacando-se o aumento do número de cetano, que garante melhor qualidade de ignição, e a redução da densidade e do teor de enxofre. O benefício na qualidade final do produto é proporcional ao volume de óleo vegetal usado no processo (PNE, 2030).

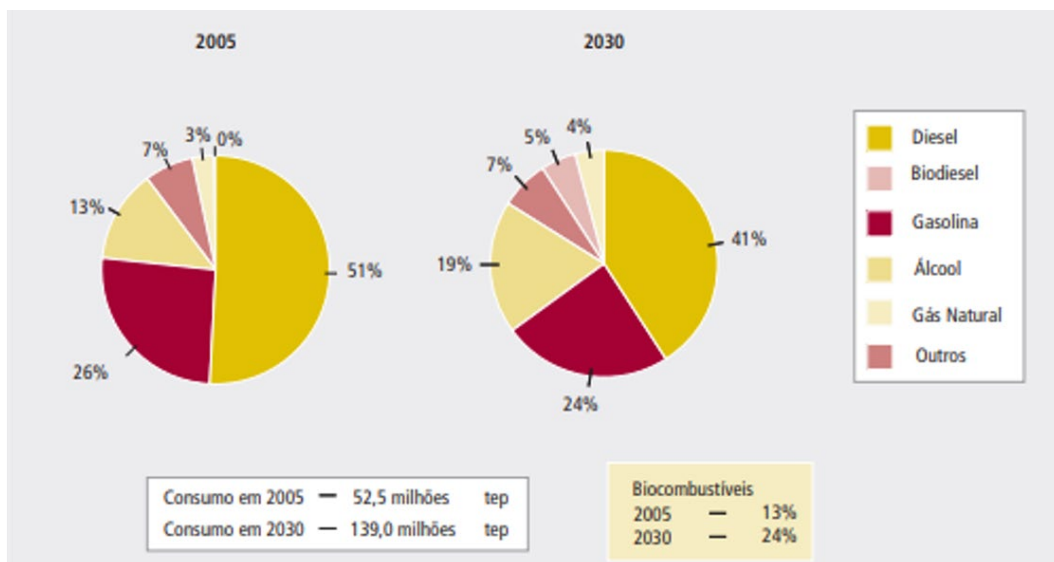
No Brasil, os produtos especificados para uso em aeronaves são (de acordo com a Resolução ANP nº 779/2019): a gasolina de aviação (GAS ou AVGAS), o álcool etílico hidratado combustível (AEHC ou Etanol Hidratado Combustível), o querosene de aviação (QAV) e as misturas entre bioquerosene de aviação e QAV. O bioquerosene de aviação pode ser utilizado em mistura com o QAV fóssil, desde que obedecendo aos parâmetros e percentuais estabelecidos pela ANP. A Resolução ANP nº 778/2019 determina que o QAV alternativo (são cinco os QAV alternativos definidos no Brasil, os quais diferem entre si de acordo com o processo empregado na sua obtenção), poderá ser adicionado ao QAV-1 para o consumo em turbinas de aeronaves até o limite máximo de 50 % em volume no caso do SPK-FT, SPK-HEFA, SPK/A e SPK-ATJ, e até o limite de 10 % no caso do SIP. Além disso, proíbe a adição de mais de um tipo de QAV alternativo ao QAV-1, bem como a misturas de diferentes tipos de QAV-C (mistura de QAV alternativo + QAV-1), sendo vedada a importação de QAV-C, segundo a Resolução ANP nº 779/2019 (Gutiérrez-Antonio *et al.*, 2015; Farah, 2013; Resolução ANP nº 778/2019; Resolução ANP nº 779/2019).

O balanço de destilados médios previu que o país deixará de ser importador para ser exportador de derivados médios (óleo diesel e querosene) em 2015, voltando apenas em 2030 a ser importador dos mesmos, sendo que tais importações não representarão

5% da demanda total. Com relação ao óleo combustível, o país apresenta um histórico de exportações do produto e tende a continuar, em média, exportador do mesmo, podendo ocorrer importações pontuais em 2015 e 2030, que não chegam a representar 10% do total demandado. Com relação à gasolina, o país apresenta excedentes do produto que são exportados e tal tendência deverá se manter futuramente. Parte-se do princípio de que a gasolina produzida terá boa qualidade para exportação, uma vez que as refinarias que deverão entrar em operação estarão equipadas com unidades de reforma catalítica para adequar a sua octanagem e hidrotreatamento para reduzir o teor de contaminantes (PNE, 2030). Possíveis importações do produto, em 2030, poderão ser substituídas pelo etanol, considerando-se amplo crescimento de uso de automóveis flex fuel.

A Figura 1 apresenta a evolução da participação dos biocombustíveis no setor de transportes. Pode-se observar que a participação do álcool aumenta de 13 para 19% e a do biodiesel aumenta de 0 para 5%. Assim, a participação dos biocombustíveis atinge 24% do consumo total do setor de transportes, revelando um aumento expressivo da sua importância para o setor. (PNE, 2030).

Figura 1 - Participação dos biocombustíveis no consumo do setor de transportes.



O aumento de produção dos biocombustíveis ocorre por meio da expansão da área agrícola e do desenvolvimento tecnológico, que inclui novas variedades de cana-de-açúcar e oleaginosas e novas tecnologias de produção, como a produção de etanol a partir da hidrólise da biomassa. A demanda crescente por biocombustíveis no mercado internacional e a maior abertura dos mercados fazem com que o Brasil se torne um grande exportador de etanol e abrem a possibilidade da exportação de biodiesel. Estima-se que a produção de etanol aumenta de 16 para 62 milhões de m³, com investimentos da ordem de R\$60 bilhões no horizonte considerado. A produção de biodiesel, por sua vez, chega a 9,64 milhões de toneladas, resultado de um investimento de mais de R\$15 bilhões (EPE, 2022; PNE, 2030).

O mercado brasileiro de combustíveis líquidos iniciou 2022 com resultados positivos, com aumento de 2,2% nos meses de janeiro a abril em relação ao mesmo período do ano anterior. Esse crescimento tem sido alavancado principalmente pelas vendas de óleo diesel, gasolina C e querosene de aviação (EPE, 2023). A demanda seguirá sua trajetória de recuperação ao longo de 2023, retornando aos níveis de 2019 devido, em grande parte,

ao aumento dos preços e às mudanças nas expectativas de crescimento econômico. O crescimento em 2022 foi de 0,8% nas vendas de óleo diesel, de 0,2% nas vendas de gasolina C, de 2,0% nas vendas de etanol hidratado, de 21% nas vendas de QAV. Para os combustíveis do ciclo Otto, considera-se que a tendência de crescimento da mobilidade urbana no Brasil se manterá no curto prazo. Estima-se, ainda, uma perda gradual de participação da gasolina para o etanol hidratado no mix de combustíveis ao longo deste ano. No setor de aviação tem sido prejudicado pelo aumento dos preços, desvalorização do real e menores previsões de crescimento e emprego. Esses pontos afetam principalmente os voos internacionais, sendo que os nacionais devem atingir os níveis até o final de 2023 (EPE, 2023).

Neste contexto, no trabalho realizou-se, o análise da evolução dos produtos energéticos líquidos usados como combustíveis em transporte no Brasil e suas tendências, tendo em conta as perspectivas para o mercado Brasileiro de Combustíveis no Curto Prazo em relação as projeções de venda, importação e exportação, assim como, também infraestrutura de produção e distribuição dos seguintes produtos energéticos líquidos: Gasolina A, gasolina de aviação, etanol anidro, etanol hidratado, biodiesel, diesel, óleo combustível e querosene de aviação.

METODOLOGIA

No presente estudo foi adotada a metodologia de pesquisa descritiva, uma vez que o tema proposto já é bastante difundido e conhecido, cabendo ao trabalho revisá-lo e proporcionar um melhor entendimento do atual cenário sobre a evolução dos produtos energéticos líquidos usados como combustíveis em transporte no Brasil e suas tendências, tendo em conta as perspectivas para o mercado Brasileiro de Combustíveis no curto prazo em relação as projeções de venda, importação e exportação, assim como, também infraestrutura de produção e distribuição dos seguintes produtos energéticos líquidos: gasolina A, gasolina de aviação, etanol anidro, etanol hidratado, biodiesel, diesel, óleo combustível e querosene de aviação. Para isso, foi usada a técnica de revisão bibliográfica, utilizando gráficos e tabelas com dados resumidos.

As principais fontes para a pesquisa bibliográfica foram: artigos científicos e dissertações, com foco nas plataformas de pesquisa, como a revista científica Elsevier e Google Acadêmico, plataformas governamentais, sites de notícias, relatórios estatísticos, documentos legais, como leis, regulamentos, decretos, portarias, e normas técnicas de sites como o da Agência Nacional de Petróleo - (ANP), *Empresa de Pesquisa Energética* - (EPE), *International Energy Agency* – (IEA) entre outros.

RESULTADOS

Evolução da produção e venda de produtos energéticos líquidos no Brasil (2012 a 2022)

A análise inclui os seguintes produtos: gasolina A, gasolina de aviação, etanol

anidro, etanol hidratado, biodiesel, diesel, óleo combustível e querosene de aviação. Neste período as vendas de energéticos cresceram 0,8% ao ano, enquanto o PIB do país cresceu 0,52% ao ano (IBGE, 2023).

Nos últimos 10 anos para atender esta demanda a produção interna aumentou 0,8% ao ano da seguinte forma: Refinarias (-0,2% ao ano), centrais petroquímicas (5,9% ao ano), formuladores (17,3% ao ano), produção de produtos origem bio (3,3% ao ano). Este crescimento resultou na seguinte participação da produção em 2022: Refinarias (70,6%), centrais petroquímicas (1,0%), formuladores (0,8%), produção de produtos origem bio (27,5%) ver na Tabela 1. O desequilíbrio entre demanda e produção interna de diferentes produtos interna gerou importações que aumentaram 2,6% ao ano e exportações que aumentaram 9,6% ao ano (Tabelas 2 e 3), onde se destaca importação de óleo diesel e exportação de óleo combustível.

Durante este período, enquanto a produção de óleo diesel (refinarias, centrais petroquímicas e formuladores) ficou estável, a demanda interna cresceu 1,2% ao ano. Isto acarretou que em 2022 a importação do diesel fosse 72,2% das importações de energéticos (Tabela 3), ação necessário para atender 28% das vendas de diesel no mercado interno.

Já a produção de óleo combustível cresceu 3,0% ao ano, a demanda interna caiu 7,1% fato que gerou um aumento grande da exportação deste produto que atende as demandas internacionais. Este aumento da exportação está associado a demanda mundial de transporte marítimo e a qualidade do óleo combustível brasileiro que tem um teor baixo de enxofre < 1%, quando a média mundial tem 2,5% de enxofre (MME, 2023). Apesar desta situação de desequilíbrio para alguns produtos entre produção e demanda, a participação dos biocombustíveis energéticos líquidos na venda de energéticos líquidos passou de 17,6% em 2012 para 25,8% em 2022. Uma simulação em 2022 mostrou que se a participação do biodiesel no diesel fosse 12% a dos biocombustíveis nas vendas de energéticos líquidos seria de 26,8% (Tabela 1).

Tabela 1 - Estatística de energéticos líquidos utilizados no setor de transporte.

Estatísticas de energéticos líquidos utilizados para transporte	2012	2016	2020	2022	Taxa anual de crescimento (2022/2012)	Simulação 2022 para uma participação de biodiesel de 12%
Total da produção de energéticos produzidos por refinarias, centrais petroquímicas, biorefinarias e formuladores (mil m3)	118.426	112.935	125.316	134.327	0,8%	135.591
Total de energéticos produzidos nas refinarias (mil m3)	90.926	89.234	84.494	95.147	-0,2%	95.147
Total de energéticos produzidos nas centrais petroquímicas (mil m3)	807	1.185	1.247	1.384	5,9%	1.384
Total de energéticos produzidos por outros produtores (formuladores) (mil m3)	217	21	442	794	17,3%	794
Total de energéticos produzidos de origem bio utilizados para transporte (mil m3)	26.476	32.496	39.133	37.002	3,3%	38.267
Participação dos produtos energéticos produzidos nas refinarias	76,7%	72,6	67,3%	70,6%		69,9%
Participação dos produtos energéticos produzidos nas centrais petroquímicas	0,7%	1,0%	1,0%	1,0%		1,0%
Participação dos produtos energéticos produzidos por outros produtores (formuladores)	0,2%	0,0%	0,5%	0,8%		0,8%
Participação dos produtos origem bio produzidos nas biorefinarias	22,4%	26,4%	31,2%	27,5%		28,2%
Total venda de energéticos (mil m3)	116.751	122.038	118.158	129.669	0,8%	129.669

Total de energéticos vendidos de origem bio (mil m3)	20.585	30.000	35.827	33.472	5,5%	34.737
Participação % dos produtos de origem bio nas vendas	17,6%	24,6%	30,3%	25,8%		26,8%

Fonte: Agência Nacional de Petróleo – Dados estatísticos (ANP, 2023)

Tabela 2 - Análise da importação de energéticos líquidos utilizados no setor de transporte.

Análise da importação de energéticos líquidos utilizados no transporte	2012	2016	2020	2022	Taxa anual de crescimento (2022/2012)	Simulação 2022 para uma participação de biodiesel de 12%
Produtos energéticos importados (mil m3)	14.186	13.017	17.391	22.071	2,6%	20.806
Relação de produtos energéticos importados / produção de energéticos	12,0%	10,6%	13,9%	16,4%		
Relação volume de diesel importado / total de importação de produtos energéticos	56,2	60,8%	69,0%	72,2%		70,5%
Relação do volume de diesel importado / venda total de diesel no mercado interno	14,3%	14,6%	20,9%	25,2%		23,2%

Fonte: Agência Nacional de Petróleo – Dados estatísticos (ANP, 2023)

Tabela 3 - Análise da exportação de energéticos líquidos utilizados no setor de transporte.

Exportação: Análise para energéticos líquidos utilizados em transporte	2012	2016	2020	2022	Taxa anual de crescimento (2022/2012)
Produtos energéticos exportados (mil m3)	17.559	12.294	19.251	19.670	9,6%
Relação de produtos energéticos exportado / produção total de energéticos	14,8%	10,0%	15,4%	14,6%	
Relação volume de óleo combustível exportado / total de exportação de produtos energéticos	41,5%	26,6%	67,0%	75,5%	
Relação volume de produtos origem bio / total de exportação de produtos energéticos	20,4%	14,3%	13,9%	12,4%	
Produção de óleo combustível na refinaria / produção total das refinarias	11,7%	10,4%	16,0%	15,4%	
Óleo combustível exportado / produção de óleo combustível	53,2%	28,4%	74,9%	80,9%	
Etanol exportado / produção total de etanol	15,0%	6,1%	8,2%	7,9%	

Fonte: Agência Nacional de Petróleo (ANP) – Dados estatísticos (ANP, 2023)

Em 2022, o óleo combustível e o etanol foram responsáveis por 75,5% e 12,4%, respectivamente, das exportações de energéticos líquidos utilizados em transporte.

Foi exportado 80,9% da produção de óleo combustível. O médio e longo prazo está exportação de óleo combustível esteve mantida ou reduzida, já que, o transporte marítimo a nível mundial busca soluções para reduzir a emissão de gases poluentes, pois em 2021 foi responsável por 2% da emissão de CO₂. Segundo a International Energy Agency (IEA, 2022), em 2021, 99% da energia usada em transporte marítimo era feito usando combustível fóssil. Para 2030, se projeta que somente 86% da energia utilizada será de origem fóssil. Estima-se que biocombustíveis, amônia e hidrogênio participarão em 7%, 6% e 1% respectivamente (IEA, 2023). Experiências estão sendo realizadas ao redor do mundo e no Brasil: A Bunker One assinou uma parceria com a Universidade do Rio Grande do Norte para desenvolver um projeto para adicionar 7% de biodiesel no combustível marítimo (c); A Petrobras está fazendo uma experiência em um navio da Transpetro (90% de óleo bunker e (10% de biodiesel) (Epbr, 2023).

Foi exportada 8% da produção de etanol. A ação é uma saída para investimentos antecipados à demanda de mercado interno. Este caminho poderá ser uma opção para o biodiesel (analisado no item 3.2.1.1), cuja capacidade de produção é maior que a demanda. O ideal seria que este desequilíbrio entre produção e demanda seja preenchido por produtos com baixa emissão de carbono como: Energéticos Líquidos (diesel verde, biodiesel, SAF - sustainable aviation fuel, hidrogênio e veículos elétricos ou híbridos).

Infraestrutura de produção e distribuição de produtos energéticos líquidos no Brasil

A produção de combustíveis fósseis está concentrada na costa brasileira e a produção de biocombustíveis está mais concentrada no interior.

Biocombustíveis

A produção de biocombustíveis tem apresentado um crescimento nos últimos 10 anos, superior ao PIB brasileiro. A Região Centro-Oeste surpreende com a maior taxa de crescimento, conforme será visto nos itens 3.2.1.1 e 3.2.1.2.

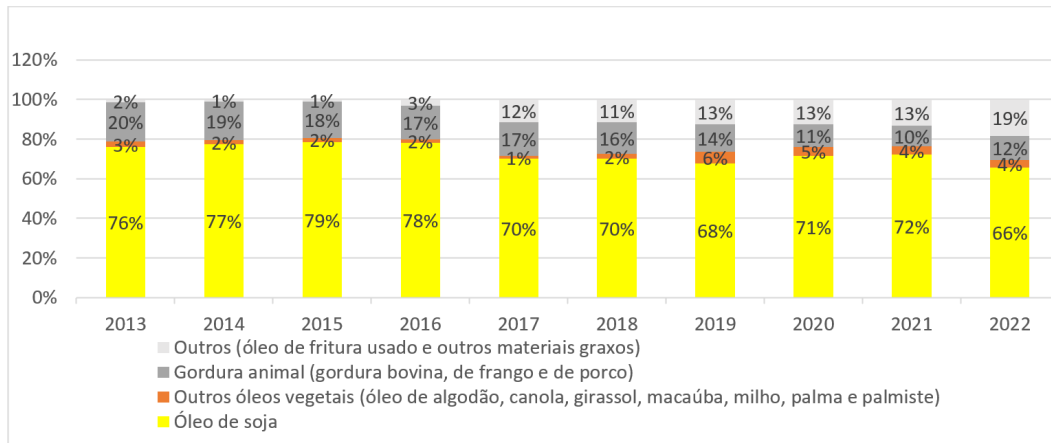
Biodiesel (B100)

No final de 2022 haviam 58 plantas de biodiesel, com capacidade total de 37,4 mil m³/dia ou 13.661 mil m³/ano (ANP, 2023). Em 2022, o mercado interno consumiu 6.323 mil m³ de biodiesel e houve uma produção de 6.255 mil m³ (ANP, 2023), utilizando 46% da capacidade instalada. Atualmente, existe capacidade instalada para suportar o crescimento da demanda do diesel e o aumento do percentual de biodiesel.

Nos últimos 10 anos a produção do biodiesel cresceu 8,7% ao ano enquanto o PIB cresceu 0,52%. Isto confirma uma tendência de crescimento deste biocombustível.

Dentre as 58 plantas vale destacar que 14 plantas são responsáveis por 50% da capacidade instalada. Estas plantas tem uma capacidade média de 635 mil m³/ano (ANP, 2023). Até o momento não existem dutos para transportar biodiesel, apesar de 39% e 37% da capacidade instaladas, estarem instaladas nas Regiões Centro - Oeste e Sul.

Na Figura 2 mostram-se as matérias primas utilizadas para a produção de Biodiesel (B100), onde se destaca o crescimento de outras matérias primas. No entanto, o óleo de soja que há 10 anos representava 77% da matéria prima utilizada, ainda em 2022 continua sendo a matéria prima mais consumida (66%).

Figura 2 - Matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel.

Fonte: Anuário Estatístico Brasileiro de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis de 2023 produzido pela ANP (ANP, 2023)

Na Figura 2 constata-se que ao longo dos anos houve um crescimento na utilização de óleo de fritura usado e de outros materiais graxos. Existe uma constante procura por matérias primas mais baratas e que não sejam comestíveis. Um exemplo é a Usina de biodiesel Oleoplan que instalou em 2022, no município de Tomé-Açu (Pará), uma planta com capacidade de 288 milhões de litros de biodiesel/ano, utilizando como principais matérias primas borra ácida de palma, resultante do refino do óleo de palma, e sebo bovino (AgenciaPará, 2022).

O relatório da *International Agency Energy (IEA) "Biofuels Analysis"* de setembro de 2022 (g) apresentou o seguinte alerta: Os principais fatores que influenciarão a demanda de biocombustíveis nos próximos anos serão os preços do petróleo, os preços dos biocombustíveis (função de tecnologias e matérias primas) e como os governos avaliarão o papel dos biocombustíveis na obtenção dos objetivos de segurança energética, segurança alimentar e gases de efeito estufa.

Em 2022, se o percentual de biodiesel adicionado no diesel tivesse sido de 12%, o consumo de biocombustíveis líquidos no setor de transporte teria aumentado para 7.587 m³, reduzindo a capacidade instalada subutilizada, que no final de 2022 era de 13.661 mil m³/ano. Até 2022 a exportação de biodiesel era uma saída para o segmento do biodiesel, visto que a demanda interna foi inferior à capacidade de produção.

Etanol

O Brasil em 2022 produziu 30.747 mil m³ de etanol (60% etanol hidratado e 40% etanol anidro). A produção de etanol hidratado se concentrou principalmente na Região Sudeste e Centro-Oeste com 45% e 47% da produção nacional, respectivamente. A produção do etanol anidro ocorreu principalmente na Região Sudeste (56%) e na Região Centro-Oeste (31%). A grande razão da produção de etanol anidro na Região Sudeste é que nesta região está o maior consumo de gasolina C do país.

Nos últimos 10 anos o crescimento da produção de etanol foi de 2,6% ao ano, enquanto o PIB cresceu 0,52%, isto mostra uma tendência de crescimento deste

biocombustível.

Esta tendência de crescimento e otimização da produção com a preocupação com o meio ambiente se confirma com a seguinte situação no final de 2022.

- 15% da produção foi obtida a partir do milho. No futuro a participação de etanol de milho deve aumentar, pois existem 9 plantas em construção na Região Centro-Oeste (UDOP, 2022);
- 2 plantas processando etanol segunda geração (E2G) e 5 plantas em projeto ou construção, lideradas até o momento pela Raízen (OE, 2023);
- Capacidade instalada superior à demanda. Foi exportado 7,6% da produção em 2022;
- Dutos específicos para transporte de etanol no Estado de São Paulo. O duto recebe etanol das usinas do interior em Uberaba (MG), Ribeirão Preto (SP) e Paulínia (SP) e depois distribui o biocombustível para diversos pontos da região metropolitana da capital paulista até Volta Redonda, no Rio de Janeiro (UDOP, 2022).

De acordo com o relatório da IEA “Renewables 2022 – Transport Biofuels”, o Brasil em 2022 foi responsável por 27% da produção mundial de etanol, segundo produtor mundial (i). Este mesmo relatório indica que num cenário conservador o Brasil será responsável por 33% da produção mundial de etanol em 2027. Este resultado está relacionado com investimentos em desenvolvimento.

