

ORGANIZADOR  
RAFAEL PACHECO DOS SANTOS

# ENGENHARIA CIVIL:

CONCEITOS FUNDAMENTAIS  
E APLICAÇÕES PRÁTICAS

 **Atena**  
Editora  
Ano 2024

ORGANIZADOR  
RAFAEL PACHECO DOS SANTOS

# ENGENHARIA CIVIL:

CONCEITOS FUNDAMENTAIS  
E APLICAÇÕES PRÁTICAS

 **Atena**  
Editora  
Ano 2024

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2024 Os autores

Copyright da edição © 2024 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

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

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

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

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

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

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

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

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

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

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

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

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

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

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

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

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

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

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

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

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

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

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

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

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

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

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

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

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

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

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

## Engenharia civil: conceitos fundamentais e aplicações práticas

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Flávia Roberta Barão  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Rafael Pacheco dos Santos

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)</b>	
E57	<p>Engenharia civil: conceitos fundamentais e aplicações práticas / Organizador Rafael Pacheco dos Santos. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.</p> <p>Formato: PDF  Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  Modo de acesso: World Wide Web  Inclui bibliografia  ISBN 978-65-258-2256-3  DOI: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.563240202">https://doi.org/10.22533/at.ed.563240202</a></p> <p>1. Engenharia civil. I. Santos, Rafael Pacheco dos (Organizador). II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 624</p>
<b>Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166</b>	

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

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

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

O contínuo desenvolvimento científico e tecnológico da Engenharia Civil é fundamentado em trabalhos teóricos e experimentais de acadêmicos e professores divulgados em livros e revistas técnicas de boa qualidade. Em “Engenharia Civil: Conceitos Fundamentais e Aplicações Práticas 2” é possível encontrar conceitos e análises que exemplificam tal afirmação.

A obra é formada por sete capítulos que dissertam por diversos assuntos. É possível encontrar textos que abordam o aprendizado da Engenharia Civil, inspeções e monitoramento dinâmico de pontes, análises experimentais de adição de fibras de aço e resíduo de cerâmica na aplicabilidade do concreto Portland em setores específicos, avaliações mecânicas da influência do teor de umidade de madeiras e a viabilidade de biodigestores de baixo custo para geração de biogás.

Com uma abordagem fácil e objetiva, a obra se mostra de grande relevância para pesquisadores e profissionais dos mais diversos níveis, apresentando temas relevantes e atuais.

Aos autores, agradeço pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura!

Rafael Pacheco dos Santos

**CAPÍTULO 1 ..... 1**

EXPLORANDO A CRIATIVIDADE NA ENGENHARIA CIVIL: O PAPEL DO ESPAÇO MAKER NO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL NO IFAM CAMPUS MANAUS CENTRO

Silvana Viana Cád  
Cristiane Pereira de Aguiar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5632402021>

**CAPÍTULO 2 ..... 14**

ANÁLISE DO GRAU DE DEGRADAÇÃO DAS PONTES DE CONCRETO ARMADO

Diego Sebastian Carvalho de Souza  
Richard Poli Soares

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5632402022>

**CAPÍTULO 3 .....32**

DYNAMIC MONITORING OF AN OLD LONG CONCRETE BRIDGE

Alberto Ortigão  
Waldeli Braz  
Claudio Martins  
Cristiana Ortigão

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5632402023>

**CAPÍTULO 4 .....44**

COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRA DE AÇO VISANDO APLICAÇÃO EM PAVIMENTOS

Eduarda Lemos Rodrigues  
Lucas Eduardo Dornelles  
Victória Nunes-Ramos  
Silvio Lisboa Schuster

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5632402024>

**CAPÍTULO 5 .....58**

ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE POLIMENTO DE PORCELANATO NO DESEMPENHO MECÂNICO E NA DURABILIDADE DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Karina dos Santos Fernandes de Souza  
Diego de Paiva Bezerra  
Débora Emmanuele de Sousa Oliveira  
Maria Jordânia Medeiros Pereira  
Maria de Lourdes Soares de Sousa  
Fabiola Luana Maia Rocha  
Lucas Moura Delfino  
Denn's Santana Perônica  
Leane Priscilla Bonfim Sales  
Rochanna Alves Silva da Rocha  
Iranilza Costa da Silva

Silvânio da Silva Sousa Segundo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5632402025>

**CAPÍTULO 6 .....68**

STUDY OF THE PHYSICAL-MECHANICAL STRENGTH AND MOISTURE CONTENT OF MAÇARANDUBA WOOD (*MANILKARA SPP*) MARKETED FOR CIVIL CONSTRUCTION IN GURUPI-TO

Marcos Antonio Souza Oliveira Soares

Mauro Luiz Erpen

Maria Cristina Bueno Coelho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5632402026>

**CAPÍTULO 7 .....89**

ESTUDO DE VIABILIDADE NA IMPLEMENTAÇÃO DE BIODIGESTORES DE BAIXO CUSTO PARA GERAÇÃO DE BIOGÁS

Caio Marcello Felbinger Azevedo Cossú

Deverton Luiz da Silva Braga

Caio Loureiro Rodrigues

Maria Eduarda Zeni Machado

Samuel Resende Pimentel da Costa

Nathalie de Souza

Edson José da Fonseca Faria

Sérgio Roberto Amaral

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5632402027>

**SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 102**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 103**

## EXPLORANDO A CRIATIVIDADE NA ENGENHARIA CIVIL: O PAPEL DO ESPAÇO MAKER NO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL NO IFAM CAMPUS MANAUS CENTRO

*Data de submissão: 29/11/2023*

*Data de aceite: 01/02/2024*

### **Silvana Viana Cád**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Amazonas  
Manaus- AM  
<http://lattes.cnpq.br/9559903598651194>

### **Cristiane Pereira de Aguiar**

Professora - Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia do  
Amazonas  
Manaus- AM  
<http://lattes.cnpq.br/8948885803989120>

**RESUMO:** Com o avanço das novas tecnologias e uso das inteligências artificiais, o perfil profissional dos futuros Engenheiros Civis precisa estar em constante evolução e incluir novas habilidades e competências. Já não basta apenas ter um profundo conhecimento técnico; é necessário também agregar em seus currículos experiências de criatividade, capacidade de encontrar diferentes soluções para diferentes problemas, trabalho em equipe, negociação e gestão do tempo, além de uma mentalidade construtiva adaptada ao convívio destas novas tecnologias. A busca por estas competências e a experiência dentro IFMaker CMC motivou o estudo

apresentado neste artigo, tendo como principal objetivo demonstrar e fomentar a consciência dos ganhos utilizando as metodologias ativas no espaço *maker* do IFAM Campus Manaus Centro e sua aplicabilidade na formação dos futuros engenheiros. Para isso, a metodologia adotada baseia-se em pesquisas bibliográficas em artigos científicos, dissertações e livros acerca do uso da cultura *maker* (metodologia ativa) como ferramenta pedagógica, que vem crescendo exponencialmente, principalmente no uso educacional para a formação de novos profissionais. Vale ressaltar que o presente estudo também se propõe apontar caminhos para a inclusão da cultura *maker* por meio de oficinas ou desenvolvimento de projetos de pesquisa, no processo de ensino aprendizagem do curso de Engenharia Civil do IFAM Campus Manaus Centro.

**PALAVRAS-CHAVE:** cultura *maker*. empreendedorismo educacional. inovação. engenharia civil. *makerspace*.

# EXPLORING CREATIVITY IN CIVIL ENGINEERING: THE ROLE OF THE MAKER SPACE IN THE CIVIL ENGINEERING COURSE AT IFAM CAMPUS MANAUS CENTRO

**ABSTRACT:** With the advancement of new technologies and the use of artificial intelligence, the professional profile of future Civil Engineers needs to be constantly evolving and include new skills and competencies. It is no longer enough to just have in-depth technical knowledge; It is also necessary to add creativity experiences, the ability to find different solutions to different problems, teamwork, negotiation and time management to your CV, as well as a constructive mindset adapted to living with these new technologies. The search for these skills and experience within IFMaker CMC motivated the study presented in this article, with the main objective of demonstrating and promoting awareness of the gains using active methodologies in the maker space at IFAM Campus Manaus Centro and their applicability in the training of future engineers. To achieve this, the methodology adopted is based on bibliographic research in scientific articles, dissertations and books about the use of maker culture (active methodology) as a pedagogical tool, which has been growing exponentially, mainly in educational use for training new professionals. It is worth mentioning that the present study also aims to point out ways for the inclusion of maker culture through workshops or development of research projects, in the teaching-learning process of the Civil Engineering course at IFAM Campus Manaus Centro.