Produtos de origem fóssil

No ano de 2022, foram produzidos 95.147 mil m³ de produtos energéticos, usados no setor de transporte, e as refinarias foram responsáveis por 70,6% desta produção (Tabela 1).

De acordo com a Tabela 1, a produção de energéticos nas refinarias se manteve praticamente constante nos últimos 10 anos. A demanda por estes derivados será afetada no futuro devido ao crescimento da produção de carros elétricos, crescimento de biocombustíveis, exigências ambientais como material particulado (PM), óxidos de nitrogênio (NOx), monóxido de carbono (CO), sulfeto de hidrogênio (H₂S) e dióxido de enxofre (SO₂) (h). As variáveis citadas devem exigir melhorias ou transformação de algumas refinarias em biorefinarias.

Atualmente (Junho de 2023) o país tem vários produtores, que podem ter sua produção otimizada ou expandida. O Brasil produz petróleo, matéria prima para biocombustíveis e dispõe de tecnologias para produzir os combustíveis líquidos (ver Tabela 4).

Tabela 4 - Produtores de energéticos líquidos no Brasil.

Região	Número de biorefinarias de álcool	Número de biorefinarias de biodiesel	Número de refinarias	Número de centrais petroquímicas	Número de formuladores
Região Centro-Oeste	89	29	0	0	0
Região Nordeste	74	5	4	1	0
Região Norte	5	5	1	0	0
Região Sudeste	226	6	8	1	1
Região Sul	35	13	3	1	0
Total	429	58	16	3	1
Produção de energéticos líquidos em 2022 (mil m3)	30.747	6.255	95.147	1.384	794

Os dados desta tabela foram obtidos nas referências (ANP, 2023)

Obs.: O posicionamento da Região Centro Oeste na produção de biodiesel e etanol poderá gerar novos investimentos em logística para escoar a produção ou vendas de gasolina C e diesel com percentuais diferentes de biocombustíveis nesta Região.

Novos produtos energéticos líquidos que podem ser inclusos na matriz energética do Brasil

Este pensamento está alinhado com a seguinte situação do Brasil em 2022:

- Havia uma frota de 60 milhões de veículos, 25 milhões de motos, 3 milhões e 529 aeronaves comerciais (MT, 2022) (AC, 2020), que usaram derivados do petróleo e biocombustíveis;
- Os biocombustíveis foram responsáveis por 25,8% da demanda de combustíveis líquidos no Brasil;
- De acordo com o relatório da IEA “Renewables 2022 – Transport Biofuels”, o Brasil, em 2022, foi responsável por 22% da produção mundial de biocombustíveis usados no setor de transporte (etanol, biodiesel, diesel renovável e bioquerosene) e será responsável por 25% da produção de biocombustíveis em 2027 num ambiente conservador (IEA, 2022);
- Segundo o IEA, em 2022 91% da energia consumida no sistema de transporte mundial foi produzida à base de derivados de petróleo e o Brasil pode ser um player importante na produção de biocombustíveis (IEA, 2022).

Assim sendo, outros produtos energéticos líquidos com baixa emissão de CO₂, que podem ser utilizados pela frota atual, são o caminho para a redução de emissão CO₂, fundamentalmente diesel renovável e bioquerosene.

Diesel renovável

Até o momento, diesel renovável não é vendido no mercado interno. Em 2022, o mundo deve ter consumido 13.973 mil m³ de diesel renovável, de acordo com o relatório da IEA “Renewables – Transport Biofuels” de 2022 (IEA, 2022).

No Brasil, a especificação do diesel renovável, que é chamado de verde, foi

estabelecida através da resolução ANP N° 842, de 14 de maio de 2021 e as rotas autorizadas são:

- I - Hidrotratamento de óleo vegetal (in natura ou residual), óleo de algas, óleo de microalgas, gordura animal e ácidos graxos de biomassa, bem como de hidrocarbonetos bioderivados pelas microalgas *Botryococcus braunii*;
- II - Gás de síntese proveniente de biomassa, via processo Fischer-Tropsch;
- III - Fermentação de carboidratos presentes em biomassa;
- IV - Oligomerização de álcool etílico (etanol) ou isobutílico (isobutanol);
- V - Hidrotermólise catalítica de óleo vegetal (in natura ou residual), óleo de algas, óleo de microalgas, gordura animal e ácidos graxos de biomassa.

O processo comercialmente mais usado é o processo de hidrotratamento de óleo vegetal (HVO).

A Brasil BioFuels (BBF) investirá R\$ 1,8 bilhão na construção de uma biorrefinaria a ser implantada no Brasil para produção de diesel renovável e SAF. A planta será erguida na Zona Franca de Manaus e a primeira fase do projeto está prevista para entrar em operação em janeiro de 2025. O produto será produzido utilizando como matéria prima óleo de palma. A futura refinaria terá capacidade para produzir 500 mil m³ ao ano. A tecnologia utilizada no projeto é da Topsoe, hidroprocessamento Hydroflex™, para produzir os biocombustíveis e H2Bridge™ para produzir o hidrogênio (Portal do agronegócio, 2023).

Os maiores desafios para produzir diesel renovável são: Aquisição de matéria prima, tratamento de águas residuais, tratamento de resíduos, ajustes de refinarias convencionais quando as mesmas forem utilizadas (Veolia, 2022).

Talvez em algumas áreas a produção de diesel renovável possa ser competitiva quando comparada ao abastecimento de diesel fóssil, que hoje requer importação ou expansão da capacidade das refinarias, bem como logística de distribuição.

Uma utilização interessante para o diesel renovável seria a utilização do mesmo em alguns clientes consumidores, que tem capacidade de armazenagem. Este tipo de experiência já está acontecendo em outros países que querem reduzir a emissão de gases efeito estufa, bem como facilitar o posicionamento de clientes consumidores em mercados que exigem baixa emissão de CO₂.

Atualmente a Petrobras produz na REPAR o diesel R que tem 5% de diesel de origem bio e 95% de diesel fóssil. Este tipo de diesel é obtido pelo coprocessamento de petróleo e óleo vegetal em uma unidade de hidrotratamento (HDT). Está rota de coprocessamento ainda não está na resolução ANP N° 842, de 14 de maio de 2021.

Apesar de não ser considerado um diesel renovável a Petrobras tem outros projetos de coprocessamento e produção de diesel R: Os projetos devem ser implantados nas refinarias de Cubatão (RPBC), Paulínia (REPLAN) e Duque de Caxias (REDUC).

SAF

Até o momento, SAF não é vendido no mercado interno. Em 2022, o mundo deve ter produzido 300 mil m³ de SAF (IATA, 2022).

Os projetos de SAF se justificam por que o transporte aéreo gerou em 2021, 3% das emissões mundiais de CO₂, bem como é responsável por 9% das emissões de CO₂ no segmento de transporte (IEA, 2022).

Segundo a International Air Transport Association (IATA), as companhias aéreas estão comprometidas em atingir zero emissões líquidas de CO₂ até 2050 e veem o SAF como um dos principais contribuintes para atingir este objetivo (p). Para este objetivo ser atingido é necessário pelo menos 450.000 mil m³ de produção de SAF.

No Brasil podemos destacar que:

- Em 2021, foi criado o Programa Combustível do Futuro pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), que visa ampliar, ainda mais, o uso de combustíveis sustentáveis e de baixa intensidade de carbono que inclui alguns itens como: Avaliar condições para introdução de querosene de aviação sustentável na matriz energética brasileira; estabelecer estratégia nacional para uso de combustíveis sustentáveis no transporte marítimo (MME, 2023);
- Em março de 2022, o subcomitê PROBIOQAV do Programa Combustível do Futuro apresentou uma proposta na qual é estabelecido que os operadores aéreos deverão reduzir as emissões de CO₂ em 1%, no mínimo, a partir de 1º de janeiro de 2027, em voos domésticos, usando SAF misturado ao querosene fóssil (ANAC, 2021);
- O Brasil, em outubro de 2022, na 41ª Assembleia da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), firmou compromissos internacionais para a redução das emissões de CO₂ no transporte aéreo internacional (UDOP, 2022). Esta ação está alinhada ao CORSIA (*Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*) que é um programa da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) para a redução e compensação de emissões de CO₂ provenientes dos voos internacionais. Seu objetivo é atingir o crescimento neutro de carbono, ou seja, que as emissões sejam estabilizadas nos níveis observados em 2020, sem que o setor aéreo precise parar de crescer (Epbr, 2022);
- Em dezembro de 2022, o BNDES aprovou financiamento a taxa de 1% ao ano para fomentar projetos de energias renováveis, que inclui SAF e diesel verde. Este subsídio faz parte do subprograma de energias renováveis do Fundo Clima, que presta apoio financeiro às ações de redução de gases do efeito estufa (GEE) e adaptação às mudanças climáticas (Aeroflap, 2022) (UDOP, 2022);

Fatores para administrar ou adaptar

- Desenvolvimento e uso de novos de combustíveis líquidos (diesel renovável

e bioquerosene) para transporte que cheguem ao consumidor final com as especificações exigidas e um custo compatível;

- Equilíbrio entre as diversas opções de combustíveis para que uma não exclua outra. O Brasil tem uma extensão muito grande, disponibilidade de recursos minerais e de origem bio. Dentro deste contexto, podem ser avaliadas soluções locais para o Brasil no segmento de combustíveis usados em transporte;
- Estruturação de uma indústria que colete e trate resíduos para poderem ser transformados em biocombustíveis;
- Analisar a logística de distribuição de combustíveis que tem custo e gera emissão de gases poluentes;
- Analisar o sistema de refino, que em 2022 forneceu 71% (Tabela 1) dos combustíveis usados em transporte;
- Participação do Brasil no mercado de crédito de carbono. Em 2021, o Brasil foi responsável pela oferta de 12% e tem possibilidade de aumentar esta participação (MT, 2022).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil tem condições de ser um grande player no suprimento de produtos, desde que sejam aprovadas políticas que estimulem os produtores a investir em biocombustíveis e melhorar a qualidade dos produtos de origem fóssil.

A evolução deste tema está associada principalmente a condições econômicas e técnicas que permitam que o desenvolvimento da indústria de energéticos líquidos, em conjunto com outras opções de energia, já que:

- Existem várias soluções tecnológicas implantadas, em teste ou em desenvolvimento ao redor do mundo e no Brasil que facilitam a implementação dos biocombustíveis;
- O Brasil tem terras, produção agrícola e experiência em biocombustíveis como álcool e biodiesel;
- Criação do Programa Combustível do Futuro pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE);
- O Brasil pode ser um exportador importante de biocombustíveis. Isto gerará desenvolvimento de tecnologia, empregos e aumento do posicionamento do país no mercado de biocombustíveis que a médio prazo vai crescer, pois o mundo precisa reduzir a emissão de gases poluentes.

O Brasil assinou o Compromisso de Nationally Determinated Contributions (NDC). O Brasil apresentou na COP27 uma NDC com os seguintes compromissos: redução das emissões de gases de efeito estufa em 37% em 2025 e 50% em 2030 comparado às emissões de 2005, almejando alcançar neutralidade de carbono até 2050.

REFERÊNCIAS

- ANP, 2023. **Agência Nacional de Petróleo (ANP)** – Dados estatísticos. Atualizado em novembro-2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-estatisticos>
- ANAC, 2021. **Corsia**. Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation. Disponível em: CORSIA — Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) (www.gov.br)
- AGÊNCIA Pará, 2022. **Fábrica de biodiesel é instalada em Tomé-Açu, com incentivo do Estado**. Disponível em: <https://agenciapara.com.br/noticia/37458/fabrica-de-biodiesel-e-instalada-em-tome-acu-com-incentivo-do-estado>
- AC, 2020 **Aviacaocomercial.net. Ranking – Frota Comercial Brasileira**. Disponível em: <https://www.aviacaocomercial.net/rankingfrotabr.htm>
- AEROFLAP, 2022. **Brasil firma compromisso para aviação sustentável junto à ICAO**. Disponível em: Brasil firma compromisso para aviação sustentável junto à ICAO (aeroflap.com.br)
- EMPRESA de Pesquisa Energética (EPE). **Perspectivas para o Mercado Brasileiro de Combustíveis no Curto Prazo**. Agosto de 2023.
- EMPRESA de Pesquisa Energética (EPE). **Perspectivas para o Mercado Brasileiro de Combustíveis no Curto Prazo**. Junho de 2022.
- EMBRAPA/MAPA, 2005, **Plano Nacional de Agroenergia 2006 - 2011**, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, Brasília, DF, 2005.
- EPBR, 2023. **Petrobras testa combustível marítimo com 10% de biodiesel**. Shell Energy Gas Forum. Disponível em: <https://epbr.com.br/petrobras-testa-combustivel-maritimo-com-10-de-biodiesel/>
- EPBR, 2022. **BNDES libera financiamento de projetos de SAF e diesel verde pelo Fundo Clima**. Disponível em: BNDES vai financiar projetos de SAF e diesel verde via Fundo Clima (epbr.com.br)
- FARAH, M. A. **Petróleo e seus derivados**: Definição, constituição, aplicação, especificações, características de qualidade. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 2013.
- GUTIÉRREZ-ANTONIO, C. *et al.* **Intensification of a hydrotreating process to produce biojet fuel using thermally coupled distillation**. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, v. 88, p. 29-36, 2015.
- IATA, 2022. Disponível em: IATA - October Passenger Demand & Bookings Signal Continuing Recovery
- IBGE, 2023. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. SCNT - Sistema de Contas Nacionais Trimestrais**. Disponível em: www.ibge.gov.br.
- IEA, 2023. **International Energy Agency. Energy-system**. Transport. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/international-shipping>.
- IEA, 2022. **Reports. Renewables**. Transport Biofuel. 2022. <https://www.iea.org/reports/renewables-2022/transport-biofuels>.

IEA, 2022. **Reports biofuels**. 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/biofuels>

IEA, 2022. Disponível em: Transport - Energy System - IEA

MARTINELLI, L. A., & FILOSO, S. Expansion of sugarcane ethanol production in Brazil: environmental and social challenges. *Ecological applications*, 18(4), 885-898, 2008.

MME, 2023. Relatório do Subcomitê Combustíveis Marítimo, Combustíveis do Futuro. Atualizado em junho-2023. Disponível em: www.mme.gov.br.

MT, 2022 Ministério dos Transportes. Disponível em: Frota de Veículos - 2022 — Ministério dos Transportes (www.gov.br)

NUÑEZ, H. M., ÖNAL, H., & KHANNA, M. **Land use and economic effects of alternative biofuel policies in Brazil and the United States**. *Agricultural Economics*, 44(4-5), 487-499, 2013.

OE, 2023 **O Empreiteiro**. Raízen já tem 5 plantas de etanol E2G em obras. Disponível em: <https://revistaoe.com.br/raizen-ja-tem-5-plantas-de-etanol-e2g-em-obras/>

PLANO Nacional de Energia 2030 / Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. v. 10. Combustíveis Líquidos_ Brasília: MME: EPE, 2007.

PORTAL do agronegócio, 2023. **O agronegócio e o combustível do futuro**. Disponível em: O agronegócio e o combustível do futuro - Portal do Agronegócio (portaldoagronegocio.com.br)

RAMOS, R. S., SILVA, G. C., MARTINS, L. S. S., & DE MORAES FILHO, R. M. *To burn or not to burn*. the potential of use and production of biofuels in Brazil. *Ann Agric Crop Sci*, 4(3), e1049, 2019.

RESOLUÇÃO ANP nº 778/2019 ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP nº 778, de 5 de abril de 2019.

RESOLUÇÃO ANP nº 779/2019 ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP nº 779, de 5 de abril de 2019.

SOARES, L. H., & et, al. **Mitigação das Emissões de Gases de Efeito Estufa pelo uso de Etanol da Cana-de-açúcar Produzido no Brasil**. Embrapa, 14p, 2009.

UDOP, 2022 União Nacional da Bioenergia. **Etanol**. Alcoolduto já entrega metade do etanol da Grande S. Paulo. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2022/11/14/alcoolduto-ja-entrega-metade-do-etanol-da-grande-s-paulo.html>

UDOP, 2022 União Nacional da Bioenergia. Diversas. **A expansão do etanol de milho deve chegar a 10 bilhões de l no Brasil**. Disponível em: A expansão do etanol de milho deve chegar a 10 bilhões de l no Brasil (udop.com.br)

VEOLIA, 2022. Disponível em: Energy Transition Deep Dive: Top 6 Challenges Renewable Diesel Producers Face (veolianorthamerica.com)

XAVIER, M. R. **The Brazilian Sugarcane Ethanol Experience**. Washington: Competitive Enterprise Institute, 2007.

ZAVARISE, J. P., Vianna, V. W., Pinotti, L. M., Chaves, G. de L. D., & Celeste, W. C. **Políticas públicas para biocombustíveis líquidos no setor de transporte rodoviário brasileiro**. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 7(2), 95-110, 2021.

Projeto de desenvolvimento de uma célula fotovoltaica DIY

Guilherme Duque Vieira

Graduando em Engenharia Elétrica

Pedro Silva Poubel

Graduando em Engenharia Elétrica

Victor da Silva Santos

Pós-Graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho

Rafael Lima de Oliveira

Mestre em Engenharia Elétrica. <http://lattes.cnpq.br/6212659806406513>

RESUMO

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma célula que possa gerar energia elétrica através da radiação solar. Para alcançar tal desenvolvimento, foi necessário buscar na literatura artigos científicos que esclareçam profundamente o efeito fotovoltaico. Tendo como foco explorar a abundante energia fornecida pelo Sol, visto que, na cidade de Itaperuna-RJ, conta com alto índice de insolação, o que se espera é o aproveitamento dessa energia luminosa fornecida. Para a composição deste artigo, foi dividido suas explicações, começando tratando sobre o tema da crise energética ocorrida no Brasil, para que levasse ao entendimento do assunto em questão. Ao desenrolar da introdução, o tema abordado foi sobre fontes alternativas, a energia solar em si e, por fim, eficiência energética. A partir desse estudo, começou-se o desenvolvimento da célula em laboratório, tratando-se de experimentos como testes para comprovar seu funcionamento. Obtendo resultado positivo do seu funcionamento, foram realizadas outras experiências para obter números, gerando cálculos de sua eficiência e, para testar sua capacidade de geração. O intuito da criação da célula fotovoltaica foi de desenvolvê-la como fonte de alimentação de equipamentos de pequeno porte. Os resultados e os cálculos foram favoráveis ao que se esperava de quando a célula fosse exposta ao sol, concluindo-se assim que a célula trabalhada é apta para alimentar os pequenos equipamentos de acordo com diversos fatores, dentre os mais importantes, se destacam seus componentes e o clima da região, pensando-se também que sua eficiência pode ampliar com o aumento do número de células. O fator de extrema importância a ser considerado é que o sol é uma fonte de energia inesgotável e, mesmo em dias de baixa incidência solar, seria útil para o perfeito funcionamento do equipamento.

Palavras-chave: fotovoltaica. célula. solar. energia. elétrica.

ABSTRACT

The objective of this work is the development of a cell that can generate



electricity through solar radiation. To achieve such development, it was necessary to search the literature for scientific articles that deeply clarify the photovoltaic effect. Focusing on exploring the abundant energy provided by the Sun, since the city of Itaperuna-RJ has a high rate of insolation, what is expected is the use of this light energy provided. For the composition of this article, its explanations were divided, starting with the theme of the energy crisis that occurred in Brazil, so that it led to the understanding of the subject in question. During the introduction, the topic covered was about alternative sources, solar energy itself and, finally, energy efficiency. From this study, the development of the cell in the laboratory began, dealing with experiments such as tests to prove its functioning. Obtaining a positive result from its operation, other experiments were carried out to obtain numbers, generating calculations of its efficiency and, to test its generation capacity. The purpose of creating the photovoltaic cell was to develop it as a power source for small equipment. The results and calculations were favorable to what was expected when the cell was exposed to the sun, thus concluding that the worked cell is able to power small equipment according to several factors, among the most important, its components stand out and the climate of the region, also considering that its efficiency can increase with the increase in the number of cells. The extremely important factor to be considered is that the sun is an inexhaustible source of energy and, even on days of low solar incidence, it would be useful for the perfect functioning of the equipment.

Keywords: photovoltaic. cell. solar. energy. electrical.

INTRODUÇÃO

Segundo Benjamin (2001), a crise energética é um problema que cresceu substancialmente e gerou grande número de desemprego no setor socioeconômico. No final do século XX e início do século XXI o setor energético foi privatizado, gerando uma baixa no departamento de energia, pois, o variado número de ofertas balançou a economia brasileira, estando propensa a vender muito e adquirir pouco retorno financeiro. Considera-se esse período primordial para o eventual desequilíbrio energético sofrido pelo país.

Sobre a crise ocorrida, Goldenberg; Prado (2003) relatam as mudanças ocorridas no setor elétrico naquele tempo:

[...] O setor elétrico sofreu uma rápida e forte reforma, pois apresentava desequilíbrio fiscal. Tanto setores do governo como importantes segmentos da opinião pública acreditavam que uma rápida reforma e a privatização do setor elétrico seriam uma etapa necessária para impulsionar o país na direção da modernização e do processo de globalização.

Episódio marcado na história do país e que demonstra tamanha crise no setor energético nesse tempo foi o “apagão”, onde grandes cidades brasileiras sofreram com queda de energia. Uma falta de planejamento no setor energético e pouco investimento na geração de energia foram os pontos cruciais para o ocorrido. Além disso, contava com um período de escassez de chuva, que conseqüentemente veio a diminuir o nível de água nos reservatórios das usinas hidrelétricas, principal geradora de energia do país (GOLDENBERG; PRADO, 2003).

Figura 1 - Usina Hidrelétrica de Itaipu teve baixa nos reservatórios.

Fonte: CBN

O uso de energias renováveis revigora a matriz energética, visto que é um material inesgotável e, na maioria das vezes, pouco poluente. Tende-se a ser atrativo seu uso quando comparado a outras fontes de energia, tais como: petróleo, gás natural, carvão e urânio, que são utilizados em usinas nucleares. Sua vantagem é justamente devido a sua sustentabilidade, ou seja, além de renovável, gera pouco impacto na natureza. Considerando esses fatos, entende-se que o setor energético tende a avançar com essas fontes alternativas de energia (NASCIMENTO; MENDONÇA; CUNHA, 2012).

Dentre as diversas fontes energéticas, destaca-se a energia solar. Essa fonte pode ser utilizada tanto para energia térmica, quanto para convertê-la em energia elétrica. Seu uso térmico comumente é com fim de aquecer água, em aquecedores solares. Tratando-se de seu aproveitamento elétrico, ocorre através de painéis fotovoltaicos ou em usinas heliotérmicas. A energia solar é considerada uma energia renovável, todavia, uma de suas desvantagens é o alto valor de custo do seu equipamento para possuí-la (CRUZ, 2016).

A conversão de energia solar para elétrica ocorre a partir do efeito fotovoltaico. A radiação incide sobre o painel, que está revestido de materiais semicondutores e de maior absorção de calor, a partir deles será realizada essa conversão. A energia é gerada já em corrente contínua, entretanto, caso seu uso seja necessário em corrente alternada, é utilizado inversores para tal função. Os painéis são formados em um conjunto de células fotovoltaicas que são ligadas entre si (CRUZ, 2016).

Falando em consumo energético, o Brasil, por sua vez, é um país bastante populoso, acarretando, por conta disso, um valor considerado absurdo em consumo diário de energia. Apesar de ser um uso necessário, muito desse valor de consumo é tratado como desperdício. Lâmpadas acesas sem pessoas no local, uso excessivo de ar-condicionado, tomadas ligadas sem fazer uso do equipamento, dentre outros exemplos podem ser citados como desperdício. A eficiência energética é uma medida especificamente criada para combater tal fato (MENKES, 2004).

De acordo com a (PROCEL, 2016) a Lei de Eficiência Energética é a seguinte:

A Lei de Eficiência Energética é o instrumento que determina a existência de níveis mínimos de eficiência energética (ou máximos de consumo específico de energia) de máquinas e aparelhos consumidores de energia (elétrica, derivados de petróleo ou outros insumos energéticos) fabricados ou comercializados no país, bem como de edificações construídas, com base em indicadores técnicos pertinentes e de forma compulsória.

O esperado a partir da aplicação dessa Lei é que haja uma conscientização por parte da população sobre o desperdício de energia. Outrossim, espera-se que viabilize uma maior sustentabilidade por parte da sociedade com o planeta, visto que, a geração da energia elétrica pode causar impactos ao ambiente, principalmente quando é realizada a partir do combustível fóssil, no entanto, quando combustível não fóssil, o impacto, apesar de existente, é pequeno (MENKES, 2004).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O desenvolvimento de células fotovoltaicas DIY (Faça você mesmo) tem crescido em todo o mundo devido ao seu potencial de reduzir custos e tornar a energia solar mais acessível, como uma estratégia inovadora para promover a sustentabilidade energética e democratizar o acesso à energia renovável.

A energia solar é um tipo de energia renovável produzida pelo sol. É considerada uma fonte limpa e sustentável, pois não emite gases de efeito estufa durante a geração de energia. (GÓMEZ *et al.*, 2018)

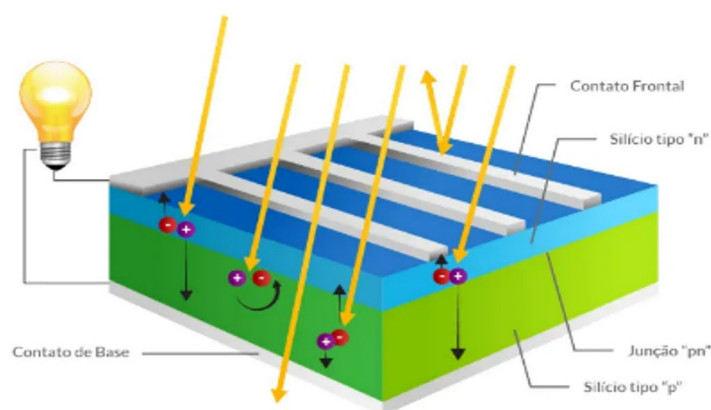
As células fotovoltaicas são dispositivos eletrônicos semicondutores que transformam diretamente a luz solar em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico. Esse efeito ocorre devido às propriedades dos materiais semicondutores utilizados nas células fotovoltaicas. (NASCIMENTO, 2004)

Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica

As células fotovoltaicas são dispositivos semicondutores que utilizam o efeito fotovoltaico para transformar a energia solar em eletricidade. A absorção da luz pelas células provoca a geração de elétrons e lacunas, que, quando separados por um campo elétrico interno, criam uma corrente elétrica contínua. O funcionamento é baseado nos materiais semicondutores, como o silício, que possuem bandas de energia que permitem a absorção e excitação dos fótons. (NASCIMENTO, 2004)

O efeito fotovoltaico é um fenômeno físico no qual a energia luminosa é convertida diretamente em energia elétrica. Esse efeito ocorre em materiais semicondutores, que são usados nas células fotovoltaicas. (MACHADO e MIRANDA, 2014)

Figura 2 - Célula fotovoltaica como representação gráfica do Efeito Fotovoltaico.



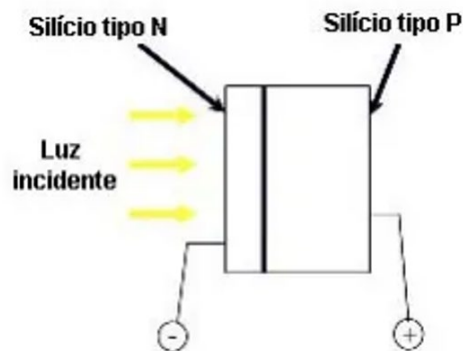
Fonte: Blue sol energia solar (2020)

Os fótons são pequenos pacotes de energia produzidos pela luz solar que entra na célula fotovoltaica. Dependendo de sua frequência, ou comprimento de onda, esses fótons têm uma quantidade de energia específica. (NASCIMENTO, 2004)

A energia gerada pelos fótons é enviada para os elétrons encontrados no material semicondutor da célula fotovoltaica. Ao absorver essa energia, os elétrons se elevam para níveis mais altos, deixando lacunas vazias em suas posições originais. (NASCIMENTO, 2004)

A estrutura da célula fotovoltaica é composta por camadas de P e N, que são áreas distintas do material semicondutor que foram dopadas de maneira diferente. Devido às diferentes concentrações de cargas elétricas positivas (lacunas) e negativas (elétrons) nas duas camadas da célula, ocorre uma variação no potencial elétrico na junção PN da célula. (NASCIMENTO, 2004)

Figura 3 - Estrutura da Célula Fotovoltaica.



Fonte: Nascimento (2004)

A separação das cargas ocorre como resultado da variação do potencial elétrico na junção PN. Enquanto as lacunas são atraídas para a camada P, os elétrons livres são atraídos para a camada N. Como os elétrons e as lacunas são movidos em direções opostas, isso resulta em uma corrente elétrica. (NASCIMENTO, 2004)

A corrente elétrica produzida por cargas separadas pode ser coletada e utilizada para alimentar dispositivos eletrônicos ou armazenada em baterias. Por meio de um circuito elétrico conectado à célula fotovoltaica, a energia elétrica pode ser aproveitada para diversos fins.

Vários fatores, incluindo o material semicondutor usado, a qualidade da junção PN e o design da célula, determinam a capacidade das células fotovoltaicas de transformar a luz solar em eletricidade. (GREENVOLT, 2019)

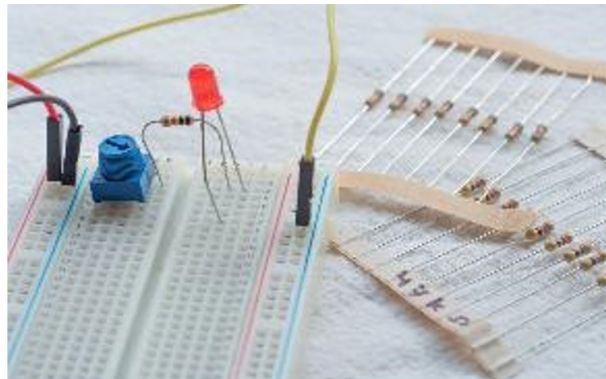
Materiais utilizados

Protoboard

Equipamento que permite a construção e teste de circuitos sem soldagem. É composto por uma grade com furos, por baixo dos quais trilhas metálicas condutoras correm horizontalmente e verticalmente. Normalmente, essas trilhas são feitas de cobre e estão conectadas eletricamente de acordo com um padrão específico. (BLOG

MULTCOMERCIAL,2020)

Figura 4 - Protoboard.



Fonte: Blog mulcomercial (2020)

LED

Light Emitting Diode, em português Diodo Emissor de Luz, é um dispositivo eletrônico capaz de produzir luz através da energia elétrica. É um material semicondutor que, quando uma corrente elétrica passa por ele, emite luz. (MATTEDE, s. d.)

Figura 5 - LED's.



Fonte: Mattede (s. d.)

Capacitor

Componente eletrônico passivo usado para armazenar e liberar carga elétrica. É composto por dois condutores separados por um material isolante chamado dielétrico.

Quando a DDP (Diferença de Potencial - Tensão) é aplicada aos terminais do capacitor, os elétrons se acumulam em uma das placas, enquanto a outra placa fica com uma deficiência de elétrons. Como resultado, há uma carga elétrica armazenada. A capacidade do capacitor, expressa em farads (F), determina a quantidade de carga armazenada. (NASCIMENTO, 2022)

Figura 6 - Capacitores.



Fonte: Nascimento (2022)

METODOLOGIA

O objetivo deste capítulo é a apresentação de como será feito o experimento em laboratório (Laboratório de Circuitos Elétricos, localizado no Centro Universitário Redentor) para que seja testado de forma prática o circuito da célula fotovoltaica DIY. Serão descritos os componentes e os equipamentos usados para a realização do trabalho, bem como, a montagem, as medidas e os testes realizados.

O projeto

Como característica desse projeto, se traz o conceito DIY (*Do It Yourself*), que se traduz como “Faça você mesmo”, ou seja, uma visão da filosofia de resoluções de problemas de forma autoral. Contudo, se trata da montagem de uma célula fotovoltaica de pequeno porte (caseira), utilizando componentes eletrônicos de fácil acesso e baixo custo, em situações de usos emergenciais, as quais podem ocorrer cotidianamente. Trata-se de uma estratégia inovadora, simples e diversificada de forma projetual, na qual se visa a economia de gastos, sustentabilidade socioambiental e desenvolvimento cognitivo (por conta da filosofia aplicada) para elaboração da placa, causando satisfação no ponto de vista pessoal.

O protótipo

A célula se determina por um conjunto de materiais eletrônicos, tais quais serão utilizados:

- LED 10 mm de Alto Brilho, para reter a energia luminosa;
- Capacitor de 220 μF , para armazenar essa energia que há de ser gerada;
- Fios, para unir os componentes;
- Protoboard, para conexão de todos os materiais utilizados no circuito.

A conexão de LED será ligada diretamente no capacitor para que toda energia gerada seja imediatamente armazenada e, do próprio capacitor, será distribuído para o ponto em que fazer-se-a necessário.

Esquemático

Os circuitos, Figuras 7, 8 e 9, projetados no Simulador *ISIS PROTEUS* demonstra o projeto apresentado para comprovação da eficácia do circuito. A montagem dos circuitos é composta por componentes eletrônicos de LED's, conectados em série, paralelo e série paralelo, diretamente ligados a um capacitor de 220 microfarads, que serve para armazenamento da energia elétrica gerada.

Segundo pesquisas, esse circuito é utilizado para ligar relógios, calculadoras e outros dispositivos com baixo consumo de corrente elétrica.

Figura 7 - Circuito Série desenvolvido no Proteus.

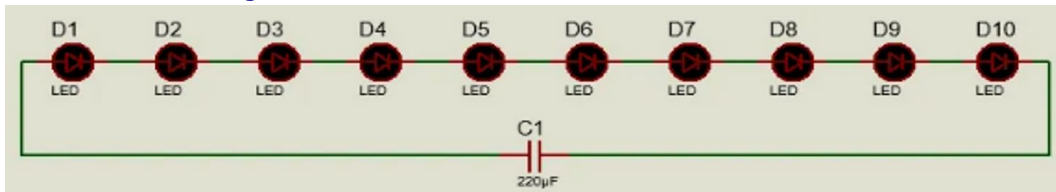


Figura 8 - Circuito Paralelo desenvolvido no Proteus.

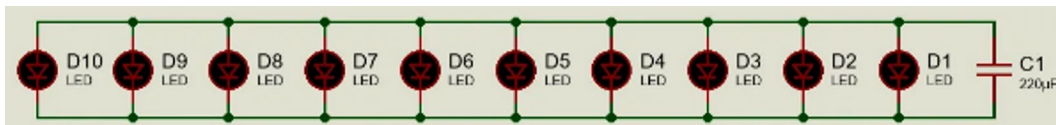
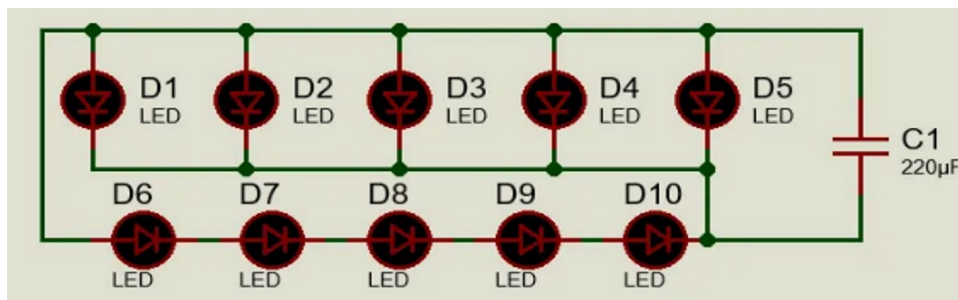


Figura 9 - Circuito Série/Paralelo desenvolvido no Proteus.



DESENVOLVIMENTO

A descrição da montagem de um circuito eletrônico de teste em laboratório é um elemento fundamental para a compreensão e replicação dos experimentos realizados. Este processo envolve a seleção cuidadosa de componentes eletrônicos, tais como resistores, LED's e capacitores, de acordo com os requisitos específicos do teste. A disposição e conexão desses componentes em uma placa de circuito protoboard devem ser meticulosamente documentadas, levando em consideração fatores como oscilações, características de sinal e isolamento de interferências externas. Além disso, é importante descrever a instrumentação utilizada, como multímetros, bem como os procedimentos de calibração e medição. Uma montagem bem documentada e precisa é crucial para garantir a confiabilidade e a reprodutibilidade dos resultados obtidos no contexto de experimentos laboratoriais em eletrônica.

Para realização do circuito, foram realizadas as medições para avaliar os resultados

de acordo com cada forma de ligação, seja ela em série, paralelo ou em série/paralelo. Também foram considerados as cores dos componentes de LED's, no qual utilizou-se amarelo, azul, branco, verde e vermelho. Em determinado momento, também foi preciso realizar a retirada do capacitor para avaliar a oscilação de energia gerada.

O circuito foi montado na protoboard e foram feitos os seguintes conjuntos de medições:

- Cinco circuitos de 10 LED's de alto brilho, dispostos em série, paralelo e série/paralelo, como demonstrado nas imagens abaixo, cada um com um espectro de emissão diferente em ambiente interno do laboratório, a protoboard é disposta rente ao plano e com carga;
- Cinco circuitos de 10 LED's de alto brilho, dispostos em série, paralelo e série/paralelo, como demonstrado nas imagens abaixo, cada um com um espectro de emissão diferente em ambiente externo, a protoboard é disposta rente ao plano e com carga;

Figura 10 - Circuito Série.

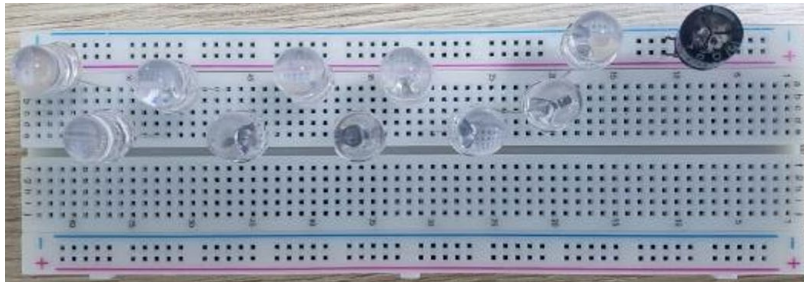


Figura 11 - Circuito Paralelo.



Figura 12 - Circuito Série/Paralelo.

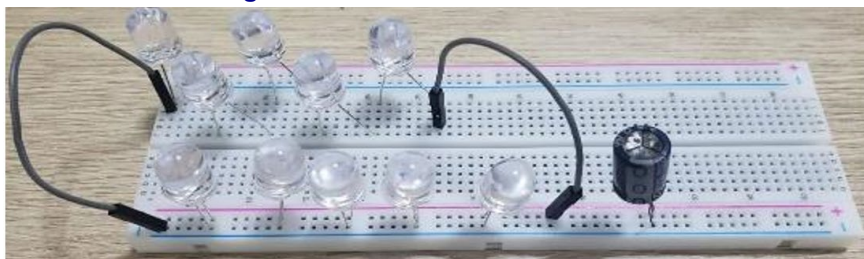
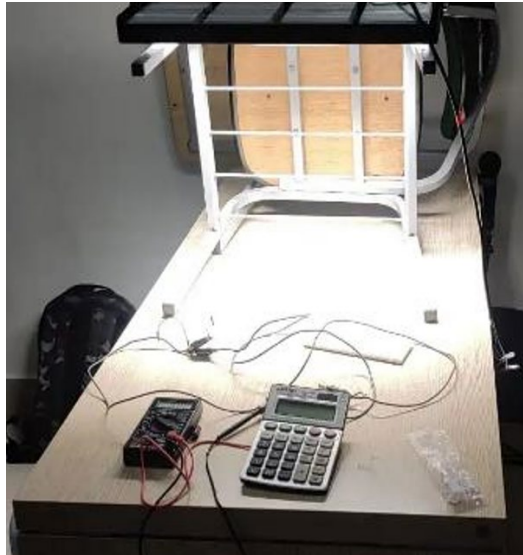


Figura 13 - Experimentos sendo realizados em laboratório.**Figura 14 - Especificações técnicas da iluminação artificial utilizada.**

Conforme mostrado na figura 13, como fonte de iluminação em laboratório, utilizou-se uma iluminação artificial de um painel de *LED's* de 180W (mostrado na figura 14), considerando-se um parâmetro referencial de distância, o circuito a 0,5m da iluminação. Para a testagem da energia gerada foi utilizado uma calculadora, sendo ela diretamente alimentada pela eletricidade produzida.

RESULTADOS

Tabela 1 - Conjunto de Medições em Laboratório.

Conjunto de Medições - Laboratório					
Cor do LED	Ligação do circuito	Tensão (V)	Corrente (mA)	Potência (mW)	Ligou a Calculadora?
Vermelho	Série	3,40	0,004	13,60	NÃO
	Paralelo	1,53	0,041	62,73	SIM
	Série/Paralelo	1,52	0,023	34,96	SIM
Azul	Série	1,57	0,002	3,14	NÃO
	Paralelo	2,20	0,016	35,20	SIM
	Série/Paralelo	2,02	0,012	24,24	SIM
Verde	Série	1,25	0,001	1,25	NÃO
	Paralelo	2,05	0,030	61,50	SIM
	Série/Paralelo	1,76	0,019	33,44	SIM

Branco	Série	1,90	0,001	1,90	NÃO
	Paralelo	1,68	0,003	5,04	NÃO
	Série/Paralelo	1,09	0,001	1,09	NÃO
Amarelo	Série	2,51	0,003	7,53	NÃO
	Paralelo	1,28	0,025	32,00	SIM
	Série/Paralelo	1,44	0,015	21,60	SIM

Figura 15 - Calculadora ligada no experimento.



A calculadora utilizada no experimento (especificada na figura 15) se trata de um equipamento que consome 3V de tensão, sendo duas pilhas de 1,5V cada, ligadas em série. Apesar disso, apenas uma pilha já era o suficiente para utilizar a calculadora, porém, ela se mostrava mais “fraca”. Notou-se durante os experimentos que, durante o carregamento do capacitor, ao passar de 1,19V a calculadora começava a ligar.

Como notado no experimento, a corrente elétrica diminui em uma conexão em série devido à característica única desse arranjo. Nesse tipo de circuito, os componentes elétricos desejam uma única trajetória, de modo que a corrente que flui por um componente também deve passar pelos outros na mesma sequência. Consequentemente, a resistência total do circuito é a soma das resistências individuais dos componentes. Como a corrente em um circuito é inversamente proporcional à resistência total, uma maior resistência resulta em uma corrente menor, explicando assim a diminuição da corrente elétrica na ligação em série. Esse aspecto é fundamentado na Lei de Ohm, que estabelece a relação entre a tensão, corrente e resistência em um circuito elétrico.

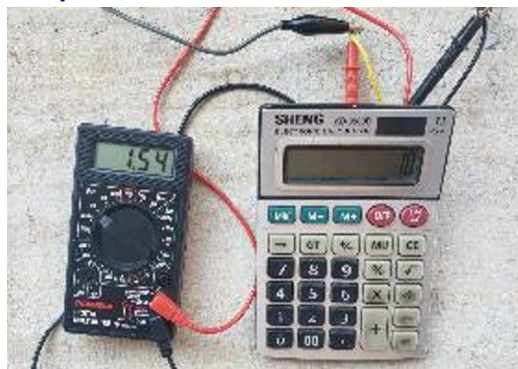
Outro ponto notado no experimento foi quanto a eficiência da produção de energia no posicionamento da iluminação e dos componentes eletrônicos. A eficiência da energia gerada é diretamente afetada pela distância entre a fonte de luz e os LED's, bem como pela posição do ângulo do componente eletrônico em relação à fonte luminosa. A direção e orientação da célula fotovoltaica, principalmente a distância de um componente para o outro desempenham um papel crucial na eficiência da geração. Um ângulo inadequado pode reduzir a quantidade de luz que incide diretamente na célula, proporcionando a eficiência na conversão de luz em eletricidade. Portanto, melhorar a distância e a orientação da célula em relação a iluminação é essencial para maximizar a absorção de luz e, consequentemente, melhorar a eficiência global do sistema de geração de energia.

Tabela 2 - Conjunto de Medições em Ambiente Externo.

Conjunto de Medições - Ambiente Externo					
Cor do LED	Ligação do circuito	Tensão (V)	Corrente (mA)	Potência (mW)	Ligou a Calculadora?
Vermelho	Série	0,78	0,002	1,56	NÃO
	Paralelo	1,54	0,114	175,56	SIM
	Série/Paralelo	1,52	0,040	60,80	SIM
Azul	Série	0,53	0,000	0,00	NÃO
	Paralelo	2,21	0,009	19,89	NÃO
	Série/Paralelo	2,30	0,018	41,40	SIM
Verde	Série	0,20	0,000	0,00	NÃO
	Paralelo	1,46	0,007	10,22	NÃO
	Série/Paralelo	0,62	0,004	2,48	NÃO
Branco	Série	0,30	0,000	0,00	NÃO
	Paralelo	2,26	0,021	47,46	SIM
	Série/Paralelo	2,33	0,011	25,63	SIM
Amarelo	Série	0,40	0,001	0,40	NÃO
	Paralelo	1,53	0,075	114,75	SIM
	Série/Paralelo	1,54	0,024	36,96	SIM

Figura 16 - Temperatura ambiente no momento do experimento externo.

Como maior objetivo do trabalho, foi realizado o experimento em ambiente externo utilizando a energia solar como referência. A avaliação da célula fotovoltaica DIY em ambiente externo é um procedimento fundamental para avaliar a eficiência e o desempenho desse dispositivo na conversão de luz solar em eletricidade. Para realizar o experimento, a célula é exposta à luz solar direta e a corrente e a tensão gerada são medidas, permitindo calcular sua potência de saída. Este experimento ajuda a determinar a eficiência da célula, sua capacidade de produção de energia elétrica a partir da luz solar e a identificar possíveis melhorias no design e na fabricação. É uma etapa importante para quem deseja criar sistemas de energia solar caseiros ou compreender o funcionamento dessa tecnologia verde e sustentável.