**KEYWORDS:** culture maker. educational entrepreneurship. innovation. civil engineering. makerspace.

## 1 | INTRODUÇÃO

O mercado tem exigido profissionais cada vez mais capacitados e atualizados, segundo Rocha (2022), o que tem motivado a reformulação dos programas de ensino das faculdades de engenharia, buscando não só aproximar o perfil dos futuros profissionais aos anseios da indústria como também a implementação de novos métodos de **aprendizagens por competências**, que focam nas aptidões técnicas e comportamentais e com maior desenvoltura para solucionar problemas e tomar decisões.

Akyazi *et al.* (2020 tradução nossa), destaca que “o primeiro passo, portanto, é identificar as atuais necessidades de competências e só então será possível preparar programas de formação bem-sucedidos capazes de suprir a demanda do mercado através da melhoria das competências e da requalificação da mão-de-obra”.

Uma das formas de buscar o desenvolvimento destas competências, que vem sendo largamente utilizada pelas universidades de engenharia, é o uso da cultura *maker*, que tem se mostrado uma ferramenta eficaz como aprendizagem baseada em projetos, “é um elemento importante na formação de um engenheiro, porque dá oportunidades para os alunos encontrarem o inesperado e exercitarem a sua criatividade”, segundo Harnett, Tretter e Philipp (2014 tradução nossa).

A ideia deste artigo surgiu a partir da oportunidade de estágio no espaço IFMaker

CMC, observando as práticas e participando ativamente dos projetos e oficinas ali desenvolvidos e pretende analisar os ganhos do uso desta ferramenta metodológica para o ensino de Engenharia Civil do IFAM Campus Manaus Centro e como essa abordagem pode influenciar a formação dos futuros profissionais, utilizando-se, além das observações *in loco*, levantamento bibliográfico, baseando-se em estudos relevantes extraídos de artigos e dissertações de renomados pesquisadores, a fim de incentivar e potencializar a reflexão e discussão do tema em questão, além de fortalecer as práticas pedagógicas, dada a relevância do tema e a disponibilidade do espaço, equipado há cerca de 2 anos.

Outro objetivo fundamental para este trabalho é propor uma rotina de divulgação e conscientização que inclua o departamento de infraestrutura em cursos e oficinas do IFMaker CMC

## 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em 2022, de acordo com os dados do IBGE, a construção civil no Brasil alcançou expansão de 2,9%, alavancada pelo PIB da Construção Civil que subiu 6,9% e sendo responsável por cerca de 10% de todos os empregos formais criados nos 12 meses daquele ano (Jornal do Comércio, 2023).

Simultaneamente a esse crescimento, para manter-se no mercado é necessário estar atualizado às novas tecnologias e nesse aspecto, Costa *et al.* (2019, p.4), define que “a maior dificuldade que as empresas de engenharia encontram para implementar os conceitos da Indústria 4.0 em seus negócios é a ausência de cultura digital e treinamentos específicos com a mão de obra desses negócios”.

E o mercado profissional vem reagindo ao impacto da evolução das ferramentas tecnológicas aplicadas às atividades de Engenharia Civil, principalmente com os recursos proporcionados pela indústria 4.0, onde tudo precisa ser mais ágil, eficiente e eficaz, adaptados ao uso de drones, tablets, elementos robotizados e tudo isso de forma prática e de fácil acesso (SIMÃO *et al.*, 2019).

Como empreendedores, os futuros engenheiros precisam ser incentivados a resolver problemas concretos, mais próximos àqueles onde irão trabalhar, vivenciando experiências *hands-on* (mão na massa), para isso é imprescindível a utilização de metodologias educacionais como ferramenta para o desenvolvimento da nova geração de engenheiros (OLIVEIRA, 2023).

Akyazi, *et al.* (2020) realizou profundo estudo sobre as competências necessárias ao setor de engenharia civil nos países da União Européia, subdividiu e enumerou 10 tipos de perfis profissionais, com suas respectivas atribuições, dentre os quais destacamos:

- a) Perfil 4 – Engenheiros civis
- b) Perfil 8 – Técnicos de engenharia civil

Ao final do estudo, atribuiu as novas competências necessárias aos futuros

profissionais, representados na Tabela 1, de acordo com cada perfil enumerado anteriormente.

Habilidades específicas x Perfil	4	8
Aplicação de novas tecnologias à engenharia civil	x	x
Drones	x	x
Metodologia BIM	x	x
Construção robótica	x	x
impressão 3D	x	x
Digitalização a laser 3D	x	x
Novos materiais de construção	x	x
Procedimentos de qualidade relacionados à transformação digital	x	x
Eficiência energética de edifícios e infraestruturas.	x	x
Gestão de riscos relacionados com as alterações climáticas	x	x
Gestão sustentável de resíduos – Economia Circular	x	x
Gestão sustentável de recursos	x	x
Gerenciamento de projetos	x	
Ergonomia	x	

Tabela 1 – Competências de futuro próximo para cada perfil: Competências específicas.

Fonte: Fonte: Akyazi, *et al.* (2020 tradução nossa)

## 2.1 MOVIMENTO MAKER – DESENVOLVENDO HABILIDADES E COMPETÊNCIAS

Fala-se em metodologias ativas como apoio ao ensino desde a década de 1980 e foram mais amplamente utilizadas no cenário educacional brasileiro na pandemia da Covid-19, em 2020, revelando, entre outros desafios, as fragilidades dos municípios que compõem o Amazonas, seus problemas de conectividade, transporte e comunicação (MAIA, 2023).

Silva e Villas-Bôas (2019) define que o uso da cultura *maker* como metodologia ativa possibilita o aprendizado a partir da experimentação com o aluno no papel de protagonista, construindo seu conhecimento com base nas experiências de erros e acerto vivenciadas no espaço *maker* e tendo o professor como um facilitador.

Apesar de ter sido difundido mundialmente a partir da criação do Dia Nacional do Making por Barack Obama em 2014, um dos grandes e importantes marcos utilizando o termo *maker* deu-se em 2013, quando é lançado “The Maker Movement Manifesto: Rules for Innovation in the New World of Crafters, Hackers, and Tinkerers” (“O Manifesto do Movimento Maker: Regras para Inovação no Novo Mundo dos Artesãos, Hackers e Reformadores”), livro de Mark Hatch, cujos 10 princípios foram representados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** (Expedição Maker ICBEU Manaus, 2022).

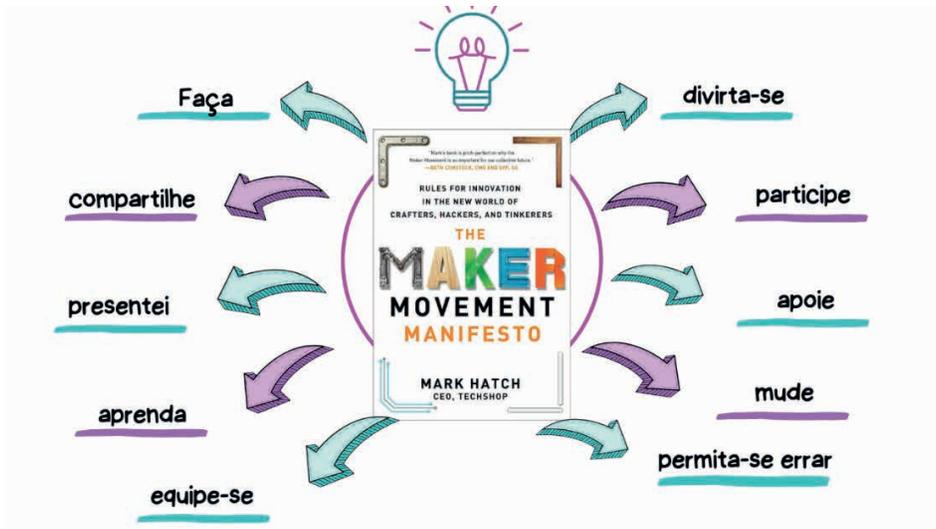


Figura 1 - Mapa mental sintetizando os princípios do movimento *maker*, segundo Hatch

Fonte: elaborado pela autora

Com a difusão e estudos deste tipo de método de aprendizado, algumas escolas passaram a incorporar espaços às suas rotinas metodológicas e um dos espaços *makers* mais antigos na Europa é em Barcelona, na Espanha, inaugurado em 2007 e no Brasil, o município de São Paulo foi primeiro adotar os Fab Lab Livre SP como política pública em meados de 2016 (Hirabahasi *et al.*).