Figura 17 - Experimento sendo realizado com radiação solar.

Da mesma forma que foi feita a realização em laboratório, o teste no ambiente externo contou com a mesma composição de materiais e mesmos parâmetros de análise, conforme mostrado na tabela 2.

Para obter um resultado de maior eficiência no experimento externo, foi considerado uma inclinação de 45° do circuito para uma melhor absorção de incidência solar. O experimento foi realizado entre o horário de 14h às 15h30min, com localização no bairro Aeroporto, situado no município de Itaperuna - RJ, dia 11/11/2023, contando com uma temperatura de 35°, conforme mostrado na figura 16.

A influência da cor dos LED's na captação de luz está diretamente relacionada às características espectrais da luz emitidas por cada cor específica. Cada LED emite luz em uma faixa de comprimento de onda única, e isso pode ter implicações na eficiência da captação, dependendo da aplicação. Por exemplo, nos circuitos montados, a escolha da cor do LED afetou significativamente a eficiência da conversão de energia. Alguns materiais fotossensíveis são mais sensíveis a determinadas faixas do espectro eletromagnético. Portanto, a cor do LED pode ser otimizada para atender à sensibilidade máxima desses materiais, resultando em uma captação mais eficiente de luz. Assim, a escolha cuidadosa da cor dos LED's é fundamental para atender aos requisitos específicos de cada aplicação.

O experimento realizado com iluminação artificial, proveniente de uma fonte de LED, teve resultado muito diferente se avaliando a eficiência energética em relação ao experimento externo, pois diferentes fontes luminosas emitem espectros de luz diferentes, como citado no parágrafo anterior. Isso ocorreu porque a iluminação solar natural oferece um amplo espectro de luz que pode ser mais eficientemente convertido em eletricidade, especialmente quando a célula fotovoltaica é estrategicamente posicionada e colocada para melhorar a exposição direta à luz solar. A variabilidade na intensidade da luz solar ao longo do dia e das estações do ano também influencia a quantidade total de energia captada, como por exemplo, se o experimento fosse realizado em dias nublados ou chuvosos, a eficiência iria ser significativamente reduzida. Em conjunto, a interação entre iluminação artificial e solar desempenha um papel crucial na eficiência dos sistemas de conversão de energia luminosa, destacando a importância de considerar esses fatores ao avaliar os resultados gerados.

O experimento em laboratório se mostrou mais eficiente por considerar alguns fatores que entregassem vantagem no sistema, como a proximidade entre a fonte luminosa para o circuito e a potência da iluminação de testagem, o que levou a apresentar um resultado mais eficiente. No experimento realizado em laboratório, considerando a cor dos LED's e ligações dos circuitos, obteve-se 8 resultados que ligaram a calculadora, enquanto no experimento externo, apesar de estar em um resultado muito próximo, obteve 7 em que ligaram a calculadora.

Considerando a relação entre os parâmetros de medições de grandeza entre tensão, corrente, potência e resistência, observou-se que, tanto no experimento realizado em laboratório, quanto o realizado em ambiente externo, os LED's de cor vermelha com sua ligação feita em paralelo foram os que apresentaram o melhor resultado, sendo o mais atrativo para uso. Apesar de não ser o que houve maior resultado de tensão elétrica, se mostrou o mais atrativo para ligar o equipamento de calculadora porque apresentou melhores resultados na corrente e, proporcionalmente, de potência elétrica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Resolver problemas de forma caseira desempenha um papel crucial no desenvolvimento cognitivo, uma vez que envolve a aplicação prática do conhecimento adquirido. Ao enfrentar desafios dentro do ambiente doméstico, as pessoas são estimuladas a utilizar a criatividade, a lógica e a resolução de problemas de maneira direta. Esse processo ativa diferentes áreas do cérebro, promovendo o pensamento crítico e a capacidade de tomada de decisões. Além disso, a resolução de problemas caseiros muitas vezes requer a aplicação de conhecimentos de diversas disciplinas, o que contribui para uma compreensão mais holística do mundo. Essa abordagem prática não apenas fortalece as habilidades cognitivas, mas também desenvolve a autoconfiança, pois as pessoas aprendem a confiar em sua capacidade de encontrar soluções independentemente. Dessa forma, a importância cognitiva de resolver problemas de forma caseira vai além da simples resolução de questões cotidianas, influenciando positivamente o crescimento intelectual e a capacidade adaptativa das pessoas, concluindo a importância da técnica DIY (*Do it yourself*, traduzindo-se “Faça você mesmo”) no desenvolvimento da célula fotovoltaica para equipamentos de pequeno porte em momentos emergenciais.

Experimentalmente neste trabalho, comprovou-se através dos experimentos práticos a capacidade de geração de energia elétrica através do uso do componente eletrônico LED. Apesar disso, evidenciou-se durante as suas realizações que as cores influenciam significativamente no resultado. Como por exemplo, o LED vermelho com sua ligação em paralelo, nas medições dentro do laboratório (indoor) e no ambiente externo, mostrou-se o melhor candidato para gerar energia elétrica por efeito fotovoltaico, considerando as grandezas de medição elétrica (tensão, corrente, potência e resistência). O sistema foi conectado a uma calculadora digital e a instrumentos de medição, e teve seu regime de funcionamento mantido, tanto com iluminação artificial, quanto com radiação solar. Isso ocorreu devido às características espectrais da luz emitidas pela cor do mesmo. Seus materiais fotossensíveis são mais sensíveis a determinadas faixas do espectro eletromagnético, ocasionando maior sensibilidade para conversão de iluminação em eletricidade.

Como foi apresentado no texto, um único LED não consegue sozinho suprir as necessidades de uma pequena carga, mesmo pequena. Porém, um conjunto de LED's podem ser conectados em série ou paralelo para aumentar a energia gerada. Para manter a tensão mais estável para a carga, podem ser conectados capacitores em paralelo. Apesar da baixíssima potência gerada, é possível alcançar miliwatts (mW). No experimento indoor chegou-se a 0,02 mW, e, fora do laboratório, foi obtido 1,8 mW com o LED vermelho a sol pleno no céu, considerando os parâmetros mencionados no experimento.

Pode-se destacar como uma aplicação muito útil a alimentação de cargas em stand-by. Os LED's geram energia apenas durante o dia ou quando as luzes do ambiente estiverem acesas, com uma geração deficitária, mas suficiente para alimentar pequenas cargas. Outra possibilidade seria o uso como sistema isolado com banco de baterias para alimentar o equipamento em *stand-by* no período noturno. De qualquer forma, o objetivo principal seria atingido, ou seja, a redução de consumo de energia elétrica, evitando-se desperdício.

Portanto, como o sistema também conseguiu funcionar e carregar o capacitor ao ser colocado dentro do laboratório (indoor), isso permite que o circuito seja aplicado a dispositivos eletrônicos fornecendo carga para stand-by, aumentando a eficiência e diminuindo o consumo energético, funcionando semelhante ao uso do nobreak, também conhecido como UPS (*Uninterruptible Power Supply*). Esse equipamento se trata de um dispositivo projetado para fornecer energia elétrica temporária a dispositivos eletrônicos em caso de interrupção não fornecida de energia elétrica convencional.

A microgeração de energia se mostra viável como uma abordagem sustentável para atender às necessidades energéticas em menores escalas, independentemente da quantidade de energia gerada. Ao utilizar fontes renováveis, os sistemas de microgeração oferecem uma alternativa eficiente e ambientalmente amigável às fontes tradicionais de energia. Essa abordagem descentralizada permite que indivíduos gerem sua própria eletricidade, reduzindo a dependência da rede elétrica convencional e, muitas vezes, resultando em economias a longo prazo e conscientização. Além disso, a tecnologia avançada tornou a microgeração mais acessível, incentivando a adoção generalizada e contribuindo para a transição global para uma matriz energética mais limpa e diversificada. A microgeração não apenas oferece benefícios ambientais, mas também promove a resiliência energética, aumentando a autonomia das comunidades e diminuindo as emissões de gases de efeito estufa associadas à geração convencional de energia. As aplicações em pequenas cargas, tais como as apresentadas no trabalho, são muitas e possíveis de serem alimentadas pelo próprio equipamento por meio de LED's.

Portanto, considerando os fatores mencionados acima, conclui-se que é de grande valor para diversos fatores o projeto de desenvolvimento da célula fotovoltaica DIY, tanto para resultados cognitivos por conta da filosofia adotada ("Faça você mesmo"), quanto para desenvolvimento sustentável. Em razão disso, a célula é de fácil montagem, baixo custo e, de grande utilidade para equipamentos que consomem pouca energia, como: carregadores de celular, controle remoto, calculadoras e etc. Porém, é importante frisar que cada circuito pode desenvolver uma forma diferente de ligação, variando de acordo com sua demanda de utilidade.

REFERÊNCIAS

NASCIMENTO, C. A. **PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA CÉLULA FOTOVOLTAICA**. e Pós-Graduação Lato-Sensu em Fontes alternativas de energia, Departamento de Engenharia da Universidade Federal, Lavras, 2004. Acesso em: 18 de maio 2023.

BERTO, Alessandra. **Módulos Solares Fotovoltaicos: tecnologia de fabricação**. 2017. Disponível em: <<https://www.solarbrasil.com.br/blog/modulos-solares-fotovoltaicos-tecnologia-de-fabricacao/>>. Acesso em: 01 de junho 2023.

GÓMEZ, J.M. Rodríguez; F. Carlesso; L.E. Vieira; L. Da Silva. **A irradiância solar: conceitos básicos**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 2018. Acesso em: 01 de junho 2023.

MACHADO, C. T; MIRANDA, F. S. **Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão**. Universidade Federal Fluminense. Niterói-RJ, 2014. Acesso em: 01 de junho 2023.

BRITO, MIGUEL C.; SILVA, JOSÉ A. **Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em eletricidade**. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2006. Acesso em: 01 de junho 2023.

GREEN Volt. **A eficiência das células fotovoltaicas**. 2019. Disponível em: <<https://greenvolt.com.br/a-eficiencia-das-celulas-fotovoltaicas/>>. Acesso em: 01 de junho 2023.

BLUE Sol Energia Solar. **Efeito Fotoelétrico e Efeito Fotovoltaico: Entenda Qual É Geração de Energia Elétrica**. 2020. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/efeito-fotoeletrico-fotovoltaico/>> Acesso em: 01 de junho 2023.

BLOG Multcomercial. **Protoboard: o que é e como usar**. 2020. Disponível em: <<https://ipelab.ufg.br/n/156373-protoboard-o-que-e-e-como-usar>>. Acesso em: 03 de junho 2023.

MATTEDE, Henrique. **O que é um LED?** S. d. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-um-led/>>. Acesso em: 03 de junho 2023.

NASCIMENTO, Rafaela M. **O que é um capacitor e para que ele serve? 2022**. Disponível em: <<https://www.adrenaline.com.br/hardware/o-que-e-um-capacitor-e-para-que-ele-serve/>> Acesso em: 03 de junho 2023.

BENJAMIN, César. **Foi loucura, mas houve método nela: gênese, dinâmica e sentido da crise energética brasileira**. Rio de Janeiro, mai. 2019. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/antigo/arquivos/publicacoes/texto_crise_energia_brasil.pdf>. Acesso em: 13 de maio 2023.

GOLDENBERG, José; PRADO, Luiz Tadeu Siqueira. **Reforma e crise do setor elétrico no período fhc**. São paulo, v. 15, n. 2, set. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s0103-20702003000200009&script=sci_arttext>. Acesso em: 13 de maio 2023.

NASCIMENTO, Thiago Cavalcante; MENDONÇA, Andréa Torres Barros Batinga De; CUNHA, Sieglinde Kindl Da. **Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil**. Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, set. 2012. Acesso em: 13 de maio 2023.

CRUZ, Talita Borges. **Análise do potencial de inserção de energia solar térmica para aquecimento de água em residências unifamiliares no Brasil**. Rio de Janeiro, fev. 2016. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%c3%a7%c3%b5es/mestrado/talita_borges_cruz.pdf>. Acesso em: 13 de maio 2023.

MENKES, Monica. **Eficiência energética, políticas públicas e sustentabilidade**. Brasília, df, jan. 2015. Disponível em: <https://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/arquitetural/efici%eancia%20energ%e9tica/pesquisa/eficiencia_energetica_politicas_publicas_e_sustentabilidade.pdf>. Acesso em: 13 de maio 2023.

PROCELINFO. **Lei de eficiência energética**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2014/lei.pdf>>. Acesso em: 08 maio 2023.

Avaliação da periculosidade de resíduos de módulos fotovoltaicos por meio da norma brasileira NBR 10004

Hazard assessment of photovoltaic module waste using the Brazilian standard NBR 10004

Pedro Amado Petrolí

*Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais/
Universidade Federal do Rio Grande do Sul*

Priscila Silva Silveira Camargo

*Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais/
Universidade Federal do Rio Grande do Sul*

Israel Silva dos Anjos

Engenharia Mecânica/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Hugo Marcelo Veit

*Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais/
Universidade Federal do Rio Grande do Sul*

RESUMO

A capacidade instalada de energia solar fotovoltaica está em ascensão no Brasil, podendo atingir 64 GW em 2026, o que acarretará em quantidades significativas de painéis solares em fim de vida útil nos próximos anos. Porém, os painéis solares são conhecidos por apresentarem metais tóxicos como chumbo e cádmio em sua composição. Então, como forma de auxiliar na gestão ambiental desses resíduos, este estudo consiste em analisar quatro tecnologias de módulos fotovoltaicos com o intuito de classificá-los como resíduos perigosos ou não perigosos ao meio ambiente do ponto de vista da toxicidade ambiental. Deste modo, realizou-se o ensaio de lixiviação segundo a norma NBR 10005 e posterior classificação segundo a norma NBR 10004 para os painéis solares de Silício amorfo (a-Si), Telureto de cádmio (CdTe), Silício policristalino (pSi), Seleneto de cobre, índio e gálio (CIGS). Os resultados indicaram que a concentração de chumbo foi excedida em 3,95 vezes o limite de tolerância da norma para o painel pSi e, a concentração de cádmio no lixiviado do painel CdTe foi de 0,55 mg/L, excedendo também o limite de tolerância. Por isso, os resíduos provenientes de painéis pSi e CdTe devem ser classificados como resíduos perigosos pela norma NBR 10004. Além disso, os painéis a-Si e CIGS

Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos - Vol. 9

DOI: 10.47573/aya.5379.2.258.35



apresentaram concentrações de metais tóxicos no lixiviado, apesar de não terem excedido os limites da norma.

Palavras-chave: resíduos de painéis fotovoltaicos. toxicidade ambiental. NBR 10004. área temática: resíduos sólidos.

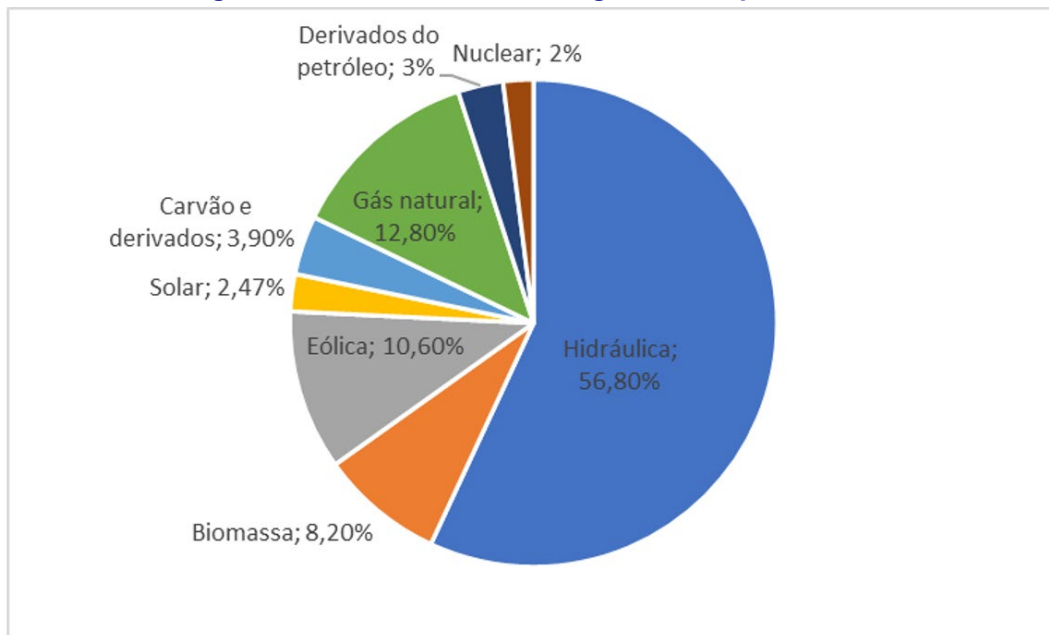
ABSTRACT

The installed capacity of photovoltaic solar energy is on the rise in Brazil, and could reach 64 GW by 2026, which will lead to significant quantities of end-of-life solar panels in the coming years. However, solar panels are known to have toxic metals such as lead and cadmium in their composition. So, as a way to help in the environmental management of this waste, this study consists in analyzing four technologies of photovoltaic modules in order to classify them as hazardous or non-hazardous waste to the environment from the point of view of environmental toxicity. Thus, the leaching test according to NBR 10005 standard and subsequent classification according to NBR 10004 standard was performed for solar panels made of amorphous silicon (a-Si), cadmium telluride (CdTe), polycrystalline silicon (pSi) and copper indium gallium selenide (CIGS). The results indicated that the lead concentration was exceeded by 3.95 times the tolerance limit of the standard for the pSi panel and, the cadmium concentration in the leachate from the CdTe panel was 0.55 mg/L, also exceeding the tolerance limit. Therefore, the waste from pSi and CdTe panels were classified as hazardous waste by the NBR 10004 standard. Furthermore, the a-Si and CIGS panels presented concentrations of toxic metals in the leachate, although they did not exceed the limits of the standard.

Keywords: photovoltaic module waste. environmental toxicity. NBR 10004. theme area. solid waste.

INTRODUÇÃO

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN, 2022), a matriz energética brasileira é composta, predominantemente, por alternativas renováveis, que correspondem a um total de aproximadamente 78% da oferta interna de eletricidade, com destaque para a fonte hídrica, que responde por 56,8% (incluindo importação e autoprodução). A energia solar, no ano de 2022, correspondeu a 2,47%, figura 1.

Figura 1 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte.

Fonte: Adaptado de Ben (2022).

De acordo com projeções da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), o mercado brasileiro da energia solar seguirá crescendo, especialmente por conta da lei de geração distribuída (Lei nº 14.300/2022) que trouxe mais segurança jurídica, estabilidade, previsibilidade e transparência ao mercado. A micro e minigeração distribuída no Brasil (MMGD) com base em geração solar fotovoltaica atingiu 8.771 MW de potência instalada e 9.019 GWh de geração em 2021, representando 88,3% da MMGD (BEN, 2022). Além disso, espera-se que o Brasil atinja 54 GW de capacidade instalada em 2026 (EUROPE, 2022). Esse crescimento na participação da energia solar na matriz energética brasileira vem acompanhada da produção e uso dos painéis fotovoltaicos, os quais têm uma vida útil média de 25 anos, e após tornam-se resíduos (CHOWDHURY, 2020).

De acordo com Oliveira (2021), o Brasil ocupa posição de destaque na produção de resíduos eletroeletrônicos, sendo o maior produtor da América Latina e o sétimo maior produtor do mundo. Entretanto, no que diz respeito a resíduos fotovoltaicos, existe uma carência de informações e dados quantitativos a respeito de resíduos fotovoltaicos gerados no país, bem como Miranda *et al.* (2019) reforça que, não há nenhuma lei ou norma no país que seja destinada, especificamente, ao manejo de resíduos de módulos fotovoltaicos. Ou seja, que determinem diretrizes e procedimentos específicos para estes materiais e, conseqüentemente, para o seu destino final ambientalmente adequado. Desta forma, assim como qualquer tipo de resíduo, seguem apenas pautados pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e podem ser avaliados e classificados, sob o regime da NBR 10.004 (2004). Além disso, também podem vir a ser enquadrados pela NBR 16156/13, que determina requisitos para a atividade de manufatura reversa de Resíduos Eletroeletrônicos (REEs).

Entretanto, apesar da ausência de norma específica para os resíduos fotovoltaicos, já existem empresas no território brasileiro que atuam na recuperação de materiais como plástico, vidros e metais dos módulos (OLIVEIRA, 2021). Steiner (2020) relata que a primeira

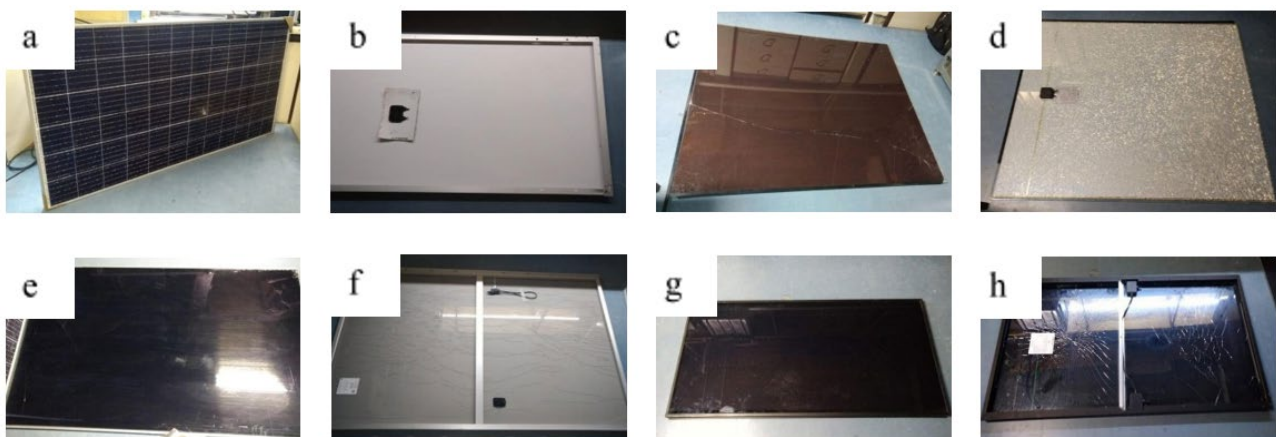
empresa deste ramo na América Latina, foi instituída no Brasil, nomeada como SunR. Localizada em Vinhedo/SP, essa empresa consegue executar, em média, o aproveitamento (reciclagem) de 90% dos painéis fotovoltaicos (ou seja, dos materiais que compõem os módulos), recebidos por meio da coleta e logística reversa (SUNR, 2023).

No entanto, o descarte inadequado de resíduos de módulos fotovoltaicos pode proporcionar impactos negativos ao meio ambiente e, conseqüentemente, à saúde humana (TONHOLI, 2021). A periculosidade associada a painéis solares deve-se aos metais tóxicos presentes em sua composição como, por exemplo, cádmio, chumbo, prata e selênio (NAIN; KUMAR, 2021). Dessa forma, a possível liberação desses elementos, devido ao descarte incorreto no meio ambiente, é preocupante. Por isso, este trabalho teve como objetivo analisar quatro tecnologias de painéis solares comumente utilizadas (silício policristalino, silício amorfo, telureto de cádmio e disseleneto de cobre, índio e gálio) e classificar a periculosidade desses resíduos em termos de toxicidade ambiental.

METODOLOGIA

Neste trabalho, quatro tecnologias diferentes de módulos fotovoltaicos foram usadas para comparar os elementos perigosos liberados após um teste de lixiviação padrão. As quatro tecnologias analisadas (Figura 2) foram: silício policristalino da marca Risen Solar Technology (da China), modelo RSM72-6-320P-340P/5BB; silício amorfo da marca Sungen International Limited (de Hong Kong), modelo SG-HN100-GG; filme fino de telureto de cádmio da marca First Solar (do Arizona, EUA), modelo FS-6425A e filme fino de disseleneto de cobre, índio e gálio da marca Avancis CNBM (da Alemanha), modelo PowerMax-STRONG-120.

Figura 2 - Módulos fotovoltaicos selecionados (a) Módulo de silício policristalino - vista frontal (b) Módulo de silício policristalino - vista traseira (c) Módulo de silício amorfo - vista frontal (d) Módulo de silício amorfo - vista traseira (e) Módulo de película fina de telureto de cádmio - vista frontal (f) Módulo de filme fino de telureto de cádmio - vista posterior (g) Filme fino de cobre gálio e disseleneto indiano (CIS/CIGS) - vista frontal (h) Filme fino de cobre gálio e disseleneto indiano (CIS/CIGS) - vista posterior.

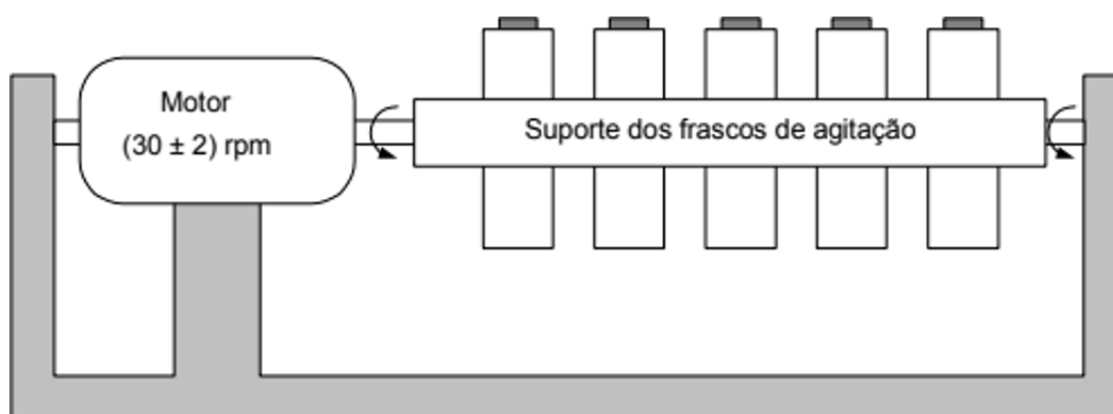


Fonte: Elaboração Própria.

A norma NBR 10005 (2004) da associação brasileira de normas técnicas (ABNT) fixa os requisitos exigíveis para a obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, visando diferenciar os resíduos classificados pela ABNT NBR 10004 (2004) como classe I –

perigosos e classe II – não perigosos. A respeito do procedimento da NBR 10005 (2004), realizou-se a determinação preliminar da amostra sólida dos painéis solares de modo a remover a moldura de alumínio (se aplicável) e recortar com tesoura metálica cada painel solar e, após, triturar a amostra em moinho de martelos para obtenção de granulometria inferior a 9,5 mm para que a amostra ficasse pronta para a etapa de extração. Então, 100 g dessa amostra foram adicionados à 2 L de solução de extração utilizada que é composta por uma mistura de ácido acético, água deionizada e hidróxido de sódio, com pH de 4,93. O frasco foi fechado e mantido sob agitação durante 18 h à temperatura de até 25°C com uma rotação de 30 rpm em um agitador rotatório como o exemplificado na figura 3. Cabe destacar que todos estes parâmetros e procedimentos seguiram estritamente o que está descrito na NBR 10005.

Figura 3 - Agitador rotatório de frasco.



Fonte: ABNT NBR 10005 (2004).

Após o período de agitação, as amostras foram filtradas com papel filtro Micropore 0,22 µm. Por fim, os extratos foram analisados por Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aplicando-se o procedimento da NBR 10005, os resultados das amostras analisadas por ICP-OES do extrato obtido no ensaio de lixiviação foram comparados com o limite de tolerância estabelecido no anexo F da NBR 10004, conforme tabela 1. Os valores obtidos para concentração de Pb foi de 3,95 mg/L no painel pSi, excedendo o limite máximo de 1 mg/L estipulado pela norma. Dessa forma, como um elemento acima do limite de tolerância já é o suficiente, esse tipo de módulo fotovoltaico deve ser classificado como resíduo classe I. Caso não seja reciclado, esse resíduo deverá ser disposto em aterro de resíduos perigosos. A concentração de Cd no lixiviado do painel CdTe resultou em 0,55 mg/L, sendo também classificado como resíduo perigoso, pois o resíduo do painel CdTe excedeu o limite de tolerância da NBR 10004 que é de 0,5 mg/L.

Neste trabalho, os elementos presentes no lixiviado do painel CIGS e no lixiviado do painel a-Si não tiveram suas respectivas concentrações excedidas pelos limites da norma, segundo a tabela 1. Por isso, esses dois painéis são considerados resíduos classe II – não perigosos e, caso não sejam reciclados, poderão ser descartados em aterros sanitários.

Apesar disso, no lixiviado do painel CIGS foi constatada uma concentração de 0,23 mg/L de Pb e no lixiviado do painel a-Si obteve-se concentração de 0,37 mg/L de Pb. Embora estes valores não ultrapassem os limites permitidos, eles comprovam a presença destes elementos tóxicos na composição destes painéis. Dessa forma, sugere-se precauções quanto ao adequado descarte desses módulos fotovoltaicos, porque, conforme Moreira e Moreira (2004), mesmo em baixas concentrações, o chumbo é considerado um metal tóxico e cancerígeno que apresenta riscos à saúde humana.

Tabela 1 – Resultado ensaio lixiviação NBR 10005 e limite de tolerância NBR 10004 anexo F.

Elemento	Lixiviado pSi (mg/L)	Lixiviado CdTe (mg/L)	Lixiviado CIGS (mg/L)	Lixiviado a-Si (mg/L)	Limite de tolerância NBR 10004 (mg/L)
As	0,01	0,03	0,01	0,02	1
Ba	0,05	0,02	0,02	0,04	70
Cd	0,03	0,55	0,14	0,03	0,5
Cr	0,01	0,01	0,01	0,01	5
Pb	3,95	0,31	0,23	0,37	1
Hg	0	0	0	0	0,1
Se	0,04	0,04	0,25	0,02	1
Ag	0	0	0	0	5

Fonte: Elaboração Própria

Dias (2015) aplicou o ensaio de lixiviação, conforme NBR 10005, para módulo fotovoltaico de silício policristalino da marca Solbratec. A concentração de Pb obtida no lixiviado foi de 5,5 mg/L, sendo também classificado como resíduo perigoso (DIAS,2015).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Empregando-se o procedimento do teste de lixiviação segundo a NBR 10005, os resultados indicaram que o painel solar de silício policristalino e telureto de cádmio foram enquadrados como classe I - resíduos perigosos, pois apresentaram concentrações acima do limite de tolerância para chumbo e cádmio no lixiviado, respectivamente. No entanto, os painéis de silício amorfo e disseleneto de cobre índio e gálio também apresentaram liberação de metais tóxicos prejudiciais ao meio ambiente. Por isso, mesmo que os elementos não tenham excedido o limite de tolerância da norma NBR 10004, indica-se a disposição dos painéis solares em aterro de resíduos perigosos, caso a reciclagem não seja viável. Além disso, a variação da composição de diferentes tecnologias, diferentes modelos e fabricantes de módulos fotovoltaicos podem indicar variabilidade nos resultados do teste de lixiviação, por isso é necessária a continuação de estudos baseados na toxicidade ambiental, para melhor representatividade dos possíveis riscos à saúde humana e ao meio ambiente decorrentes do uso generalizado de células solares. Portanto, este trabalho demonstrou preocupação associada à toxicidade e ao correto descarte de resíduos de módulos fotovoltaicos. Fica claro que a reciclagem destes equipamentos é a melhor alternativa, visto que o descarte, além de desperdício de matérias primas, pode trazer riscos ambientais.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR. **O crescimento da energia solar no Brasil. E o seu futuro.** Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/o-crescimento-da-energia-solar-no-brasil-e-o-seu-futuro/>. Acesso em: 21 fev. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: resíduos sólidos: classificação.** ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.** ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16156: **Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos: requisitos para atividade de manufatura reversa.** Rio de Janeiro, 2013.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília, 2010.
- CHOWDHURY, Md Shahariar *et al.* **An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling.** Energy Strategy Reviews, v. 27, p. 100431, 2020.
- DIAS, P. R. **Caracterização e Reciclagem de Materiais de Módulos Fotovoltaicos (Painéis Solares).** Dissertação (Programa de Pós-Graduação de Minas, Metalúrgica e de Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- EPE. **Balanco Energético Nacional (BEN):** Ano Base 2021. Rio de Janeiro: EPE, 2022.
- EUROPE, Solar Power. **Global Market Outlook For Solar Power 2022-2026.** Sol. Power Eur, 2022.
- OLIVEIRA, E. V. **Processos de reciclagem de módulos fotovoltaicos de primeira geração.** 2021. 74f. Monografia (Graduação em Engenharia de Energias Renováveis). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2021.
- MIRANDA, R. T.; LEANDRO, F. S.; SILVA, T. C. **Gestão do fim de vida de módulos fotovoltaicos.** 2019. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 8, n.1, p.364-383, 2019.
- MOREIRA, Fátima Ramos; MOREIRA, Josino Costa. **Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde.** Revista Panamericana de Salud Pública, v. 15, n. 2, p. 119-129, 2004.
- STEINER, K. H. **Estudo sobre o impacto ambiental decorrente da utilização e descarte de placas fotovoltaicas.** 2020. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2020.
- SUNR. **Reciclagem Fotovoltaica.** Disponível em: <https://sunr.com.br/>. Acesso em: 23 fev. 2023.
- NAIN, Preeti; KUMAR, Arun. **Understanding metal dissolution from solar photovoltaics in MSW leachate under standard waste characterization conditions for informing end-of-life photovoltaic waste management.** Waste Management, v. 123, p. 97-110, 2021.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Projeto de uma residência de 80m² com a utilização de bioconcreto na estrutura de fundação

Project of an 80m² residence with the use of bioconcrete in the foundation structure

Maria Eduarda Barbosa Abegg

Discente IFPR

Eduardo Vedovetto Santos

Discente IFPR

André Luiz da Silva

Docente IFPR

RESUMO

O bioconcreto, é um material que contém em sua formulação um agente biológico capaz de induzir a formação de carbonato de cálcio que fecham as fissuras existentes. O presente trabalho visou projetar uma residência com estrutura em bioconcreto e área de até 80 m², e a partir de testes de resistência à compressão e análise de corpos de prova de bioconcreto com a utilização de bactérias *Bacillus subtilis*, inseridos abaixo do solo, buscou relatar sua viabilidade na fundação da residência projetada. A elaboração da residência utilizou os *softwares AutoCAD e Revit*. A residência projetada abrangeu uma área total de 79,83 m². Para a elaboração dos corpos-de-provas (CPs) foi adotado o traço convencional do concreto com a adição das bactérias *Bacillus subtilis*. Os corpos-de-prova foram submetidos aos ensaios à compressão, após passarem pelo período de cura de 28 dias. Posteriormente, os corpos-de-prova fissurados foram inseridos abaixo do solo e permaneceram por um período de 60 dias. Após esse prazo, foi analisada a autocura nos corpos de prova de bioconcreto. A partir de estudos realizados ressalta-se a grande eficiência do bioconcreto no fechamento de fissuras.

Palavras-chave: autocura. carbonato de cálcio. biomineralização.

ABSTRACT

Bioconcrete is a material that contains in its formulation a biological agent



capable of inducing the formation of calcium carbonate that closes existing cracks. The present work aims to design a residence with a bioconcrete structure and an area of up to 80 m², and based on compression resistance tests and analysis of bioconcrete specimens using *Bacillus subtilis* bacteria, inserted below ground, it seeks to report its viability in the foundation of the designed residence. The design of the residence used AutoCAD and Revit software. The designed residence covers a total area of 79,83 m². To prepare the test specimens (CPs), the conventional concrete mix was adopted with the addition of *Bacillus subtilis* bacteria. The specimens were subjected to compression tests, after going through a curing period of 28 days. Subsequently, the cracked specimens were inserted below the ground and remained for a period of 60 days. After this period, it was analyzed whether self-healing occurred in the bioconcrete specimens. Based on studies carried out, the importance of bioconcrete in closing cracks is highlighted.

Keywords: self-healing. calcium carbonate. biomineralization

INTRODUÇÃO

O concreto convencional é um dos materiais mais utilizados na construção civil; ocorre relativamente devido ao seu baixo custo e sua alta facilidade de moldagem. Contudo, os seus principais componentes, cimento, areia e brita, necessitam de ser produzidos e extraídos em larga escala e transportados a longas distâncias, o que aumenta o consumo de energia, as emissões de gases de efeito estufa e os danos paisagísticos (JONKERS *et al.*, 2010). Além disso, para Jonkers *et al.* (2010), a suscetibilidade do concreto à fissuração interfere negativamente em sua integridade estrutural e na durabilidade do material.

Particularmente, a fissuração da camada superficial do concreto reduz a durabilidade do material, pois a entrada de água e produtos químicos prejudiciais causam uma série de processos de degradação da matriz, bem como a corrosão do reforço de aço embutido (NEVILLE, 1996).

Dessa forma, é urgente o reparo dessa irregularidade, visto que, além de atrapalhar o fluxo de pessoas da edificação, as fissuras garantem grandes prejuízos financeiros com reparações e indenizações, que, no Brasil, chegam a custar em média 5% do custo total da obra (GOMIDE, 2015).

Sendo assim, o Bioconcreto surge como uma opção sustentável para solucionar essa patologia estrutural. Na prática, isso significa que menos reforço de armadura de aço é preciso e a necessidade de manutenção e reparos é reduzida ao longo da vida útil do projeto (JONKERS, 2010).

OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo projetar uma residência com estrutura de fundação em bioconcreto, com uma área de até 80 m². O estudo inclui a exposição dos projetos técnico-arquitetônicos e estruturais. Além disso, é avaliada a capacidade de precipitação de carbonato de cálcio por parte de bactérias *Bacillus subtilis* em diferentes

concentrações de bioconcreto. Isso é realizado por meio do ensaio de rompimento de corpos de prova inseridos abaixo do solo. A pesquisa visou determinar se as bactérias, quando inseridas abaixo do solo em seu ambiente de aplicação na fundação da residência, são capazes de precipitar o carbonato de cálcio.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Bioconcreto

O bioconcreto, também conhecido como concreto auto regenerativo, é um material que contém em sua formulação um agente biológico capaz de induzir a formação de carbonato de cálcio entre as partículas de cimento e os agregados. Isso ocorre por meio da biomineralização, um processo no qual organismos vivos, com base na precipitação, sintetizam minerais inorgânicos (CALVERT, 1994). Esses minerais inorgânicos, o carbonato de cálcio, nessa circunstância, fecha as fissuras do bioconcreto.

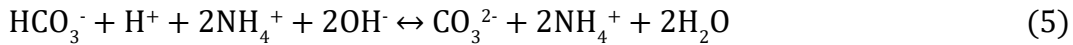
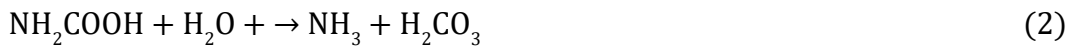
Para a criação do bioconcreto, houve, como inspiração, o processo de cicatrização, capacidade de um ser vivo regenerar um tecido lesionado ao longo da vida. Um exemplo conhecido desse fenômeno é a formação de tecido cicatricial durante a cicatrização de uma ferida. Embora o tecido recém-formado possa não ser idêntico ao tecido original, ele tem a capacidade de restaurar parcialmente a função afetada (JONKERS, 2020). Em relação ao bioconcreto, para a regeneração de fissuras, esse processo ganha o nome de autocura. A autocura refere-se à capacidade do próprio material de reparar ou curar danos sem a necessidade de intervenção externa. (TAKAGI, 2013).

Em razão de estudos acerca das diferentes formas de autocura do concreto, o RILEM (*The International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures*) (2013) classificou a autocura em duas formas distintas: autógena, que ocorre quando a auto cicatrização é feita com compostos de materiais já utilizados no concreto convencional para outras finalidades, e autônoma, em que os compostos cicatrizantes não estariam no concreto convencional sem serem adicionados; essa variante é observada no bioconcreto.

As bactérias utilizadas para produzir bioconcreto pertencem ao gênero *Bacillus*. As bactérias desse gênero possuem características que permitem sua sobrevivência no bioconcreto, sendo estas: alta resistência ao calor (SCHWANTES, 2014), pois durante o processo de cura do concreto, altas temperaturas podem ser atingidas, capacidade de formar esporos, resistência ao ambiente alcalino do concreto, e tolerância ao oxigênio. Dentro do gênero *Bacillus*, existem bactérias aeróbias alcalifílicas que possuem a capacidade de formar esporos (JONKERS *et al.*, 2010).

A precipitação de carbonato de cálcio realizada por bactérias do gênero *Bacillus* fornecem urease, que converte a ureia em carbonato e amônia, aumentando o pH e a concentração de carbonato no ambiente bacteriano (VIJAY *et al.*, 2017). Segundo Tittelboom *et al.* (2010), a hidrólise da ureia gera carbamato e amônia (Eq. 1). O carbamato se converte espontaneamente em ácido carbônico e amônia (Eq. 2). Esses componentes reagem e produzem bicarbonato, íons amônio e hidróxido (Eqs. 3 e 4), elevando o pH e resultando

em íons carbonato, o processo químico é representado pela sequência de reações a seguir:

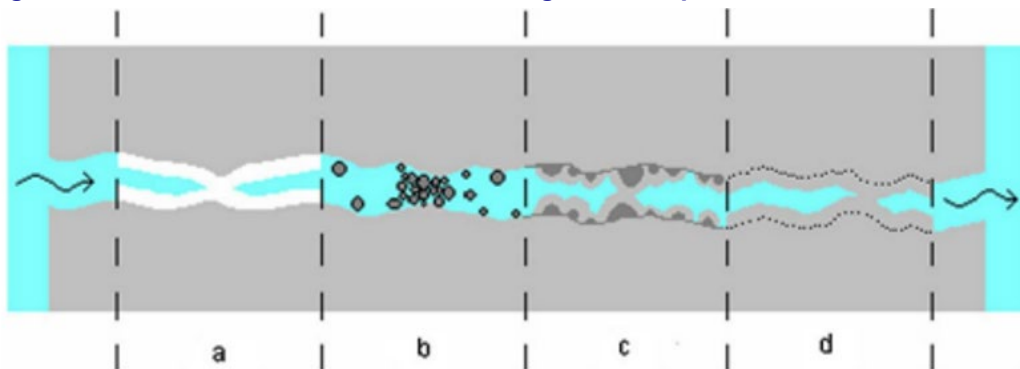


A parede celular bacteriana, carregada negativamente, atrai cátions como Ca^{2+} do ambiente, que se depositam em sua superfície, esses íons Ca^{2+} reagem com os íons CO_3^{2-} , levando à formação de CaCO_3 na superfície celular, que serve como um local de nucleação (Eqs. 6 e 7) (TITTELBOOM *et al.* 2010). O processo químico pode ser expresso da seguinte forma:



Uma vez que as fissuras estão completamente preenchidas com carbonato de cálcio, as bactérias entram em um estado de hibernação. Portanto, se alguma fissura se formar no futuro, a bactéria será ativada e preencherá as rachaduras novamente (JONKERS *et al.*, 2010). Esse processo de autocicatrização pode ser ativado por microrganismos quando expostos à umidade, iniciando assim o processo de reparação (MUYNCK *et al.*, 2010) Ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Possíveis mecanismos de auto regeneração para materiais cimentícios.



Fonte: MUYNCK *et al.* (2010)

METODOLOGIA

Localização

A edificação foi dimensionada no lote de número 14, quadra 76, de N° 275, Rua Aventurina, situada no Bairro Esmeralda na cidade de Cascavel. Esse terreno possui área de 456m², com dimensões de 12x38m. A Figura 2 representa o local.

Figura 2 - Lote em que a residência será projetada.

Fonte: Instituto de Planejamento de Cascavel (2023).

Desenvolvimentos de projetos e softwares utilizados

Para a elaboração dos projetos técnico-arquitetônicos e estruturais, foi utilizado o *software* AutoCAD junto com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas e Normas Brasileiras (ABNT-NBR): 6118:2023, 6122:2022, de estruturas de concreto e fundações, respectivamente, para o dimensionamento da estrutura de fundação da residência.

Para os cálculos da estrutura de fundação, utilizou-se o perfil de sondagem ensaiado pela Faculdade Assis Gurgacz em 2016 no município de Cascavel, PR, e a resistência característica à compressão do concreto (FCK) obtida a partir do traço de bioconcreto que apresentou melhor resistência no ensaio de compressão, assim como a melhor precipitação de carbonato de cálcio abaixo do solo. A modelagem tridimensional foi realizada pelo *software* Revit, que, juntamente com o AutoCAD, pertence à empresa Autodesk.

Elaboração dos corpos de prova, execução dos ensaios de compressão e inserção das amostras fissuradas no solo

Para a elaboração dos corpos de prova (CPs), utilizou-se cimento Portland, brita tipo 2, areia lavada, lactato de cálcio em pó e bactérias *Bacillus subtilis*, inoculadas com o nome comercial Serenade. O traço adotado foi o utilizado regionalmente no Município de Cascavel, que apresenta 1 medida volume de cimento para 2 de brita, 3 de areia e 1 de água, com um ajuste na quantidade de água devido à presença de bactérias em meio aquoso. Além disso, foram preparadas três amostras de concreto convencional para comparação.

Foram elaborados três traços distintos de bioconcreto. No primeiro, empregou-se uma mistura composta por 10 ml de *Bacillus subtilis*, 15 gramas de lactato de cálcio e 50 ml de água. Já no segundo traço, a composição consistiu em 20 ml de bactérias, 30 gramas de lactato de cálcio e 40 ml de água. Na terceira amostra, utilizou-se uma combinação de 30 ml de *Bacillus subtilis*, 45 gramas de lactato de cálcio e 30 ml de água. Foram preparadas para análise 3 amostras de cada traço de bioconcreto, e os moldes utilizados para a confecção dos corpos de prova possuem 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro.