## 2.2 SOBRE O IFMAKER CMC

O laboratório *maker* do IFAM Campus Manaus Centro possui atualmente cerca de 80m<sup>2</sup> e foi inaugurado em 04 de setembro de 2021, contemplando: 07 impressoras 3D de pequeno porte, 02 impressoras 3D de médio porte, 01 impressora 3D de grande porte, 01 router CNC Laser, 10 kit Arduino/Robótica; 10 notebooks além de muitas outras ferramentas como parafusadeira/furadeira, canetas 3D, plotter de corte vinil, entre outras.

Denominado IFMaker CMC, tem como principal objetivo “criar um espaço de aprendizagem que possibilite a construção de protótipos, modelos e produtos, através de projetos que envolvam os participantes na aquisição e criação de conhecimentos em diversas áreas, desenvolvendo suas habilidades de forma autônoma e cooperativa para atender às demandas atuais que estão surgindo em todos os setores de atividade humana, por meio dos conceitos de Aprendizagem Baseada em Projetos (Project Based Learning- PBL) e Aprender Fazendo (Learning By Doing)” (dados disponibilizados pela coordenação do IFMaker CMC).

Suas contribuições para o aprendizado tanto no ensino de graduação quanto para

os demais cursos, incluindo a comunidade externa, também podem ser vistas no resumo das oficinas e projetos já realizados no espaço como: Desenvolvimento de modelagem de maquete física e virtual, IF-IDEAÇÃO - Da Ideia à Ação, Robótica com Kits Lego, Arduino: automação e robótica, Festival da Pipoca e muitos outros, que encerraram o ano de 2022 com mais de 20 oficinas, cursos e minicursos e mais 500 alunos participantes e em 2023 já contabiliza 14 projetos em andamento, de todos os departamentos acadêmicos, com estimativa de participação de mais de 150 alunos

Cabe ressaltar, como importante observação que motivou o desenvolvimento deste estudo, o fato de não haver registros de participação dos alunos de Engenharia Civil do Campus Manaus Centro em nenhuma das oficinas e projetos ao longo destes 2 anos de implantação.

## 2.3 A CULTURA MAKER X ENGENHARIA CIVIL – APLICABILIDADE

Em estudo similar a este artigo, realizado no Lab IFMaker do IFRS, Pereira e Camargo (2021) observa que, assim como no IFMaker CMC, às vezes pode haver alguma resistência ou receio em participar dos projetos por parte da comunidade, mas para romper essa barreira, deve-se voltar aos princípios fundamentais da cultura *maker*, definidos por Hatch, em seu Manifesto: **participar e fazer**, para que as provocações advindas desses projetos tragam efeitos inovadores e motivacionais

Portanto, é necessário persistir e principalmente demonstrar os ganhos pedagógicos para a formação dos futuros profissionais, pois, se por um lado o mercado tem sido mais exigente quanto às soluções geradas, por outro, intrinsecamente, os engenheiros devem ser pessoas com maior capacidade de resolver problemas de forma original e criativa, precisam ter pensamento crítico tanto individual quanto coletivamente e exigem uma mente criativa para projetar produtos ou melhorar os existentes (Einarsson e Hertzum, 2021).

### 2.3.1 Ferramentas e Tecnologias Maker

Das ferramentas e tecnologias disponíveis no espaço IFMaker CMC, destacam-se como exemplos de aplicabilidade e potencialmente úteis como apoio ao ensino e aprendizagem no curso de Engenharia Civil, as impressoras 3D e CNC Router (cortadoras a laser), largamente citadas na bibliografia analisada.

a) Impressoras 3D – Dentre os estudos utilizando as tecnologias da indústria 4.0 que tem se destacado favoravelmente, as impressoras 3D têm papel fundamental como proposta tanto para reduzir a geração de resíduos quanto o tempo de produção e é uma tecnologia única, com resultados excepcionais em vários campos seja na indústria automotiva, medicina, odontologia ou construção civil (Florêncio *et al.*, 2017).

Uma das definições mais simples que resumem bem a tecnologia de impressão 3D vem do Tencnoblóg “As impressoras 3D imprimem, ou melhor, materializam objetos em três

dimensões” (Cossetti, 2019)

Para Carboni e Scheer (2023), chamada de Manufatura Aditiva (*AM – Additive Manufacturing*), a impressão 3D é um processo baseado em modelos virtuais produzidos em CAD (*Computer Aided Design*) onde o material vai sendo depositado em camadas sucessivas até a composição total da peça planejada e pode ser utilizada em várias etapas desde o projeto arquitetônico a elementos construtivos.

Segundo Paim e Almeida (2018), a “impressão 3D consiste na confecção de objetos sólidos de forma rápida, por meio de manufatura aditiva de deposição de partículas menores, com eliminação de ferramentas customizadas de produção, redução de custo e tempo, uma vez que o processo tradicional demanda tempo e pode ocorrer falhas no processo de manufatura”, e ressalta ainda a possibilidade de utilização de diversos materiais como fonte de matéria prima como plástico, metal, concreto: resinas, poliamidas e ABS.

b) CNC Router (Cortadoras a laser CO2) – Se a deposição de materiais na impressão 3D é chamada de manufatura aditiva, a produção com uso de cortadoras a laser onde o material é retirado para a formação do produto é chamada de manufatura subtrativa. Para Souza, Porto e Medeiro (2023), apesar das cortadoras a laser produzirem material em 2D, é possível construir modelos em três dimensões a partir de projetos em CAD, com encaixes, materiais em diferentes espessuras e com diferentes tipos de materiais, incluindo madeira, acrílico, plástico e papelão.

A cortadora a laser CO2 funciona a partir de um feixe eletromagnético de alta intensidade focalizado, utilizando espelhos, que vaporiza o material por meio de calor e onde o usuário pode controlar a forma e quantidade de energia, bem como as coordenadas podendo ser aplicada em várias áreas como joalheria, marchetaria e peças em acrílico (Silva; Filho, 2021, p. 383).

### 2.3.2 Aplicabilidade em Engenharia Civil

Em estudo específico acerca do uso de espaços *maker* em cursos de graduação em engenharia, realizado durante a primavera e o outono de 2019, em uma universidade do sudoeste do Estados Unidos, na escola de engenharia com aproximadamente 6.000 estudantes, o autor citou como exemplo de grandes ganhos na formação dos alunos pesquisados, cujo projeto demonstra o efeito do revestimento para restringir a flambagem torcional lateral em uma viga (Figura 2), “os ganhos estão para além da capacidade de criar coisas ou objetos. Esses alunos começaram a interagir com o modelo e desenvolveram um projeto melhor e o aluno teve a iniciativa de fornecer ao orientador 30 peças adicionais para os futuros alunos segurarem e explorarem as diferentes deformações provenientes das cargas aplicadas nas vigas” (Carbonell *et al.*, 2020 tradução nossa).



Figura 2 - Projeto de Design Estrutural em Madeira

Fonte: Carbonell et al.(2020, tradução nossa)

Também como exemplo de experiência pessoal durante o estágio no IFMaker CMC, foi possível a criação de modelo estrutural da ponte Benjamin Constant (Av Sete de Setembro em Manaus), realizado para apresentação deste artigo e como parte da disciplina optativa Pontes. Fabricado em mdf cru 3mm, em escala de 1:100, utilizando a CNC laser CO2, sendo também exemplo dos princípios da cultura maker - compartilhar, o projeto foi adaptado de um modelo da ponte Golden Gate, disponibilizado gratuitamente em sites colaborativos, Figura 3



Figura 3 – Ponte Benjamin Constant em Mdf e ao lado ponte original

Fonte: acervo do autor Fonte: Portal G1 Amazonas<sup>1</sup>

Outro exemplo prático de aplicabilidade do uso das ferramentas *maker* como apoio ao ensino de graduação pode ser visto na experiência para o desenvolvimento de modelos físicos didáticos para o ensino de Sistemas Estruturais. Nele as equipes foram incentivadas a criar um modelo tridimensional que represente o conceito de momento de inércia, apresentada por Carboni; Scheer (2023, p. 208) - “A existência de modelos didáticos para explicar o momento de inércia é interessante porque os alunos têm dificuldade de entender o seu conceito abstrato. Os modelos, sendo flexíveis, permitem a comparação da deformação das peças sob diferentes solicitações e em diferentes posições da sua seção transversal em relação aos seus eixos. Isso pode facilitar a compreensão analítica do conceito”, Figura 4, Figura 4 e Figura 5.