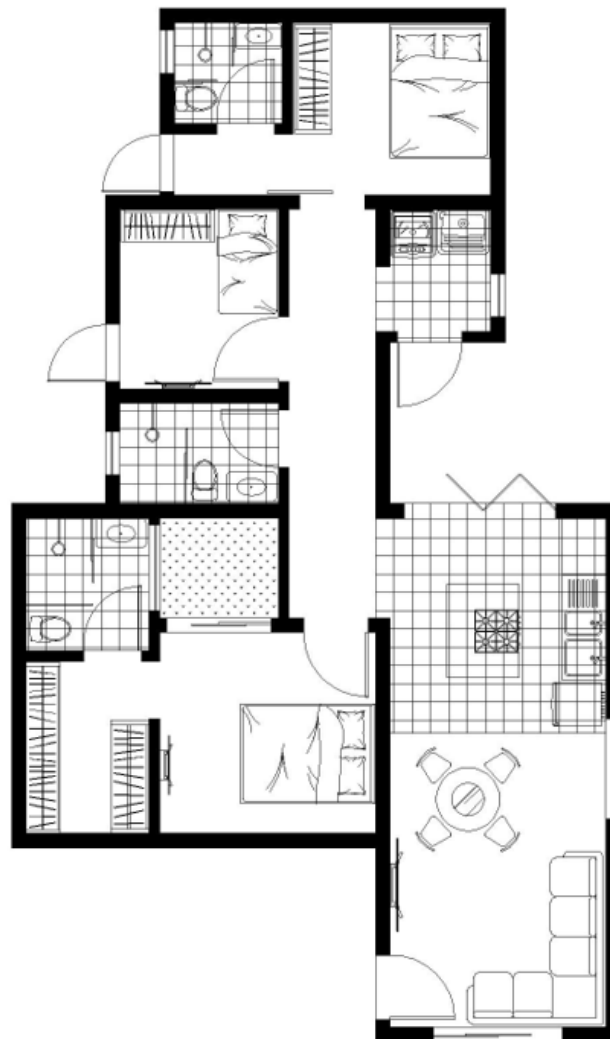
Após a confecção dos corpos de prova, foi aguardada uma semana para desmoldá-los. Em seguida, esperou-se períodos de 30 dias antes de submetê-los a ensaios de compressão até a manifestação de fissuras. Posteriormente, foram inseridos no solo a uma profundidade de 60cm, permanecendo sob essa condição por um período de 30 dias. Após essa etapa, os corpos de prova foram analisados mediante observação, visando identificar a ocorrência de precipitação de carbonato de cálcio.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Características da residência projetada

A residência projetada (Figura 3) abrange uma área total de 79,83m² e é composta por duas suítes, um quarto, um banheiro social e uma área de estar que integra a cozinha e a sala de jantar. A prancha do projeto arquitetônico localiza-se no Apêndice A e a renderização 3D no apêndice B.

Figura 3 - Esboço planta residencial.

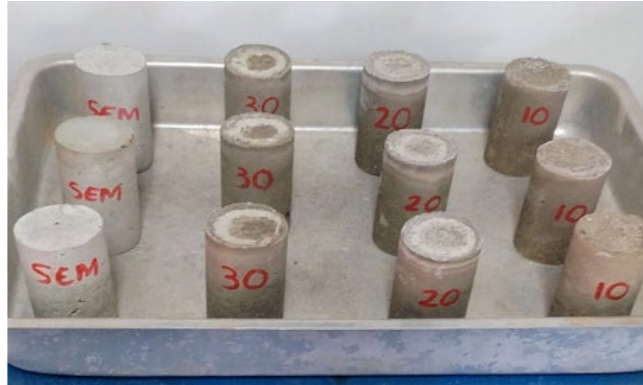


Fonte: Autora (2023)

Desmolde e cura dos corpos de prova

Após o desmolde das amostras (Figura 4), destacou-se uma notável discrepância de umidade entre os corpos de prova de bioconcreto, percebida de forma tátil e visual conforme registrado na imagem abaixo.

Figura 4 - Amostras recém desmoldadas.



Fonte: Autora (2023)

Decorridos 20 dias desde o desmolde, chamou a atenção a ocorrência de uma precipitação superficial de carbonato de cálcio nas amostras de bioconcreto durante o processo de cura. A intensidade desse fenômeno revelou-se relacionada à quantidade de *Bacillus subtilis* presente na composição da amostra, como claramente representado nas imagens dos apêndices C, D, E, F, G, H, I, Je K.

Ensaio de resistência à compressão

No experimento de resistência à compressão, os corpos de prova em bioconcreto suportaram cargas máximas antes de apresentarem fissuras, conforme evidenciado no quadro a seguir.

Quadro 1 - Resistência característica à compressão do bioconcreto.

Bacillus subtilis (ml)	Carga amostra 1 (N)	Carga amostra 2 (N)	Carga amostra 3 (N)	fck (MPa)
10	3106,6	2518,6	3812,2	6,17
20	7820,4	7046,2	8104,6	15,03
30	7203	6791,2	6213,2	13,22

Fonte: Autora (2023)

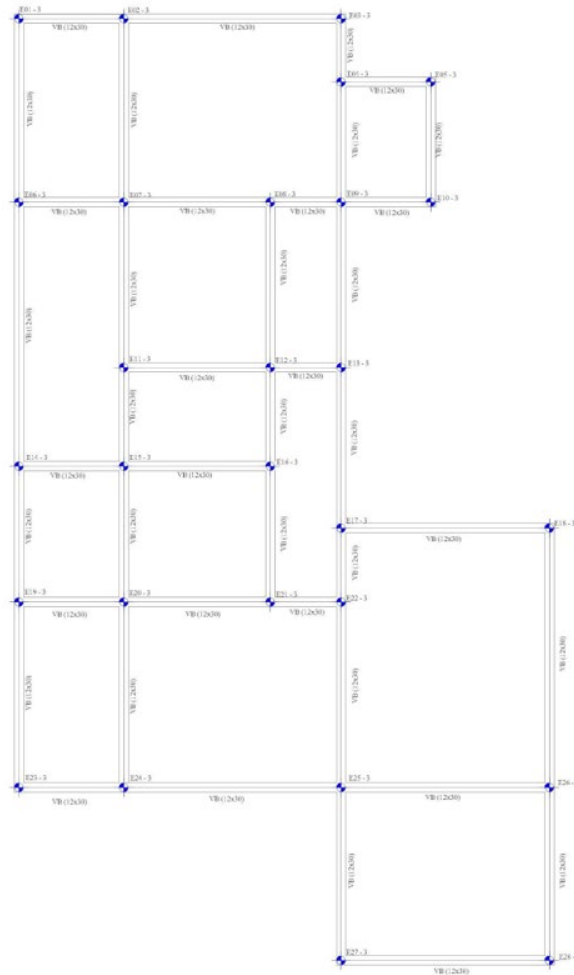
Avaliação dos corpos de prova após de serem desenterrados

Depois que os corpos de prova foram desenterrados, eles foram higienizados, e observou-se que as amostras que continham 10 ml de *Bacillus*, em relação aos outros traços obtidos, tiveram a menor precipitação em relação aos traços que continham 20 ml e 30 ml de microrganismo. Essa diferença pode ser analisada nos apêndices F, G e H.

Características do projeto de fundações

Os cálculos do projeto de fundações foram realizados utilizando a resistência característica à compressão (FCK) do traço do bioconcreto, que inclui 20ml de *Bacillus subtilis*. Após o dimensionamento da infraestrutura da residência, chegou-se ao número de 28 estacas conectadas por vigas baldrame. A prancha do projeto estrutural encontra-se no apêndice L. Um esboço pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 - Esboço planta estrutural.



Fonte: Autora (2023)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Bioconcreto surge como uma solução promissora para enfrentar fissuras em estruturas de fundações. Notavelmente, amostras contendo 20 ml de *Bacillus subtilis* apresentaram a maior resistência à compressão e melhor e precipitação de carbonato de cálcio após serem desenterradas, destacando a eficácia desse microrganismo na formulação do Bioconcreto.

Ao aplicar esses resultados em um projeto real, uma residência foi projetada com fundações em bioconcreto, resultando em 28 estacas conectadas por vigas baldrame. Essa aplicação prática revela a viabilidade do Bioconcreto como material a ser usado neste projeto.

Assim, esse estudo não apenas valida a eficácia do bioconcreto nas fundações da residência projetada, mas também destaca seu potencial para promover a sustentabilidade na construção civil. A capacidade autorregenerativa do bioconcreto, evidenciada pelos processos de biomineralização e autocura, apresenta uma solução prática e sustentável para o meio ambiente, tratando-se de fissuração, fazendo-se necessário mais estudos sobre o assunto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9050. **Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro. 2020.

_____. NBR 5739. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro. 2018.

_____. NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro. 2023.

_____. NBR 6122. **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro. 2022.

CALVERT, P. Biomimetic mineralization: processes and prospects. **Materials Science and Engineering C, Tucson**, v. 1, n. 2, p. 69-74, set. 2015.

GOMIDE, Tito Lívio Ferreira. Profissionalismo na construção civil em tempos de certificação do desempenho Edilício. **Instituto de Engenharia**. jan. 2015. Disponível em: <https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2015/01/06/profissionalismo-na-construcao-civil-em-tempos-de-certificacao-do-desempenho-edificio/>

JONKERS, H. M. *et al.* Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete. **Ecological Engineering**, v. 36, n. 2, p. 230–235, 2010.

JONKERS, H. M. Bacteria-based self-healing concrete, **Delft University of Technology - CHANGELAB!**, 2020. Disponível em: <<https://changelab.exchange/portfolio/bacteria-based-self-healing-concrete/>>

MUYNCK, W.; DE BELIE, N.; VERSTRAETE, W. Microbial carbonate precipitation in construction materials: a review. **Ecological Engineering**, v. 36, n. 2, p. 118–136, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092585740900113X>

Neville, A.M., 1996. Properties of Concrete. **Pearson Higher Education**, 4th edition. Prentice Hall, New Jersey.

RILEM. SHE : **Self-healing concrete** – Its efficiency and evaluation. Disponível em: <<https://www.rilem.net/groupe/she-self-healing-concrete-its-efficiency-and-evaluation-345>>

SCHWANTES, N. Bioconcreto: análise da resistência e do fechamento de fissuras em concreto com adição da bactéria *Bacillus subtilis*. - **Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG)**, Cascavel, 2014.

TAKAGI, Emilio Minoru. Concretos autocicatrizantes com cimentos brasileiros de escória de alto-

forno ativado por catalisador cristalino. **Instituto Tecnológico de Aeronáutica**. São José dos Campos. 2013. Disponível em: http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2018/02/dissertacao_do_emilio.pdf

TITTELBOOM, K. v *et al.* Use of bacteria to repair cracks in concrete. *Cement and Concrete Research*, v. 40, n. 1, p. 157–166, jan, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008884609002361>

VIJAY, K.; MURMU, M.; DEO, S. V. Bacteria based self healing concrete – A review. **Construction and Building Materials**, v. 152, p. 1008–1014, out. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061817313752>

APÊNDICES

Apêndice B – Renderização 3D



Apêndice C – Precipitação superficial do carbonato de cálcio a partir do traço de 10 ml de *Bacillus subtilis*



Apêndice D – Precipitação superficial do carbonato de cálcio a partir do traço de 10 ml de *Bacillus subtilis*



Apêndice E – Precipitação superficial do carbonato de cálcio a partir do traço de 10 ml de *Bacillus subtilis*



Apêndice F – Precipitação superficial do carbonato de cálcio a partir do traço de 20 ml de *Bacillus subtilis*



Apêndice G – Precipitação superficial do carbonato de cálcio a partir do traço de 20 ml de *Bacillus subtilis*



Apêndice H – Precipitação superficial do carbonato de cálcio a partir do traço de 20 ml de *Bacillus subtilis*



Apêndice I – Precipitação superficial do carbonato de cálcio a partir do traço de 30 ml de

Bacillus subtilis



Apêndice J – Precipitação superficial do carbonato de cálcio a partir do traço de 30 ml de

Bacillus subtilis



Apêndice K – Precipitação superficial do carbonato de cálcio a partir do traço de 30 ml

de *Bacillus subtilis*



Estudo de caso acerca das causas que originaram a ruptura da Barragem de Barreiro - Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco

Genivaldo Andrade de Oliveira
Alberis Lindoso da Silva
Stênio de Sá e Albuquerque Júnior
Renato Coelho Angelim
Jéssica Álida Gomes de Abreu
Maurício Serafim dos Santos

OBJETIVO DA PESQUISA

O presente trabalho tem por objetivo detalhar as causas que originaram a ruptura da Barragem Barreiro, no trecho compreendido entre o maciço de terra (km 0 + 600 m) e o muro lateral direito do extravasor (KM 0 + 611 m), Trecho V, Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF).

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O Reservatório Barreiro integra o sistema denominado Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias do Nordeste Setentrional (PISF), sendo a décima barragem do Trecho V, inserida na sub-bacia do Rio Moxotó da Bacia do Rio São Francisco, localizada entre a 5ª Estação de Bombeamento e a 6ª Estação de Bombeamento, na divisão dos segmentos de canais WBS 2221 e WBS 2223. O reservatório está compreendido entre as estacas Est 2+17,39 m a Est 38+18,88 m, do sistema adutor do Eixo Leste.

A distância entre a cidade de Sertânia e a barragem Barreiro é de aproximadamente 13,5 km, pela rodovia PE 280.

A sub-bacia hidrográfica do rio Moxotó, onde está inserido o reservatório de Moxotó, é uma bacia de domínio Federal, pois divide na parte média baixa, a partir da embocadura do riacho Parafuso, os estados de Pernambuco e Alagoas. Constitui-se em uma das principais unidades de planejamento para a aplicação da Política Nacional de Recursos Hídricos, dentro do conjunto de sub-bacias que abrangem o PISF.



O rio Moxotó tem suas nascentes a uma altitude da ordem de 700m, no município de Sertânia, próximo à divisa entre os estados de Pernambuco e Paraíba. Da nascente até sua foz, na margem esquerda do rio São Francisco, reservatório da UHE de Paulo Afonso, o rio percorre uma extensão de cerca de 226 km, passando pelos municípios pernambucanos de Sertânia, Custódia, Ibitimir, Inajá, Tacaratu e Jatobá.

A Barragem Barreiro é do tipo homogênea, com comprimento na crista de 721,48 m, altura máxima de 14,39 m e largura da crista de 6,0 m, perfazendo um volume total de 136.046 m³ de material compactado. A área da bacia de drenagem é de 16,40 km² e a do reservatório, no nível d'água normal (540,75 m) é de 80,99 ha. O volume útil de água no reservatório é de 3,58 milhões de m³.

O maciço homogêneo, com coroamento na cota 542,25 m, é constituído de solos coluvionares e residuais areno-argilosos compactados, provenientes da jazida Barreiro e das escavações obrigatórias.

O talude de montante, com inclinação 1V:2,5H é protegido por uma camada de 0,50 m de espessura de enrocamento lançado de materiais de 3ª categoria, provenientes das escavações obrigatórias dos canais adutores. O talude de jusante, com inclinação de 1V:2,0H também possui proteção com enrocamento lançado, na espessura de 0,40 m. Abaixo do enrocamento foi prevista uma camada de brita graduada ou transição lançada e compactada, com espessura de 0,25 no talude de montante e 0,15 m no talude de jusante. Na crista do coroamento foi prevista uma camada de revestimento de 0,20 m de brita graduada ou transição lançada e compactada.

O sistema interno de drenagem é constituído por filtro vertical de areia com 0,60 m de espessura, com topo na cota 541,25 m, interligado a um tapete drenante horizontal, tipo sanduíche, com 0,60 m de espessura, assentado no estrato rochoso da fundação.

A galeria de tomada d'água (uso difuso) adjacente ao aterro tem sua fundação na cota 533,10 m e topo na cota 536,16 m.

O extravasor com perfil tipo Creager, tem 50,00 m de largura (entre o km 0+615 e km 0+665), lâmina vertente máxima de 0,50 m, soleira livre na cota 541,25 m e vazão de projeto de 34,20 m³/s. Ao lado do extravasor (km 0 + 612,7) a galeria de tomada d'água para uso difuso, permite a derivação de 2,0 m³/s, sendo constituída por uma tubulação adutora com extensão de 25,31 m e diâmetro nominal de 700 mm, localizada no interior dessa galeria de concreto e uma válvula dispersora na extremidade com DN 500. Na parte superior da estrutura de entrada dessa galeria foi projetada uma monovia com talha para içar a grade ou a comporta ensecadeira. A água ao passar pela válvula dispersora é lançada numa bacia de dissipação (assentada em rocha) e por um canal de restituição até alcançar o talvegue natural.

Histórico do ocorrido

A construção da barragem iniciou em fevereiro/2014, com os serviços de supressão vegetal, destocamento e limpeza da área e foi concluída em janeiro/2017. O aterro de fechamento, o qual coincide com o trecho de ruptura da barragem de terra junto ao muro lateral direito do extravasor, foi executado entre agosto/2015 e janeiro/2016.

Houve um intervalo de tempo de 13 meses entre a conclusão das obras e o enchimento do reservatório. O enchimento do reservatório iniciou em 25/02/2017, tendo atingido a cota normal de operação (540,75 m) em 02/03/2017, conforme mostrado na Foto 01. O enchimento do reservatório ocorreu, portanto em cerca de 6 dias.

São apresentadas as Fotos 01 a 05 que relatam a sequência, desde o enchimento do reservatório até a ruptura da barragem no trecho compreendido entre o km 0 + 600 m e km 0 + 611 m (face do muro lateral direito do extravasor).

Foto 1 - Cota (540,75 m) do nível operacional de montante (03/03/2017).



Fonte: MIDR

Em 03/03/2017 às 07:00 h, apenas algumas horas após o reservatório ter atingido o seu nível operacional, foram detectados vazamentos na parte superior da galeria de uso difuso, no contato do maciço da barragem com a laje de concreto dessa estrutura, conforme ilustrado na Foto 02. O rompimento ocorreu em torno das 11:00 h, apenas 4 horas após terem sido notados os primeiros vazamentos.

Foto 2 - Vazamento inicial detectado às 7:00 h de 03/03/2017, no talude de jusante da barragem junto a laje da galeria de uso difuso, no entorno da cota 536,28 m, que coincide com a cota do dreno sanduiche de areia + pedrisco + areia. (03/03/2017).



Fonte: MIDR

O volume de água do vazamento, detectado as 9:30 h, já era considerável,

apresentando cor marrom demonstrando que estava havendo o carreamento do solo argiloso do maciço da barragem. Esse fenômeno associado a localização específica do vazamento, demonstrava ter havido um franco caminho preferencial e água nessa zona de contato do maciço de terra com o muro de concreto da galeria. Esse vazamento foi evoluindo gradativamente carreando o material do maciço, dos filtros e do enrocamento a jusante. O vazamento de água passou por cima da laje da galeria no entorno da cota 536,28 m, que coincide com a cota da camada de pedrisco, de elevada permeabilidade, com espessura de 0,30 m, executada sobre a laje da galeria desde o filtro vertical de areia até o talude de jusante do maciço da barragem, causando a erosão do maciço, conforme ilustrado na Foto 03.

Foto 3 - Vazamentos de água de forma espreada, por cima da laje da galeria. (03/03/2017).



Fonte: MIDR

Na Foto 04 tirada às 10:30 h é mostrado o fluxo de água de montante para jusante, formando um vórtice junto ao muro lateral direito do canal de aproximação da tomada d'água da galeria, caracterizando uma infiltração concentrada de água nessa zona, devendo-se destacar que na foto anterior o processo de ruptura do maciço da barragem já tinha sido deflagrado.

Foto 4 - Vista de montante mostrando a infiltração de água junto à parede de concreto do muro lateral direito do canal de aproximação da tomada d'água. (03/03/2017).



Fonte: MIDR

Como medida emergencial, tomada ainda em 03/03/2017, para barrar esse vazamento concentrado de água foram iniciados a construção de ensecadeiras à montante do maciço da barragem. O trecho rompido entre o maciço de terra e o muro lateral direito de concreto do extravasor, logo após o acidente, é mostrado na Foto 05.

Foto 5 - Vão entre o maciço de terra e o muro lateral direito do extravasor, abrangendo o trecho rompido entre o km 0 + 600 m na crista do maciço da barragem e o km 0 + 611 m na face do muro lateral direito de concreto. (04/03/2017).



Fonte: MIDR

SOLUÇÕES ADOTADAS PARA RECUPERAÇÃO DA BARRAGEM BARREIROS

No projeto proposto para recuperação da Barragem Barreiros, as intervenções necessárias consistiam na reconstrução do Barramento nas imediações das intervenções a serem realizadas, sendo este constituído de um núcleo central de solo argiloso com um filtro vertical de areia interligado a um tapete drenante tipo sanduíche e a um dreno de pé no talude de jusante.

A montante do núcleo foi projetado um aterro com solos residuais, areno argilosos provenientes da Jazida Barreiro e das escavações obrigatórias. A jusante do sistema filtrante do núcleo, foi previsto um aterro com materiais selecionados de 1ª, 2ª e 3ª categorias das escavações obrigatórias.

Para a proteção dos taludes de Jusante, o projeto proposto prevê a execução de enrocamento com materiais de 3ª categoria provenientes das escavações obrigatórias. A crista da Barragem será protegida com uma camada de brita graduada ou com materiais pétreos de transição.

De acordo com o Ministério Os serviços de recuperação da barragem Barreiros, nas imediações das estacas km 0+588 e o km 0+611, tiveram início no dia 21/09/2017, de acordo com as seguintes etapas:

Bombeamento do Sistema de Drenagem Superficial durante a Construção (4 Conjuntos Motobomba de 20 cv).

- **Escavações Obrigatórias**

Escavação de Material de 1ª Categoria, Carga e Transporte até 1,00 km;

Escavação de Material de 2ª Categoria, Carga e Transporte até 1,00 km;

Espalhamento de Material de 1ª e 2ª Categoria em Bota Fora.

- Tratamento da Fundação

Preparo e Tratamento Superficial em Rocha para Estrutura de Concreto;

Concreto 10 MPa - Fabricação e Lançamento;

Momento de Transporte de Concreto em Caminhão Betoneira (25,0 Km).

- Injeções de Impermeabilização

Injeção de Calda de Cimento nas Fundações, Inclusive Cimento;

Sondagem Rotativa p/ reconhecimento do subsolo;

Ensaio de Perda d'água - 5 estágios.

- Preenchimento da Superfície do Muro Lateral Direito/Galeria da Tomada D'água

Apicoamento manual de superfície de concreto;

Limpeza de superfície de concreto com escova de aço;

Limpeza de superfície com jato de alta pressão (0,7 Mpa) de água;

Limpeza de superfície com jato de alta pressão (0,7 Mpa) de ar;

Execução de ponte de aderência entre o concreto antigo e o novo, traço 1:0,1:0,45 (cimento:microssilica:água), mais aditivo plastificante;

Limpeza e enchimento com resina epóxi das fissuras/juntas existentes;

Forma Plana de Madeira;

Concreto Estrutural 25 MPa - Fabricação e Lançamento (com bomba);

Momento de Transporte de Concreto em Caminhão Betoneira (25,0 Km).