<sup>1</sup> [https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2012/10/ponte-benjamin-constant-passa-ter-nova-administracao-em-ma-  
naus.html](https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2012/10/ponte-benjamin-constant-passa-ter-nova-administracao-em-ma-<br/>naus.html) Acesso em: 07/12/2023

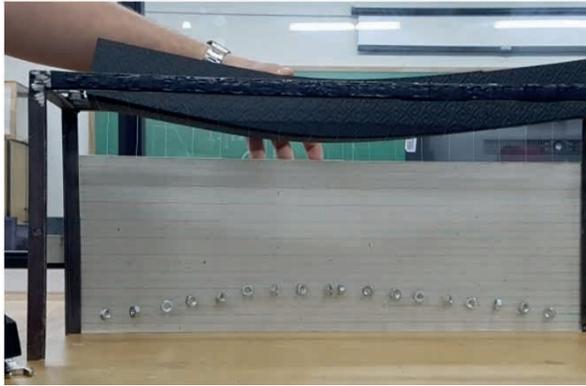


Figura 4 - Modelo didático desenvolvido por alunos que apresenta momento de inércia em vigas através da visualização gráfica da sua deformação

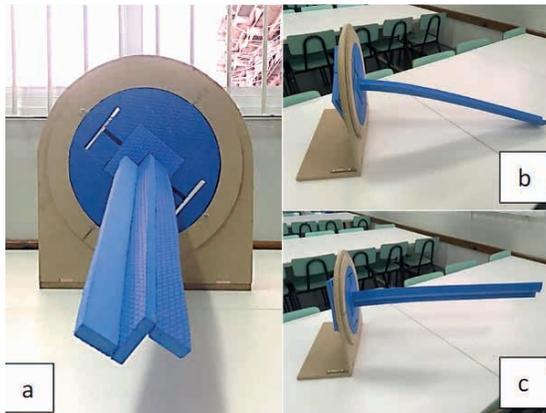


Figura 5 - Modelo didático para o ensino de momento de inércia através da rotação da peça (a), mostrando respectivamente a peça em posição favorável à deformação (b) e em posição resistente à deformação (c)

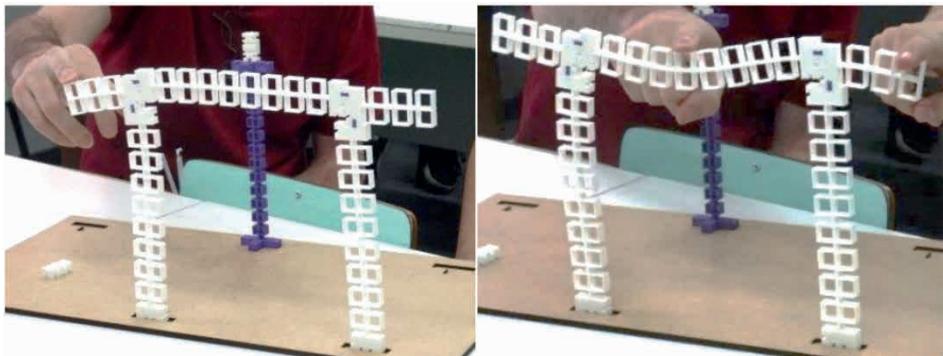


Figura 6 – Modelo didático estrutural A: viga biapojada com balanços.

Fonte: CARBONI; SCHEER, 2023, p. 208

Porém, como afirma Gomes (2023), apesar da importância e de relevantes avanços

no ensino e na pesquisa “o uso de tecnologias de impressão 3D na construção civil ainda é algo recente, e que demanda o rompimento de tradicionalismos presentes no setor”.

Todos estes espaços, objetos dos estudos mencionados, tiveram resultados excepcionais e propiciaram que os alunos vivenciassem experiências de projetos e trabalho em equipe, bem como tivessem acesso a plataformas com designs, instruções e tutoriais para replicar projetos já realizados por outros usuários em outros laboratórios ao redor do mundo ou compartilhem seus próprios projetos através deste tipo de plataformas (Everling *et al.*, 2022)

### 3 | METODOLOGIA

Este artigo foi baseado em pesquisa bibliográfica, que, Fonseca (2002) define como exclusivamente teórico realizada por meio do levantamento de referências teóricas já publicadas e analisadas com referência ao objeto analisado, em forma de livros, revistas, publicações avulsas e imprensa escrita e páginas de web sites.

Utilizou-se ainda a base do Google Scholar e os termos de busca utilizados foram “makerspace”, “engenharia civil AND makerspace”, entre outras correlacionando as palavras-chave: engenharia civil, cultura maker e/ou metodologias ativas com o objetivo de relacionar as experiências de uso da cultura maker como ferramenta de ensino aprendizagem.

### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos desafios importantes é superar a barreira inicial do “novo”. Pois, se por um lado os alunos e professores não conhecem ou não demonstraram manifestadamente interesse nas oficinas e cursos já ofertados, por outro, é necessário conhecer e ‘reconhecer’ a ineficiência da abrangência das divulgações internas destas oficinas dentro da instituição e, principalmente, do departamento de infraestrutura, local de observação da pesquisa.

Além disso, faz-se necessário fomentar o conhecimento de que os espaços *makers* podem aproximar os estudantes da realidade do mercado de trabalho, permitindo que eles desenvolvam habilidades práticas valiosas para sua carreira.

Para superar os desafios e aproveitar as oportunidades oferecidas pelo espaço *maker* já equipado e disponível é preciso promover uma cultura de inovação e criatividade entre os estudantes e professores. Mas, principalmente, é necessário que o departamento de infraestrutura desenvolva suas próprias oficinas com temas de interesse da comunidade, que possam despertar o interesse na participação e interação com esta ferramenta.

Uma forma pode ser incluir projetos e oficinas nas semanas de construção ou ainda em disciplinas que incluam práticas de construção de objetos ou maquetes, como Pontes, Processos Construtivos, Concreto, Mecânica, Arquitetura e Urbanismo dentre outros, também pode ser um ponto de partida para que o corpo docente e discente comece a se

familiarizar com esta valiosa ferramenta metodológica.

Outro desafio importante, é a capacitação dos professores para o uso das ferramentas e tecnologias disponíveis, bem como em relação aos conceitos de metodologias ativas e a cultura *maker*.

Diante dos benefícios já apresentados com o uso do IFMaker CMC como ferramenta de ensino, é necessário que a instituição invista na divulgação e manutenção deste ambiente proporcionando aos alunos a oportunidade de vivenciarem experiências “hands-on” (“mão na massa”) e desenvolverem projetos inovadores. Nesse sentido, é preciso também promover a integração entre o espaço *maker* e os demais componentes curriculares, de forma a tornar essa abordagem uma prática constante ao longo do curso de engenharia civil.

E para além dos ganhos individuais relatados ao longo deste trabalho, ao incentivar a utilização do espaço *maker*, a instituição demonstra um compromisso com a inovação e a busca por soluções criativas para os problemas reais. Isso pode atrair alunos talentosos e engajados, além de fortalecer a imagem da instituição perante a sociedade

## REFERÊNCIAS

AKYAZI, T. *et al.* Skills needs of the civil engineering sector in the european union countries: Current situation and future trends. **Applied Sciences**, 2020., p. v. 10, n. 20, p. 7226

CARBONELL, R. M. *et al.* Making Improvements: Pedagogical Iterations of Designing a Class Project in a Maker Space. **ASEE Virtual Annual Conference Content Access**, 2020.

CARBONI, M. H. D. S.; SCHEER, S. A manufatura aditiva como suporte à aprendizagem colaborativa e interdisciplinar em AEC: uma experiência integradora com o futuro profissional de expressão gráfica. **Gestão & Tecnologia de Projetos**. v.18, n.11, São Carlos, 15 mar. 2023., p. 195 - 218

CONSTRUÇÃO civil arrefece, mas aposta em ações federais. **Jornal do Comércio do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 01 ago. 2023. Disponível em: [COSSETTI, M. C. Como funciona uma impressora 3D. \*\*Tecnoblog\*\*, 2019. ISSN. Disponível em: \[COSTA, É. M. K. \\*et al.\\* Análise da Utilização dos Recursos, da Indústria 4.0 pelos Engenheiros Civis do Vale de São Patrício - GO, 2019.\]\(https://tecnoblog.net/responde/como-funciona-impressora-3d/#:~:text=As%20impressoras%203D%20imprimem%2C%20ou,essa%20tecnologia%20revolucionou%20a%20ind%C3%BAstria. Acesso em: 28 out. 2023.</a></p></div><div data-bbox=\)](https://www.jornaldocomercio.com/editorial/2023/08/1117469-construcao-civil-arrefece-mas-aposta-em-acoes-federais.html#:~:text=Em%202022%2C%20de%20acordo%20com,empregos%20formais%20criados%20no%20Pa%C3%ADs. Acesso em: 10 out. 2023.</a></p></div><div data-bbox=)

EINARSSON, Á. M.; HERTZUM, M. How do makers obtain information for their makerspace projects? - “Como os makers obtêm informações para seus projetos?” **Journal of the Association for Information Science and Technology**, p. v. 72, n. 12, p. 1528-1544, 2021, 2021.

EVERLING, M. T. *et al.* Espaço Maker: design e educação para a sustentabilidade em escolas públicas. **Impact Projects**, p. 139-154, 2022.

EXPEDIÇÃO Maker ICBEU Manaus. **Makerspace ICBEU Manaus**, 2022. Disponível em: <https://sites.google.com/icbeu.com/expedicaomaker/cultura-maker>. Acesso em: 17 out. 2023.

FLORÊNCIO, E. Q. *et al.* Concreto para uso em impressora 3d e sua utilização na construção de edificações: um estudo prospectivo. **Cadernos de Prospecção**, v. 10, n. 3, Salvador, jul/set 2017., p. 578 - 589

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. UEC. Fortaleza. 2002. (Apostila.).

GOMES, A. C. S. **Os desafios da implementação das técnicas 3D na construção civil no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso. ed. [S.l.]: [s.n.], 2023.

HARNETT, C. K.; TRETTER, T. R.; PHILIPP, S. B. Hackerspaces and engineering education. **IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings. IEEE**, p. 1-8, 2014.

HATCH, M. **The Maker Movement Manifesto: Rules for Innovation in the New World of**. [S.l.]: McGraw-Hill, 2013.

HIRABAHASI, G. *et al.* Movimento Maker - A Cultura que aproxima o pensar do fazer já está no seu cotidiano. **O Estadão On line**. Disponível em: <https://infograficos.estadao.com.br/focas/movimento-maker/#:~:text=S%C3%A3o%20Paulo%2C%20entretanto%2C%20%C3%A9%20a,Cidade%20Tiradentes%2C%20Penha%20e%20Itaquera>. Acesso em: outubro 2023.

MAIA, A. G. D. N. **Estratégias de Ensino na Educação Profissional e Tecnológica: O uso da Cultura Maker no Programa Educa+ Amazonas**. Manaus. 2023.

OLIVEIRA, A. D. S. R. S. **Um Estudo Bibliométrico sobre Empreendedorismo na Engenharia Civil**. Ouro Preto. 2023.

PAIM, F. G.; ALMEIDA, M. R. S. D. Estudo prospectivo sobre a utilização da impressora 3d na área da construção civil. **Cadernos de Prospecção v.11**, Salvador, abr/jun 2018., p. 463-474

PEREIRA, M. D. S.; CAMARGO, E. C. A cultura Maker no IFRS: um olhar da gestão sobre a implementação do Lab IFMaker. **Repositório do IFRS**, 2021.

ROCHA, M. L. D. C. **Competências empreendedoras na engenharia civil: proposta de formação docente**. [S.l.]. 2022.

SILVA, I. L. N.; FILHO, N. D. O. Q. Avaliação do uso do corte a laser na recuperação do forro de uma edificação. **XII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação das Construções**, Fortaleza, Junho 2021., p. 380 - 387

SILVA, J. N. D.; VILLAS-BÔAS, L. Aprender Engenharia: Contribuições da Cultura Maker. **VIII Encontro de Políticas Públicas e Formação de Professores**, 3 setembro 2019., p. 357 a 361

SIMÃO, A. D. S. *et al.* Impactos da Indústria 4.0 na Construção Civil Brasileira. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, outubro 2019., p. v. 5, n. 10, p.20130-20145

SOUZA, L. C.; PORTO, L. T.; MEDEIROS, I. L. D. Atividades Didáticas no Laboratório PRONTO3D: uma abordagem de ensino por projeto utilizando corte a laser e impressão 3D. **Projética**, v.14, n.3, Londrina, 30 Outubro 2023.

# ANÁLISE DO GRAU DE DEGRADAÇÃO DAS PONTES DE CONCRETO ARMADO

*Data de aceite: 01/02/2024*

**Diego Sebastian Carvalho de Souza**

**Richard Poli Soares**

**RESUMO:** O objetivo do trabalho foi a análise da degradação das pontes de concreto, como estudo de caso utilizou-se a Ponte Flavio de Miranda Gonçalves, situada no bairro de Vila Nova, no município de Barra Mansa – RJ. Como instrumento de análise metodológica foi aplicado método previsto na NBR ABNT –9452 Inspeção de Pontes, Viadutos e Passarelas de Concreto. Para tal foi realizada inspeção visual, classificação e análise de criticidade, o que corresponde a grau de deterioração. Após a análise chegou-se ao nível de degradação regular da ponte.

**PALAVRAS-CHAVE** – Pontes; Patologias; Estrutura

## ANALYSIS OF THE DEGRADATION DEGREE OF REINFORCED CONCRETE BRIDGES

**ABSTRACT:** The objective of the work was the analysis of the degradation of concrete bridges, as a case study the Flavio de Miranda Gonçalves Bridge, located

in the neighborhood of Vila Nova, in the municipality of Barra Mansa - RJ, was used. As an instrument of methodological analysis, the method provided for in NBR ABNT –9452 Inspection of Bridges, Viaducts and Concrete Walkways was applied. For this, visual inspection, classification and criticality analysis were carried out, which corresponds to the degree of deterioration. After the analysis, the level of regular degradation of the bridge was reached.

## 1 | INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo analisar a degradação de pontes de concreto armado. Justifica-se, porque o Brasil é um país continental, cortado por corpos hídricos em muitas das suas municipalidades, portanto há uma tendência de construção de pontes, que a depender do vão, características regionais e fatores de intemperismo, são construídas de concreto armado, tecnologia muito difundida no país. Entretanto, a construção destas obras de arte, deve ser acompanhada de sistema de manutenção, para diminuir o impacto gerado e sua

posterior degradação.

Para avaliação do processo de degradação de uma ponte, faz-se necessário, um processo de investigação, observação e coleta de dados, que conveniu se a definir como inspeção.

Para Simões (2021) existe uma significância no estudo das práticas de inspeção no contexto da gestão de pontes. Justifica-se pelo cenário nacional, tal qual abordado em publicações pertinentes, infere-se a carência de produções acadêmicas que avaliem de maneira pormenorizada os documentos normativos vigentes no Brasil.

Entretanto, o ato de inspecionar, é apenas uma parte do processo de gestão dessas obras de arte, pois não confere valor, não se estratifica e, por si, só, não é métrica para definir as condições estruturais de uma ponte.

No Brasil a ABNT –9452 Inspeção de Pontes, Viadutos e Passarelas de Concreto (2019), preconiza a metodologia, ou seja, a classificação, o tipo de inspeção e os critérios a serem adotados e o grau de criticidade, o que denominamos no presente trabalho como degradação.

Como estudo de caso foi escolhido a Ponte do bairro de Villa Nova, na cidade de Barra Mansa, no Estado do Rio de Janeiro, construída em 1973. A escolha desta, não se dar por acaso, pois a cidade possui mais de cinco pontes cortando o Rio Paraíba do Sul.

Como em muitas cidades do país, não foi encontrado o projeto e plano de manutenção. Em contrapartida, o bairro vem sofrendo modificações em sua estrutura com o crescente a proximidade de metalúrgicas e comércio se desenvolvendo, é o terceiro bairro mais populoso da cidade.