- Execução do Maciço de Terra

Escavação de Jazida de Solo;

Escavação de Material de 1ª Categoria (Área de Empréstimo), Carga e Transporte até 1,00 km (Zona G);

Escavação e Carga dos Materiais dos Estoques;

Reescavação em Estoque de Material de 1ª e 2ª categoria, carga e transporte até

1,00 km (Zonas A e E);

Reescavação em Estoque de Material de 3ª Categoria, Carga e Transporte até 1,00 km (Zonas E e D);

Compactação dos Maciços de Terra;

Aterro Compactado - 1ª categoria (Zonas A, G e E);

Enrocamento Compactado (Zonas A e E) (100%);

Enrocamento Lançado (sem fornecimento) (Zona D).

- Filtro Vertical e Tapete Horizontal de Areia

Filtros e Transições Finas Verticais de Areia;

Filtro Horizontal de Areia;

Pedrisco (Transição Fina);

Transição Compactada (Brita Graduada).

- Dreno Longitudinal no Pé do Talude de Escavação

Fornecimento e assentamento de tubo dreno corrugado e perfurado em PEAD, DN 200 mm (8") para drenagem;

Brita para drenagem;

Fornecimento e assentamento de manta geotêxtil não tecido RT-09 ou similar;

Execução de poço coletor (PC), Ø 1,20 m, com anéis de concreto armado (L= 1,00 m x h= 3,00), lastro de concreto armado, fck = 20 MPa, incluindo fornecimento de todos materiais e serviços necessários;

Fornecimento e assentamento de tubo de PVC Ø 50 mm colocado em dispositivo de drenagem.

O registro fotográfico abaixo descreve as etapas de construção realizadas durante o processo de reconstrução da Barragem de Barreiros.

Foto 6 – Execução de injeção de calda de cimento.



Fonte: MIDR

Foto 7 – Execução de injeção de calda de cimento



Fonte: MIDR

Foto 8 – Execução de injeção de calda de cimento



Fonte: MIDR

Foto 9 – Preparo da superfície da fundação



Fonte: MIDR

Foto 10 – Vista da fundação nas imediações de encontro com a tomada d'água.



Fonte: MIDR

Foto 11 – Vista lateral da complementação do muro lateral da tomada d'água.



Fonte: MIDR

Foto 12 – Serviço de recomposição do maciço da barragem.



Fonte: MIDR

Foto 13 - Serviço de recomposição do maciço da barragem



Fonte: MIDR

Foto 14 – Realização de ensaios de controle tecnológico do aterro.



Fonte: MIDR

Foto 15 – Vista superior do trecho em recuperação da barragem.



Fonte: MIDR

Foto 16 – Execução do filtro vertical.



Fonte: MIDR

Foto 17 - Execução do filtro vertical.



Fonte: MIDR

Foto 18 – Vista da evolução do aterro de recomposição do maciço da barragem.



Fonte: MIDR

Foto 19 – Execução do aterro de recomposição do maciço



Fonte: MIDR

Foto 20 – Recomposição do aterro do maciço.



Fonte: MIDR

Foto 21 - Recomposição do aterro do maciço.



Fonte: MIDR

Foto 22 – Execução do filtro vertical



Fonte: MIDR

Foto 23 - Execução do filtro vertical.



Fonte: MIDR

Foto 24 – Inspeção desta Supervisão do aterro de encontro com a estrutura da TUD.



Fonte: MIDR

Foto 26 – Início da remoção da ensecadeira.



Fonte: MIDR

Foto 28 – Vista da proteção do talude a jusante.



Fonte: MIDR

Foto 25 – Detalhe da construtivo da junta.



Fonte: MIDR

Foto 27 – Remoção da ensecadeira.



Fonte: MIDR

Foto 29 - Vista da proteção do talude a jusante.



Fonte: MIDR

Foto 30 – Plataforma para instalação da instrumentação.

Fonte: MIDR

Foto 31 – Execução de instrumentação no paramento de jusante.

Fonte: MIDR

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Consideramos que foram adotadas todas as medidas preventivas necessárias para manutenção da segurança e bem-estar da população residente na área de influência do Reservatório Barreiros.

Conforme documentado nas fichas de inspeção, para cada um dos itens inspecionados, e em particular para aqueles onde se detectou algum tipo de anomalia, foi atribuído o seu respectivo NPA. Dessa forma, em consulta às fichas, verifica-se que durante a inspeção de segurança o máximo NPA atribuído foi igual a 1, o que significa Nível de atenção. “Quando determinada anomalia não compromete de imediato a segurança da barragem, mas, caso venha a progredir, pode comprometê-la, devendo ser controlada, monitorada ou reparada”. Não houve atribuição de NPA igual a 2 ou 3 em nenhum caso.

Assim, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (2020), define que: “

O Nível de Perigo Global do Reservatório Barreiro é classificado com Atenção (NPGB =1). De acordo com a ANA o NPGB = 1 de Atenção diz que: Quando o efeito conjugado das anomalias não compromete de imediato a segurança da barragem, mas caso venha a progredir, pode comprometê-la, devendo ser controlada, monitorada ou reparada.

A Resolução n.º 236 de 30 de janeiro de 2017, da Agência Nacional de Águas (ANA) e atualizada pela Resolução 121 de maio de 2022 estabelece o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Relatório de Inspeção de Segurança. Com base nesta resolução, Art. 12, parágrafo único, ao final da inspeção deverá ser determinado um Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB), que será no mínimo igual ao NPA (Nível de Perigo da Anomalia) de maior gravidade. ANA (2020).

Vale ressaltar que são realizadas verificações regulares de segurança nos Reservatórios periodicidade, sendo registrados comportamentos anormais nos períodos seco e chuvoso, sendo destacados:

- Continuidade do sistema de monitoramento por meio da auscultação e inspeção rotineira da barragem;

- Elaborar um planejamento para a correção das anomalias aqui apresentadas dentro de um prazo proporcional à gravidade identificada;
- Certificar-se de que as anomalias mais graves sejam monitoradas e acompanhadas, quanto a sua evolução, para o caso de mudanças acentuadas no carregamento da barragem e demais estruturas associadas.

Nesse sentido, com base nos relatórios periódicos de inspeção de segurança, conclui-se que não foram detectados desvios de magnitude que pudessem ameaçar a segurança geral da estrutura da barragem Barreiro até a publicação deste Artigo Científico.

Com base nas anomalias identificadas na presente inspeção, conclui-se que a Barragem possui Nível de Perigo Global de Atenção (NPGb = 1), ou seja, quando o efeito conjugado das anomalias não compromete de imediato a segurança da barragem, mas caso venha a progredir, pode comprometê-la, devendo ser controlada, monitorada ou reparada.

REFERÊNCIAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: informe anual**. Brasília: ANA, 2020b.

COSTA, W. D. **Geologia de barragens**. São Paulo, Ed. Oficina de Textos, 2012.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS. **A história das barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens**. Rio de Janeiro, 2011.

CRUZ, PAULO TEIXEIRA DA. **100 barragens brasileiras**: casos históricos, materiais de construção, projeto. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 1996.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens**. Brasília, 2002.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Manual de Preenchimento da Ficha de Inspeção de Barragem**. Brasília, 2010.

Estudo de caso acerca do reforço estrutural das transições do aqueduto sobre a BR 316 (WBS 2304), Trecho V, Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF)

Genivaldo Andrade de Oliveira
Alberis Lindôso da Silva
Stênio de Sá e Albuquerque Júnior
Renato Coelho Angelim
Jéssica Álida Gomes de Abreu
Maurício Serafim dos Santos

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo apresentar estudo de caso acerca do reforço estrutural das transições do aqueduto sobre a BR 316 (WBS 2304), Trecho V, Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF).

INTRODUÇÃO

O aqueduto WBS 2304 sobre a BR 316 é a primeira obra de arte do Eixo Leste após a estação de bombeamento EBV-1, pertencente à Meta 1L. Esta obra possui 146m de extensão e é formada por duas transições, uma a montante e outra a jusante, ambas com 22m cada, mais os módulos de aquedutos de 10m, 25m e 32m independentes apoiados em pilares com utilização de aparelhos de apoio de neoprene.

A transição de jusante que é o objeto do estudo, foi projetada e executada apoiada diretamente sobre aterro compactado, com seção hidráulica variável. A espessura das paredes é de 0,40m e a laje é variável, sendo 0,40m nas extremidades e 0,20m no centro. As vedações entre a transição e o aqueduto, e transição e o canal, é por meio de junta externa tipo Jeene JJ 4050 M com 40mm de espessura.

Histórico do ocorrido

Após o primeiro teste de operações na estação de bombeamento EBV-1 entre os reservatórios de Itaparica e Areias, trecho no qual se



encontra este aqueduto, foi detectada surgência de água na lateral do aterro na transição de jusante.

Com o objetivo de investigar a possível causa deste vazamento, foi feita uma trincheira na região do vazamento ao lado da transição verificando intenso fluxo de água na parte inferior da laje, e recalque do aterro embaixo da estrutura, chegando a separar-se o aterro da laje da transição. Foi observado também trincas no consolo da cortina de contenção do módulo de 10m e várias fissuras nas paredes da transição. Seguidamente foi executada uma ensecadeira a jusante da transição para esvaziar a estrutura, medida essencial para diminuir o carregamento interno na estrutura e conter o efeito negativo da água sobre o aterro.

Após a visita técnica foram propostas algumas investigações com o objetivo de analisar melhor as causas destes problemas. Entre as pesquisas solicitadas, se pedia uma sondagem no solo na lateral da transição próxima à junta com o aqueduto, para determinar a profundidade do solo mole e do solo resistente e as características do aterro. Também foi solicitado uma investigação na laje da transição na região próxima do canal para verificar as condições do aterro nesta zona onde não parecia que o aterro tinha se acomodado. Esta pesquisa seria extraindo amostras de concreto ao longo do eixo da laje. E um levantamento topográfico pela parte interna da transição para descobrir as deformações da laje de fundo e possível recalque em comparação com as cotas de projeto. Este levantamento topográfico também foi solicitado para a transição de montante.

Na transição de montante foi proposto fazer uma trincheira na lateral da transição para investigar as condições estruturais dos consolos das cortinas, sendo observados os seguintes problemas na estrutura da transição de jusante:

- Acomodação e recalque do aterro sob a laje da transição;
- Fissuras nas paredes da transição;
- Trincas no consolo da cortina do módulo de 10m;
- Trincas na superfície inferior da laje da transição.

Para melhor analisar os acontecimentos ocorridos com a transição e a solução para reforço da estrutura, foi necessário fazer pesquisas adicionais que comprovassem a deformação e o estado de apoio de toda a laje de fundo da transição no aterro.

Uma das investigações foi medir as elevações ao longo do eixo da transição para determinar possíveis flechas na laje de fundo. Também foi extraído testemunhos de concreto ao longo do eixo da laje para avaliar se o aterro estava em contato com a laje, e até que extensão o aterro oferecia capacidade de suporte.

Foi realizado também uma investigação do corpo do aterro por meio de sondagem na lateral da transição com o propósito de conhecer a profundidade do aterro mole e a do aterro compactado, para se permitir o dimensionamento e tipo de fundação mais adequada necessária para reestabelecer a capacidade resistente da estrutura.

SOLUÇÕES DE REFORÇO ESTRUTURAL

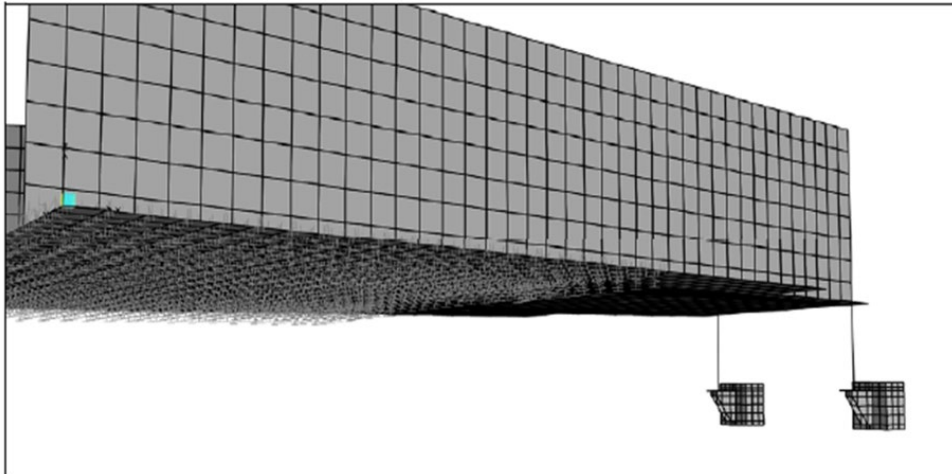
Escoramento provisório da extremidade da transição para alívio de carga no console de concreto

Com objetivo de aliviar a carga no console de concreto da cortina do modulo de 10m, na região sob as paredes da transição será acrescentado um console metálico a cada lado da transição apoiado nos pilares de concreto.

Nestes consolos metálicos serão colocadas escoras metálicas que transmitirão diretamente a carga das paredes da transição para o pilar de concreto aliviando a carga do console de concreto.

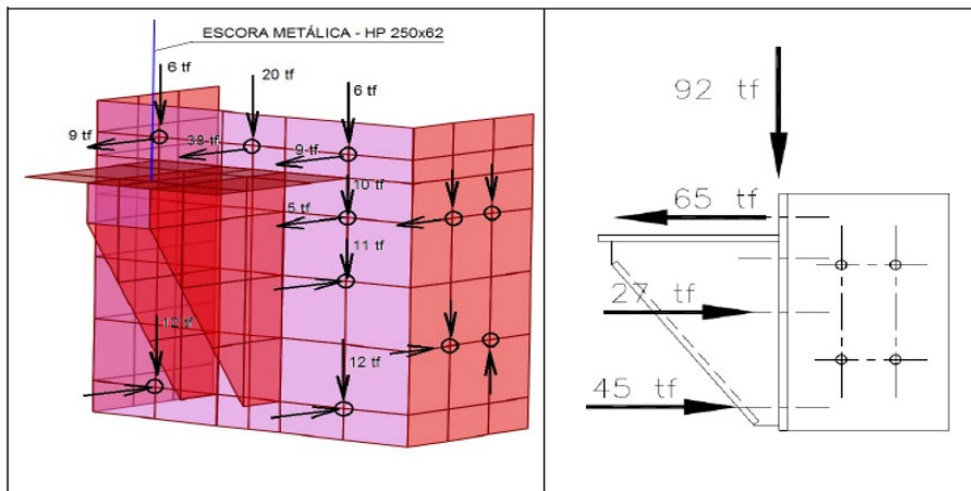
Para o cálculo destes consolos provisórios foi feito um modelo de cálculo estrutural adicionando à estrutura os consolos e as escoras metálicas (Figuras 01 e 02). Com este modelo estrutural foi determinado também as solicitações que os consolos metálicos transmitem aos pilares de concreto, para verificação destes.

Figura 1 - Modelo estrutural para cálculo dos consolos metálicos provisórios.



Fonte: MIDR.

Figura 2 - Cargas transmitidas pelo console metálico provisório ao pilar de concreto.



Fonte: MIDR

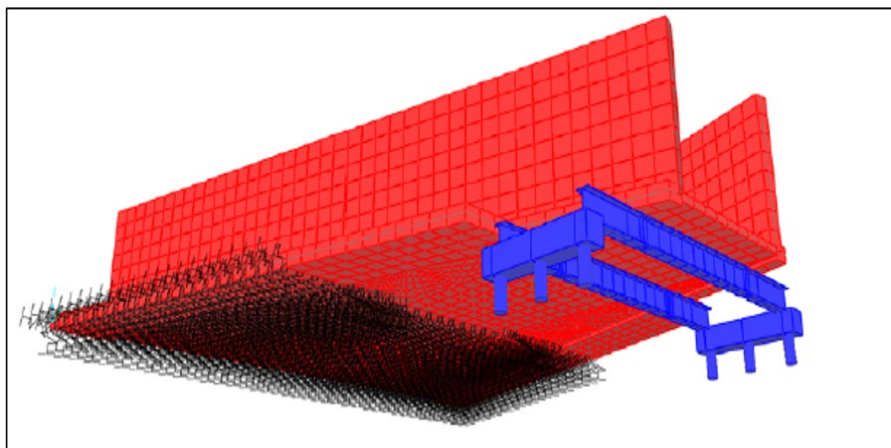
Cabe registrar que os consolos metálicos provisórios apoiados nos pilares de concreto do módulo de 10m do aqueduto não foi uma solução definitiva para reforço do apoio da extremidade da transição. Estes consolos apenas serviram para escorar a extremidade da transição e aliviar a carga no consolo de concreto armado da cortina até a execução do reforço definitivo.

Reforço da extremidade junto ao módulo de 10 m do aqueduto

Com o propósito de restabelecer a capacidade de suporte à estrutura da transição de jusante e diminuir a carga no consolo de concreto armado da cortina do módulo de 10m do aqueduto, foi dimensionado um reforço estrutural, que consiste na execução de duas vigas metálicas embaixo da laje de fundo próximas à junta de dilatação, para substituir o apoio que o aterro deveria oferecer.

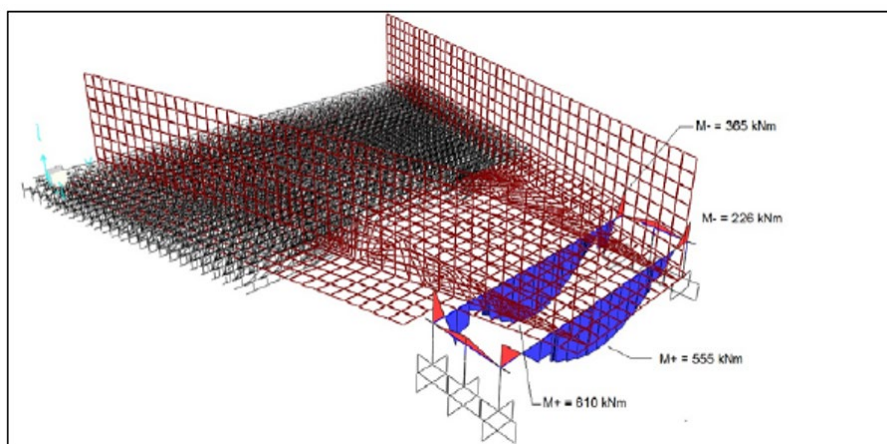
As vigas metálicas de reforço se apoiarão em blocos de concreto com estacas profundas, do tipo micro estacas de diâmetro 100 mm. Após a execução das vigas metálicas, a estrutura será reaterrada, de maneira que foi considerado o peso do aterro acima do bloco e das estacas de fundação.

Figura 3 - Modelo da solução de reforço estrutural com vigas metálicas.



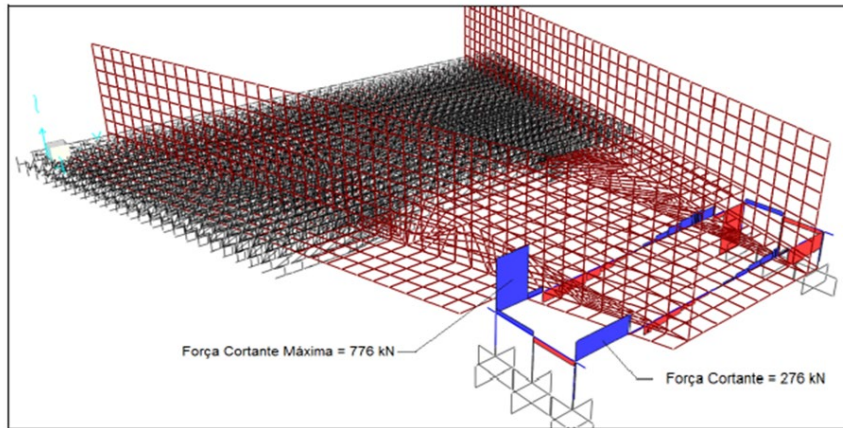
Fonte: MIDR

Figura 4 - Momento fletor nas vigas metálicas.



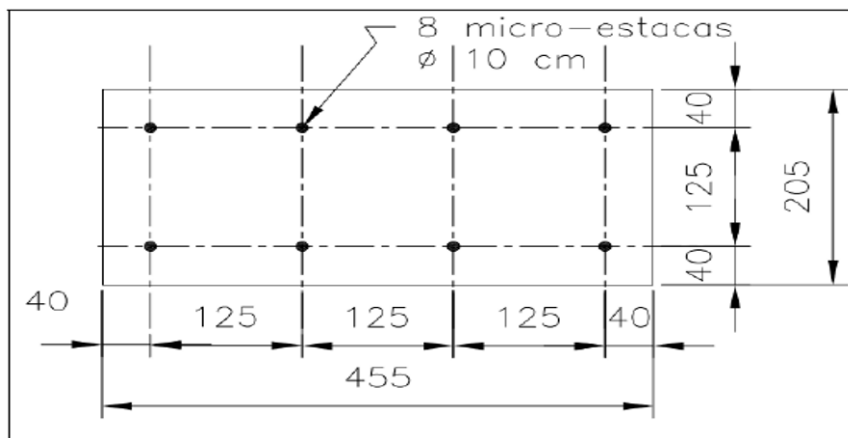
Fonte: MIDR

Figura 5 - Força cortante atuando nas vigas metálicas.



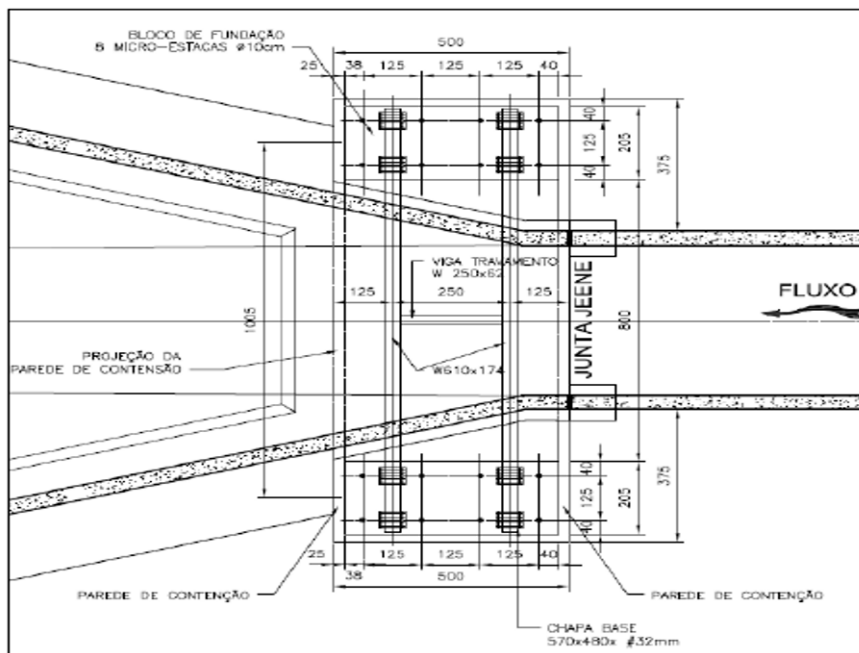
Fonte: MIDR

Figura 6 - Bloco de fundação com oito micro estacas.