Como resultado principal o nível de degradação da ponte é regular, de acordo com as anomalias analisadas.

## **2 | DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Pontes**

Debs (2021) define uma Ponte como uma construção tem quem objetivo de transpor obstáculo e dar continuidade de uma via. As pontes são empregadas nos casos mais comuns como travessias em rodovia e ferrovias, como também passagem para pedestres.

As pontes podem ser classificadas de acordo com seu tamanho, durabilidade, materiais que a constituem e temporalidade. Para Marchetti (2004), uma ponte deve possuir minimamente uma extensão de vão maior que 10 metros. Para classificação da ponte neste trabalho, também será utilizada o critério de materiais constituintes, portanto, as pontes a serem estudadas serão de concreto armado, pré-fabricadas.

Para entender o processo de construção das pontes faz-se necessário dividi-la em camadas: Superestrutura, Mesoestrutura e Infraestrutura que são constituídas de elementos como apresentado na Figura 1.

Silveira (2002), conceitua a camada de superestrutura como a parte da ponte composta, geralmente com as lajes, vigas sejam principais ou secundárias.

Para Silveira (2002), a Mesoestrutura compreende a camada da ponte que tem duas finalidades. A primeira finalidade, é receber os esforços da superestrutura e os transmite à infraestrutura. A segunda, é receber as forças solicitantes como pressões do vento e da água em movimento, para transmiti-las a Infraestrutura.

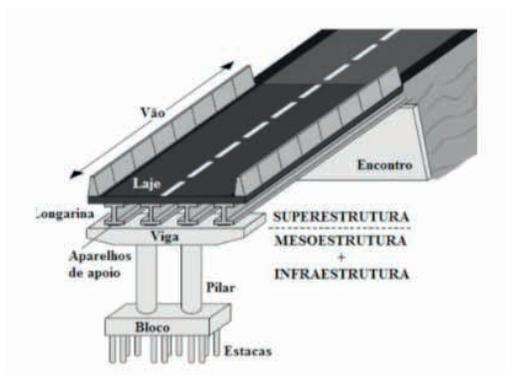


Figura 1 – Camada de infraestrutura das pontes

Fonte: GOOGLE (2023).

Segundo Cavalcante (2018) a camada da infraestrutura é constituída por elementos como os encontros, pilares, elementos de fundação. Destaca-se os pilares, pois tem a função de manter em equilíbrio a ponte. Eles têm a função de transmitir esforços da superestrutura, para o material de capacidade, podendo ser solo ou rochas.

O projeto das pontes deve ser realizado, por estudo minucioso, respeitando as normas técnicas vigentes. Os elementos devem ser escolhidos de formar de forma técnica e lógica. Os elementos constituintes das pontes são apresentados na Figura 2.

Elemento ou dimensão	Descrição
Pista de rolamento	Largura disponível para o tráfego normal de veículos ou pedestres que pode ser subdividido em faixas.
Acostamento	Largura adicional à pista de rolamento utilizada em casos de emergência pelos veículos.
Defensa	Elemento de proteção aos veículos, paralelo ao acostamento.
Passeio	Largura adicional destinada exclusivamente ao tráfego de pedestres.
Guarda-roda	Elemento destinado a impedir a invasão dos veículos no passeio.
Guarda-corpo	Elemento de proteção aos pedestres.
Viga principal ou Longarina	Elemento destinado a vencer o obstáculo.
Viga secundária	Elemento transversal às vigas principais, destinado a evitar efeitos secundários das vigas principais e redistribuir os esforços.
Tabuleiro	Elemento de placa destinado a receber as ações diretas dos veículos e pedestres.
Comprimento da ponte ou vão total	Distância medida horizontalmente segundo o eixo longitudinal, entre as seções extremas da ponte.
Vão, vão teórico ou tramo	Distância medida horizontalmente entre os eixos de dois suportes consecutivos.
Vão livre	Distância entre faces de dois suportes consecutivos.
Altura da construção	Distância entre o ponto mais baixo e o mais alto da superestrutura.
Altura livre	Distância entre o ponto mais baixo da superestrutura e o ponto mais alto do obstáculo. Pode variar conforme os dados hidrológicos no caso do obstáculo ser um rio ou canal.

Figura 2 – Elementos das pontes

Fonte: Brigadão (2021). Adaptado de El Debs e Takeya (2003)

Segundo Drun (2018), além da classificação, a concepção de um projeto de ponte, deve analisar as diferentes cargas e ações em que a ponte será submetida, afim de aumentar longevidade de uma estrutura

### 2.1.1 As ações e cargas em pontes

As ações em pontes são classificadas de acordo com as NBR(s), Ações e segurança nas estruturas – Procedimento- 8681/2003 e Projeto de pontes, viadutos e passarelas de concreto 7188 /2019.

A NBR 8681 (2003) aborda as ações em pontes especificamente no que tange a sua estrutura, ou seja, traça parâmetros de resistência, peso e composição dos elementos estruturais envolvidos. Divide as ações em permanentes: diretas e indiretas, variáveis: normais e especiais e ações excepcionais.

Já a NBR 7188 (20019) define parâmetros e requisitos necessários para análise e dimensionamento da carga móvel. Então, a análise se faz entorno do movimento de pessoas e veículos.

A Norma técnica apresenta valores específicos para garantir o menor impacto na ponte ocasionados por: frenagens, força centrípeta, cargas concentradas, impactos verticais e carga de pessoas em trânsito nos passeios. Estuda o movimento e posicionamento dos veículos nas pontes e o impacto provocado pelos seus eixos, na qual chama de trem-tipo.

Esta pesquisa não teve como objetivo analisar o impacto das ações e cargas na estrutura da ponte. Entretanto, as ações também são responsáveis pelo desgaste e possível degradação das pontes de concreto armado. Por isso, são levadas em consideração na

análise. Portanto, não fora revisto os cálculos de carga.

### *2.1.2 Pontes de Concreto Armado- pré-fabricadas*

Os processos construtivos de pontes de concreto armado em suma ocorrem de duas formas: a pré-moldada e a pré-fabricada. O modelo estudado consiste em uma ponte pré-fabricada.

Segundo Lopes (2022) o processo de pré-fabricação dos elementos da ponte em concreto armado, é mais assertivo quando executada em fábrica. Isso se explica pelo controle de qualidade ser mais rígido, sendo realizados por testes e análises laboratoriais, que comprovam a sua eficácia frente as exigências técnicas, relativas ao cumprimento das especificações das Normas Técnicas Brasileiras da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Destaca que neste processo é possível realizar o controle e verificação nas fases de transporte e entrega e montagem. Toda estrutura tem uma vida útil, por isso, há controle na data de sua fabricação.

Schmögel (2021) explica que a construção de pontes de concreto pré-fabricadas, geralmente ocorre pelo lançamento das vigas previamente fabricadas, com a ajuda de equipamentos adequados.

Parar Martinelli (1971) a pré-fabricação e construção de pontes com vigas torna-se viável quando o projeto possui vãos de até 40m. Isso se explica pelas interferências e limitação nos sistemas de transporte e montagem. O local de implantação da ponte, pode se tornar um obstáculo para a utilização deste tipo de sistema. Entretanto, quando não se tem possibilidade de escoramento convencional, a viga e pilares pré-fabricada podem se tornar vantajoso o processo.

No processo de construção de uma ponte, não há uma técnica de construção única, portanto, é viável que alguns elementos sejam pré-moldados e fabricados in loco. O engenheiro, normalmente avalia os custos do processo produtivo para determinar qual elemento ou camada devem podem ser flexibilizados.

Marchetti (2008), explica que uma prática em construções de pontes que a superestrutura não seja totalmente pré-fabricada, ou seja ocorre a aplicação de concreto in loco sobre as vigas para sua finalização. Dependendo da necessidade outros elementos de uma ponte pré-fabricadas podem ser concebidos em concreto pré-moldado in loco. Este evento pode determinar um grau maior de deterioração da estrutura, se os parâmetros técnicos não sejam respeitados de forma rígida

### *2.1.3 Pontes: Tipo de inspeções em pontes*

A NBR 9452(2019) estabelece os tipos de inspeções que devem ser realizadas no decurso da vida útil de uma ponte as dividindo em cadastral, rotineira, especial e extraordinária. Para corroborar com o processo de inspeção essa normativa, apresenta fichas de checagem

das condições da ponte, bem como um método de avaliação, que permite valorar seu estado e ordenar as ações para diminuir a degradação nesta obra de arte.