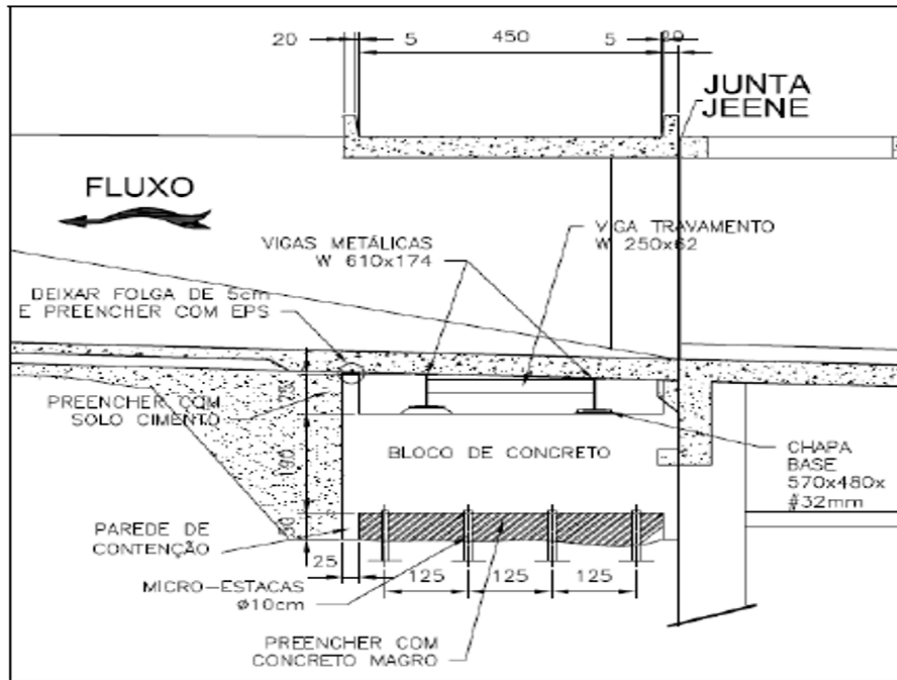
Fonte: MIDR

Figura 7 - Planta do reforço utilizando duas vigas metálicas apoiadas em blocos de fundação com 8 micro estacas.



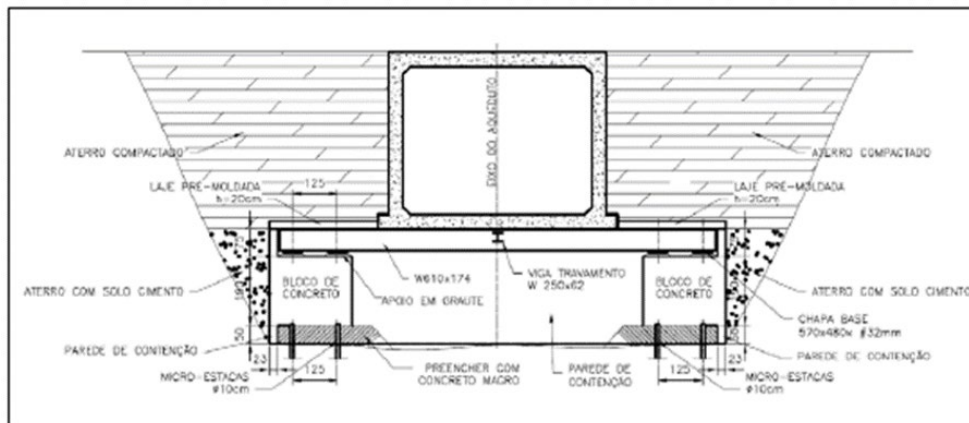
Fonte: MIDR

Figura 8 - Elevação do reforço utilizando duas vigas metálicas apoiadas em blocos de fundação com 8 micro estacas.



Fonte: MIDR

Figura 9 - Vista frontal do reforço utilizando duas vigas metálicas apoiadas em blocos de fundação de 8 micro estacas.



Fonte: MIDR

Reforço da laje de fundo da transição

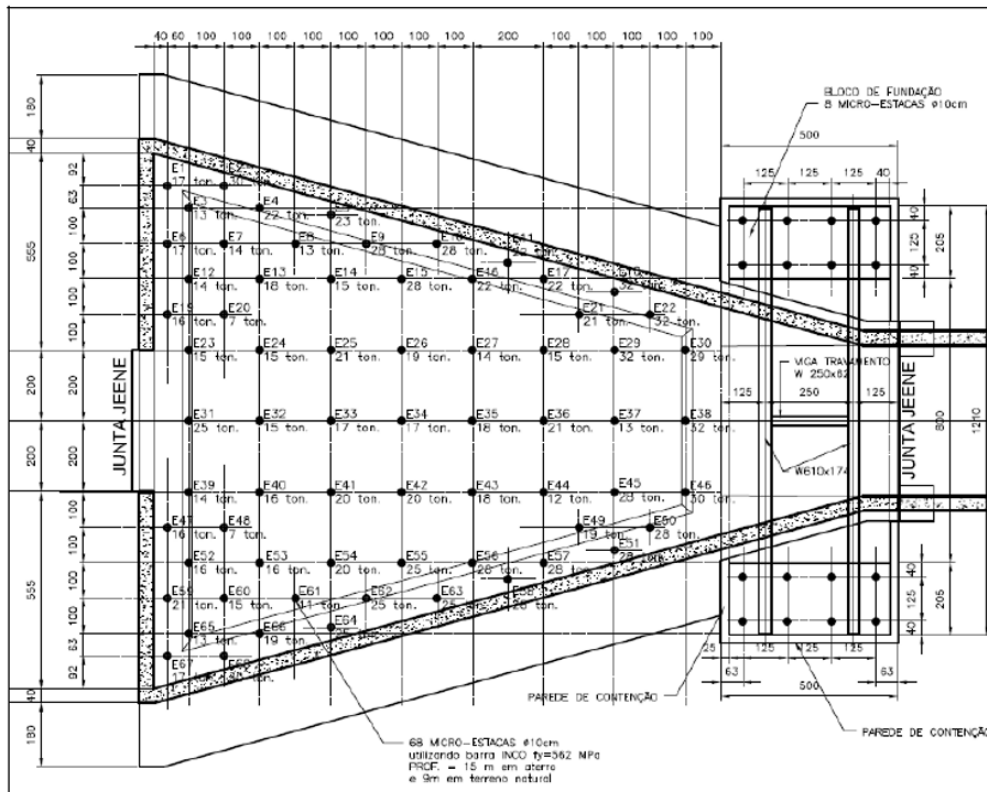
Na extremidade próxima ao consolo do módulo de 10 do aqueduto a estrutura foi reforçada adicionando vigas metálicas para apoiar a laje da transição nesta área. No restante da laje o reforço foi por meio de estaqueamento já que não foi possível reabilitar a capacidade de suporte do aterro, sendo considerado no cálculo que o aterro sob a laje da transição não oferece capacidade resistente para apoio da estrutura.

Esta premissa é conservadora e se justifica, uma vez que não foi realizada as sondagens para um melhor entendimento sobre as características e condições de suporte do aterro.

Para o cálculo das estacas e da laje de fundo da transição foi feito um modelo de

cálculo considerando que a laje se apoia diretamente sobre as estacas. A laje foi apoiada em estacas profundas, do tipo micro estacas de diâmetro 100 mm, conforme Figura a seguir.

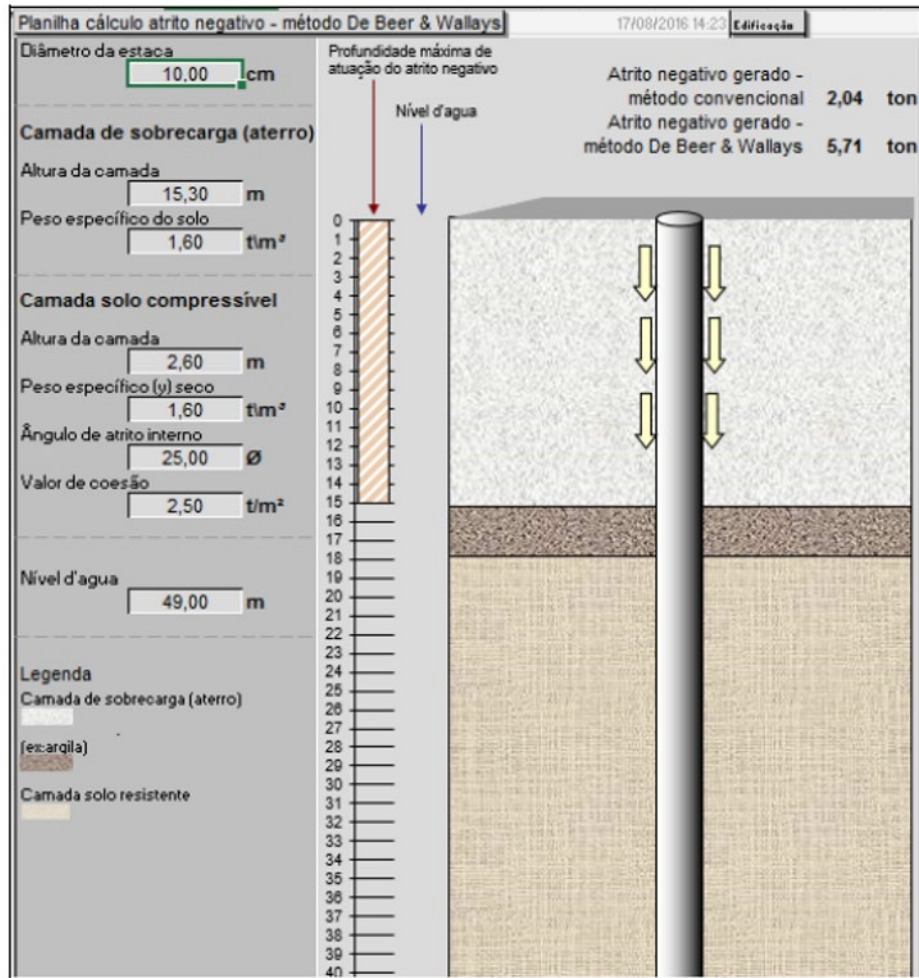
Figura 10 - Estaqueamento da laje de fundo da transição e cargas por estacas-estacas.



Fonte: MIDR

Na figura acima se observa a quantidade de estacas e a carga por estaca devido ao peso da estrutura e ao peso da água. Foi considerado que a micro estaca de diâmetro 100 mm não ultrapassasse a carga máxima de 434,9kN, obtida no dimensionamento das micro estacas.

Também foi considerado que o aterro sob a laje da transição exerce até a profundidade de 15,3m atrito negativo sobre as estacas, sendo o resultado obtido de 9,0 toneladas, solicitação essa sobre a estaca, proveniente da mobilização do aterro assim que concluída a sua execução. Desta forma a carga proveniente da estrutura não pode ultrapassar a carga de 34,5 toneladas (345kN).

Figura 11 - Cálculo do atrito negativo – $\text{Patrito} = 1,5$ $5,71\text{ton} = 9,0 \text{ ton}$.

Fonte: MIDR

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As primeiras aplicações das micro estacas consistiam em grupos de estacas levemente carregadas e destinadas a envolver e reforçar uma massa de solo instável. Atualmente as micro estacas têm uma grande aplicação no domínio das estruturas e geotecnia, estando associadas a projetos de reabilitação, reforço e de novas estruturas. Inicialmente, as micro estacas foram concebidas na Itália no começo dos anos 50, a solução de micro estacas surgiu com a necessidade de melhorar as fundações de edifícios históricos, ou seja, intervir como método de recalçamento e reabilitação. Era necessária uma técnica que fosse compatível com diferentes tipos de solos (desde solos sem coesão a solos granulares, a argilas plásticas coesas e rochas), que fosse executado em área com dimensões reduzidas, e cujos efeitos nas estruturas adjacentes fossem minimizados.

Define-se então a micro estaca como

estaca de pequeno diâmetro com extração de solo ou rocha, moldada, composta por calda de cimento de selagem e/ou injeção e tendo um perfil de aço como reforço que resiste em maior proporção à totalidade das cargas de projeto. Esta carga é majoritariamente resistida pelo aço e transferida, através da calda de cimento, ao solo circundante através de elevados valores de resistência lateral e baixos valores de resistência de ponta. (GONÇALVES, 2010, p. 28)

De acordo com Gonçalves (2010), algumas empresas desenvolveram as suas próprias micro estacas, para dar resposta às necessidades particulares do mercado, como é o caso das micro estacas GEWI (primeiramente usadas nos armazéns de Hoechst em Frankfurt pela Dywidag em 1971), as micro-estacas-RodioTubfix (utilizadas inicialmente na Suíça em 1962) e as micro estacas agulha pela Solentache em 1974.

Face ao exposto, a estrutura da transição de jusante foi recuperada com a execução do reforço utilizando vigas metálicas apoiadas em fundações externas na região da extremidade com o modulo do aqueduto, (ver Figura 7 e Figura 8). E por meio de estaqueamento na laje de fundo da transição (ver Figura 10), com o objetivo de restabelecer a capacidade de suporte à estrutura da transição de jusante já que o aterro não oferece a capacidade de apoio a transição.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Memória de Cálculo de Reforço: Relatório Técnico de Avaliação Estrutural das Transições do Aqueduto sobre a BR 316 (WBS 2304)**. 2016.

BRASIL, Ministério da Integração Nacional. **Projeto Executivo - Lote C - Relatório Final do Projeto Executivo – Eixo Leste - Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional**. Brasília, DF: MI, 2014.

GOLÇALVES, João Filipe Correia. **Influência da esbelteza no comportamento de micro estacas**: Dissertação de Mestrado / João Filipe Correia Gonçalves. 2010.

Pinto, A., **Fundações por Micro estacas e Jet Grouting - DFA Estruturas**, Instituto Superior Técnico, Lisboa. 2008.

RESENDE, A., FERNANDES, M. E DA FONSECA, A., **Um caso de fundação por micro estacas: Aspectos do projecto e da construção** - 6º Congresso Nacional de Geotecnia - A Geotecnia nas Infraestruturas de Transporte, Energia e Ambiente, Lisboa, Vol. II. 1997.

SANTOS, J., **Fundações por estacas: Acções Verticais - Elementos teóricos da cadeira de Obras Geotécnicas**, Instituto Superior Técnico, Lisboa. 2008.

Organizador

Adriano Mesquita Soares

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/PG, linha pesquisa em Gestão do Conhecimento e Inovação e Grupo de pesquisa em Gestão da Transferência de Tecnologia (GTT). Possui MBA em Gestão Financeira e Controladoria pelo Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais onde se graduou em Administração de Empresas (2008). É professor no ensino superior, ministrando aulas no curso de Administração da Faculdade Sagrada Família – FASF. É editor chefe na AYA Editora.

Índice Remissivo

A

agregado reciclado 293, 295, 296, 297, 300, 301, 307, 310
alvenaria convencional 18, 65, 66, 68, 72, 73, 74
ambiental 484, 485, 487, 489, 490
ameaças digitais 380, 387
análise 19, 21, 22, 25, 26, 28, 32, 34, 37, 52, 65, 76, 77, 83, 88, 90, 92, 93, 96, 98, 105, 106, 108, 110, 111, 113, 125, 130, 131, 134, 135, 136, 138, 139, 142, 146, 152, 153, 154
aquecimento solar 311, 312, 314, 316, 317, 319, 323
ar 13, 38, 41, 44, 46, 47, 49, 423, 424, 425, 426, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 435
argamassa de revestimento 52, 58
argamassas 38, 39, 40, 41, 42, 44, 46, 47, 48, 49, 51
arquitetônico 27, 91, 92
asfalto 160, 161, 162, 163, 164, 165, 167, 168, 169, 170, 171
atmosfera 417, 418, 419, 420, 421
autocura 492, 494, 500

B

biodiesel 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 462, 465, 466
biomineralização 492, 494, 500

C

cálcio 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 501, 502, 503
canais 135, 504, 505
capela 91, 95, 96, 97
carbonato 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 501, 502, 503
célula 14, 468, 471, 472, 474, 478, 479, 480, 481, 482
ciberespaço 408
cibersegurança 380, 382, 383, 386, 387, 388, 389, 390, 392
cimento 13, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 49, 51, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 447, 448, 449, 450
compatibilização 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135,

136, 138, 139, 140, 141
comportamento mecânico 76, 78, 87, 101
comportamento mecânico do solo 76
concreto 18, 19, 20, 21, 24, 25, 27, 28, 30, 31, 37, 50,
51, 57, 65, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 93, 98,
99, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 111,
112, 113, 114, 115, 137, 144, 145, 150, 151, 158,
159, 163, 164, 168, 169, 177, 192, 196, 197, 198,
199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 207, 208, 209,
210, 211, 212, , 213, 227, 230, 231, 235, 243, 246,
248, 250, 293, 295, 296, 297, 299, 300, 301, 302,
303, 304, 307, 309, 310, 505, 506, 507, 508, 509, 510
concreto armado 19, 27, 28, 37, 50, 51, 65, 67, 71, 72,
73, 74, 93, 99, 101, 102, 103, 104, 105, 109, 113, 115
conscientização 116
construção 17, 18, 22, 23, 26
construção civil 17, 22, 23, 26, 29, 39, 50, 52, 53, 65, 67,
72, 102, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 126, 127, 128,
129, 130, 131, 141, 142, 143, 144, 195, 197, 198,
199, 212, 213, 214, 215, 222, 229, 230, 232, 233,
235, 237, 239, 240, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248

D

deflexão 76, 81, 83
desempenho 39, 40, 51, 436, 437, 438, 439, 445, 448,
450
desempenho mecânico 39, 58, 61, 152, 197
desenvolvimento 18, 30, 34, 48, 65, 74, 76, 78, 86, 91,
92, 97
desenvolvimento de métodos construtivos 249, 250
diesel 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460,
462, 463, 464, 466
drenagem pluvial 129, 130, 133, 136

E

edifícios alto 29
efeito estufa 39, 423, 424, 434
eficiência 10, 13, 41, 423, 424, 425, 426, 428, 433, 435
eficiência energética 199, 264, 265, 270, 273
elementos finitos 101, 105, 106, 108, 109, 110, 111, 113,
114
elétrica 468, 470, 471, 472, 473, 475, 478, 479, 480, 481,
482

energética 10, 13, 423, 424, 425, 428, 433, 434, 435
energéticos 14, 451, 456, 457, 458, 459, 461, 462, 465
energia 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476,
477, 478, 479, 480, 481, 482, 483
energia renovável 342
energia solar. 318, 342, 353, 358, 359
engenharia elétrica 324, 325
engenharia moderna 29, 30, 31
estabilidade 32, 33, 56, 77, 78, 93, 104, 186, 188, 189,
192, 193, 194, 195
estabilização 436, 437, 438
estruturais 19, 27, 31, 33, 73, 91, 92, 95
estudo de viabilidade do sistema 353
etanol 451, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461,
462, 463, 467

F

fazenda miradouro 342
fibras de celulose 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 62, 64
fontes renováveis 265, 315, 343, 353, 356
fotovoltaica 11, 14, 468, 471, 472, 474, 478, 479, 480,
481, 482, 483
fotovoltaico 311, 312, 316, 319, 321, 322, 343, 349,
353, 355, 356, 358, 359, 362, 364, 366, 367, 368
fotovoltaicos 311, 312, 318, 319, 320, 321

G

gases 39, 423, 424, 434
gasolina 451, 452, 453, 454, 455, 456, 460, 462
geração de energia solar 318, 342, 344

H

hídrico 417, 418, 419, 420, 421

I

implementação 65, 119, 121, 126, 172, 173, 174, 175,
177, 178, 179, 183, 184

incorporação 38, 41, 42, 43, 44, 47, 48, 49, 51
indústria 423, 428, 431
inovação 72, 184, 214
inteligência artificial 12, 380, 382, 384, 385, 387, 388,
394, 396, 397, 398, 400, 404, 405

L

lajes 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28
líquidos 14, 451, 452, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461,
462, 464, 465, 467
logística 89, 130, 131, 176, 240, 369, 370, 372, 373

M

machine learning 394, 395, 396, 398, 399, 405
manutenção 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401,
402, 403, 404, 405, 406
matriz energética sustentável 342
mecânico 39, 44, 48, 436, 437, 448, 450
meio ambiente 119, 187, 213, 214, 215, 231, 232, 233,
239, 242
métodos construtivos 20, 24, 30, 65, 75, 142
métodos construtivos tradicionais 65
método tradicional 29
microcontrolador 324, 325, 327, 328, 331, 332, 333,
336
microsílica 38, 40, 41, 42, 45, 47, 48, 49
modelagem 417, 418, 419
módulo fotovoltaico 311

N

normas de segurança 93, 116, 120, 126

P

painéis fotovoltaicos 485, 486, 487
papel reciclado 52, 53, 54
patologias 68, 69, 96, 160, 161, 164, 165, 166, 167,
168, 169, 171

pavimento fresado 186, 193
permeável 164, 293, 295, 297, 298, 299, 300, 303, 304,
307, 310
potencial 39, 417, 418, 419, 420, 421
pré-moldados 17, 26
prevenção 33, 117, 118, 119, 123, 160, 161, 163
projeto 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 29, 30, 31,
32, 34, 35, 39, 68, 69, 71, 74, 88, 89, 91, 92, 93, 95
projetos arquitetônicos 73, 91, 92
propriedades do solo 249, 250, 251

Q

quantitativa 20, 131, 234, 264

R

reciclagem 63, 187, 188, 189, 195, 196, 197, 199, 213,
214, 215, 216, 224, 225, 226, 227, 228, 229
recuperação 91, 93, 160, 161, 163, 169
rede neural 394, 404
redução de acidentes 172, 175, 177, 183
resíduos 10, 14, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490
resistência 18, 34, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 47, 48, 49, 52,
53, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 64, 66, 67, 68, 72,
76, 77, 78, 80, 81, 82, 101, 103, 106, 107, 109, 112,
114, 116, 119, 124, 127, 142, 143, 144, 145, 150,
153, 154, 155, 157, 158
resistência hídrica 417, 420
restauro 91, 92, 95, 97, 99

S

segurança individual 116
segurança viária 172, 173, 174, 175, 176, 183
sincronização 324, 325, 339, 340
sincronização de semáforos 324, 325, 340
sistema 5, 18, 21, 25, 33, 34, 36, 40, 65, 66, 67, 68, 69,
72, 73, 74, 75
sistema construtivo 18, 65, 66, 72, 74, 75
sistema de abastecimento de água 130, 135, 136
solar 468, 469, 470, 471, 472, 479, 480, 481, 482, 483
solo 10, 13, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 445,

447, 448, 449, 450
sustentabilidade 52, 72, 74, 75, 92, 126, 184, 188, 197,
198, 199, 213, 214, 216, 230, 232, 240, 242, 265,
314, 342, 350
sustentável 52, 67, 74, 199, 201, 213, 214, 215, 229,
230, 246, 249, 250, 252

T

técnicas de fundação 29
tecnologia 17
toxicidade 484, 485, 487, 489
tráfego urbano 172

U

usina fotovoltaica 342, 344

V

vazamento 423, 425, 426
viabilidade 25, 74, 75, 195, 213, 214, 215, 222, 229,
231, 246, 262, 264, 270, 273, 275
virtuais 408
vulnerabilidade 13, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414,
415

W

Watts 327, 328, 331, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339



AYA EDITORA
2023