Segundo Simões (2021) as inspeções a Inspeção Cadastral é uma inspeção amplamente documentada, não só pelos próprios dados da inspeção, mas também pelo projeto completo e por todos os informes construtivos disponíveis.

O DNIT (2004) define a Inspeção Rotineira como um evento programado, de intervalos adequados, em geral de um a dois anos, com o objetivo de identificação de anomalias, ou prováveis causadores de degradação da obra de arte. Neste tipo de inspeção pode ocorrer análise comparativa entre os dados fornecidos na Inspeção Cadastral ou à Inspeção Rotineira anterior.

A NBR 9452(2019) possui ficha para auxiliar o processo deste tipo de inspeção, muitas empresas registram, por meio de relatórios fotográfico. As execuções destes relatórios podem ser realizadas a partir do estrado, do terreno, do nível d'água ou de plataformas e caminhos permanentes, se existentes; equipamentos especiais somente serão necessários quando se constituírem no único meio de inspecionar os trechos de interesse.

Para a NBR 9452(2019) caracteriza-se como Inspeção Especial, aquela ocorrida em prazo de 5 anos, a depender do processo construtivo, porte, grau de agressividade do meio. Cada ponte foi construída em meio diferente, por isso, em muitos casos, dependendo do planejamento, faz-se necessário uma inspeção de caráter especial, pois no processo de concepção da estrutura identificou-se a necessidade especiais na gestão da ponte.

Já a Inspeção Extraordinária é um evento não programado, podendo ocorrer por causalidade de eventos, seja por ação antrópica ou do meio ambiente. Oriunda de evento não programado, deve-se realizada por especialista, que consigam avaliar os efeitos e danos provocados.

As inspeções fazem parte da gestão da vida útil das pontes, quando não há, deve-se analisar com todo o critério. Muitas cidades brasileiras não há informação e inspeções sobre o processo construtivo da ponte.

## **2.2 Degradação em Estruturas de Concreto**

Segundo Pereira (2023) como todo material o concreto e aço que formam o concreto armado possuem um ciclo de vida, assim é inevitável o surgimento de manifestações patológicas. O Concreto em contato com o meio ambiente, tende a ser agredido e perde sua solidificação.

Nos projetos de concreto armado, utilizando a NBR 6118 (2014), deve-se prever uma taxa de agressividade que interfere no recobrimento dos elementos projetados, justamente para aumentar a vida útil da estrutura, e manter suas características projetadas e segurança, por mais tempo.

Para Junior (2020) o desenvolvimento das manifestações patológicas nas estruturas

de concreto pode ser originário nas etapas de projeto, construção, uso e manutenção.

Então, em consonância com esta premissa, Ripper (1998) subdividiu a origem das manifestações no concreto em causas intrínsecas e extrínsecas como apresentado na Figura 3.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Causas intrínsecas (inerentes às estruturas)</li> <li>• Causas extrínsecas (externas ao corpo estrutural)</li> </ul>	<p>CAUSAS DOS PROCESSOS DE DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falhas humanas</li> <li>• Causas naturais próprias ao material concreto</li> <li>• Ações externas</li> </ul>
---	--	---

Figura 3 – Causas das manifestações Patológicas

Fonte: Ripper (1998).

Os processos intrínsecos estão relacionados a patologia oriunda de falhas humanas no processo de execução, por deficiência do material, inclusive acidentes que possam ocorrer nas etapas da construção. Exemplificado na Figura 4. Já as causas extrínsecas são fatores que atacam a estrutura de dentro para fora durante a execução e vida útil da edificação, conforme listado as principais causas na Figura 5.

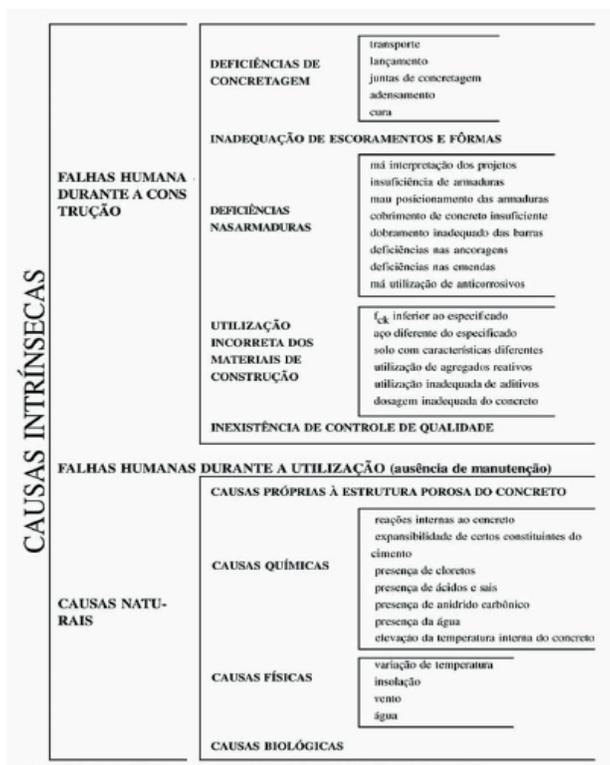


Figura 4 – Causas das manifestações Patológicas

Fonte: Ripper (1998).

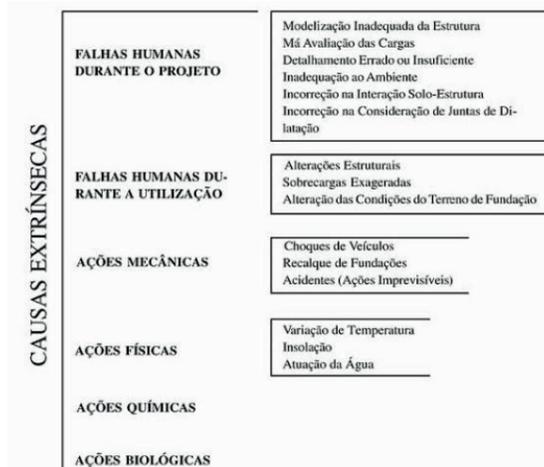


Figura 5- Causas Extrínsecas

Fonte: Ripper (1998).

Para análise das manifestações patológicas depois do processo de classificação e determinação e origem, é necessário o reconhecimento dos principais mecanismos de deterioração. Apresentados na Figura 6.

	Deterioração mecânica	Deterioração física	Deterioração química	Deterioração eletroquímica
Decorre de:	■ Choques, impactos, recalque diferencial das fundações	■ Desgaste superficial, cristalização de sais nos poros do concreto, retração hidráulica, gradiente térmico e ação do fogo	■ Ataque por ácidos, água pura, carbonatação, ataque de cloretos etc.	■ Corrosão das armaduras
Sintomas observados:	■ Fissuração ■ Lascamento do concreto ■ Perda de armadura	■ Desgaste superficial ■ Fissuração ■ Desagregação do concreto	■ Expansão por fissuração do concreto ■ Decomposição química da pasta	■ Deterioração e perda da seção do aço ■ Perda da aderência aço /concreto ■ Expansão e fissuração

Figura 6- Principais Fatores de Deterioração

Fonte: Téchne (2015).

As pontes de concreto armado, possuem outros materiais, mas a conceituação e análise quanto a degradação do principal constituinte da estrutura ferramentas para verificação do grau de deterioração da estrutura estudada.

### 2.3 Causa das anomalias em Obras Rodoviárias.

Segundo Junior (2020) o Brasil possui um grande número de pontes em concreto que apresentam sérios problemas de degradação em suas estruturas, ocasionados pela falta de manutenção.

A degradação das pontes de concreto, podem ser divididas também em dois núcleos,

a degradação do concreto armado, e de elementos típicos de obra rodoviária.

Segundo o DNIT (2006) existe um conjunto de patologias recorrentes em obras rodoviárias, destacando-se as pistas de rolamento e acostamentos, drenagem e obra de artes especiais.

As falhas na pista de rolamento têm podem ter sua origem na ausência do processo de manutenção, como também no aumento da sobrecarga na estrutura. Estes aspectos devem ser estudados para uma avaliação. Em uma inspeção visual, apenas se constata. Daí pós esta verificação é necessária um estudo aprofundado do processo, pois pode estar inteiramente associado ao desenvolvimento local.

A degradação provocada por desgastes nas juntas de dilatação dos tabuleiros, pode provocar manifestações patológicas e a fadiga estrutural. Isso se explica pela função inerente a este elemento de evitar a transmissão de esforços entre os elementos separados,

O sistema de drenagem é fundamental para a conservação das vias, deve ser calculado de acordo com os fatores hidrológicas da localidade e tipo de pavimento. A principal função da drenagem é esgotar toda a água que chega no tabuleiro diminuindo o grau de degradação, natural da relação água concreto.

Para DNIT (2006) em obras de arte especiais, caso da ponte, também corriqueiro o surgimento de manifestação patológica na superestrutura da ponte, como exemplo apresentam manifestações em guarda-corpo e guarda-roda, deslocamento de pilares e vigas de apoio; aparecimento de trincas e escamas e defeitos nos aparelhos de apoio.

A ponte estudada é classificada como rodoviária, possui, possibilidade de manifestações patológicas típicas de sua atividade. Com isso, pode-se entender o processo de possíveis deterioração desta estrutura.

### 3 | METODOLOGIA

Para Junior (2020), dois métodos de avaliação são difundidos no país o brasileiro, conhecido como de menor nota, previsto na NBR9452/2019 e DNIT, (2004) e o método de pontuação inversa de maior nota, chamado de método esloveno usado em alguns países europeus. Para fins deste estudo foi utilizado o método previsto na ABNT.

No caso deste estudo não serão realizadas de acordo com essas premissas, pois a pesquisa não conseguiu com a prefeitura de Barra Mansa, dados relativos à inspeção desta ponte anteriores, daí se justifica inspeção visual, e o enquadramento do grau de degradação realizado por meio das normas ABNT.

A ABNT –9452- Inspeção de Pontes, Viadutos e Passarelas de Concreto (2019), no seu processo metodológico, atribuiu valores de acordo com a avaliação das condições estrutura, por meio de uma escala variando entre excelente, boa, regular, ruim e crítica. Com isso, é possível verificar o grau de degradação desta estrutura, diretamente proporcional à gravidade dos problemas detectados, na inspeção. Tem como premissa a avaliação das pontes quanto ao seu estado em parâmetros baseados em sua estrutura, funcionalidade e durabilidade.

Os parâmetros estruturais são aqueles relacionados à segurança estrutural seus critérios são baseados na ABNT NBR 6118. Já os parâmetros funcionais são diretamente os requisitos geométricos adequados da ponte. A durabilidade são as características relacionadas a vida útil da estrutura.

Segundo a NBR9542(2019) para classificar o grau de degradação da ponte faz-se uma metodologia para atribuir avaliação de sua condição, caracterização estrutural, caracterização funcional e caracterização de durabilidade. A esta será atribuída um conceito, por meio de nota de 1 a 5. Sendo assim, a estrutura classificada em excelente, boa, regular, ruim ou crítica. O que se refere neste trabalho ao grau de degradação da mesma. Como pode ser verificado na Figura 7.

Nota de Classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização Funcional	Caracterização Durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários.	A OAE apresenta se em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina
4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas, sem comprometer a segurança estrutural.	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental
3	Regular	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo	A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental ou a OAE apresenta moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
2	Ruim	Há danos que comprometem a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas a curto prazo	OAE com funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.	A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometem sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.
1	Crítica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório e associada instrumentação, ou não.	A OAE não apresenta condições funcionais de utilização.	A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.

Figura 7 -Classificação da Estrutura

Fonte: ABNT 9542(2019)

A NBR 9542 (2019), prevê em inspeções especiais um detalhamento maior das anomalias encontradas nas pontes. Para tal, classifica os elementos da estrutura, como: Principal (P); Secundários (S); Complementares (C), nos requisitos de estrutura e durabilidade, atribuindo notas. Na funcionalidade apenas atribui valores. Como apresentado nas Figuras 8 e 9.

Elemento			Sistema estrutural				
			Duas vigas	Grelha	Caixão	Laje	Galeria
Superestrutura	Viga	Longarina	P	P	—	—	—
		Transversina	S	S	S	S	S
	Laje		S	S	P	P	P
Mesoestrutura		Travessas	P	P	P	P	—
		Pilares	P	P	P	P	—
		Aparelho de apoio	P	P	P	P	—
Encontros		Cortina	S	S	S	S	—
		Laje de transição	S	S	S	S	S
		Muros de ala	S	S	S	S	S
Infraestrutura		Blocos	P	P	P	P	P
		Sapatas	P	P	P	P	P
		Estacas, tubulões	P	P	P	P	P
Complementares		Barreira rígida	C	C	C	C	C
		Guarda-corpo	C	C	C	C	C

Figura 8 - Caracterização dos elementos estruturais segundo a relevância no sistema estrutural

Fonte: ABNT 9542(2019)

Condição Verificada Segundo os Parâmetros			Notas de Classificação			
			Elemento onde foi Constatada a Condição			
			Específico Funcional	Principal	Secundário	Complementar
Estruturais	Fissuração	Fissuração superficial de retração, hidráulica ou térmica		4	4	5
		Fissuras em elementos de concreto armado com abertura dentro dos limites previstos conforme ABNT NBR 6118:2014, 13.4		1	2	
		Fissuras em elementos de concreto armado com abertura superior aos limites previstos conforme ABNT NBR 6118:2014, 13.4		3	4	4
Funcionais	Drenagem	Drenagem deficiente sem causar empoçamento ou aquaplanagem		4		
		Drenagem no tabuleiro deficiente com empoçamentos localizados que não provoquem o fenômeno de aquaplanagem		3		
		Drenagem ineficiente ou inexistente gerando pontos úmidos e formação de lâmina de água, possibilitando derrapagem ou o fenômeno de aquaplanagem		1		
Durabilidade	Armadura	Armaduras expostas com corrosão incipiente		3	4	4
		Armadura exposta em processo evolutivo de corrosão		2	3	4
		Armadura protendida exposta, mesmo sem corrosão, em ambiente de baixa e média agressividade		3	4	
		Armadura protendida exposta e corroída		1	2	3
		Obras com deficiência de cobertura sem armadura exposta		4	5	5
		Obras com deficiência de cobertura com estufamento por expansão da corrosão		3	4	4

Figura 9 – Condição de verificação das anomalias segundo os parâmetros

Fonte: ABNT 9542(2019). Adaptado pelo autor.

A aplicação da metodologia usando normas brasileiras, também tem como objetivo suscitar a pesquisa sobre as normativas existentes no país, colaborando com a sua difusão.

## 4 | ESTUDO DE CASO

A cidade de Barra Mansa está localizada a no Sul Fluminense do Estado do Rio de Janeiro, possui uma população estima da pelo censo IBGE (2021) de 166.000 habitantes. Este município desenvolveu-se em torno de três principais corpos hídricos, Rio Paraíba do Sul, Rio Bananal e Rio Barra Mansa.

O maior corpo hídrico é o Rio Paraíba do Sul, com extensão de 1.137km aproximadamente. Como apresentado na Figura 1, o rio corta a cidade, sendo necessário a utilização de diversas pontes para facilitar a travessia de pedestres e automotores.

O bairro de Saudade é considerado uma zona mista, que possui residências e indústrias, a ponte Flávio de Miranda Gonçalves, conhecida como ponte de Vila Nova, faz a ligação entre os bairros. Também serve como percurso para o bairro de Vista Alegre. O que confere tráfego intenso nas horas de pico.

Daí a travessia intensa de veículos e pedestres, pela Ponte Flávio de Miranda Gonçalves, localizada pelas coordenadas A ponte Flávio de Miranda Gonçalves está localizada a  $22^{\circ}31'31.37''S$  e  $44^{\circ}11'22.89''O$ . De acordo com a Figura 10.



Figura 10 – localização de Barra Mansa e Ponte Flávio de Miranda Gonçalves

Fonte: GOOGLE (2023). Adaptado pelo Autor.

A ponte Flávio de Miranda Gonçalves foi inaugurada em 03-10-1978, pelo extinto Departamento de Estrada e Rodagens – DER, possui aproximadamente 342m, (medição expedita em campo) dia 14/05/2023.

A ponte foi construída de concreto pré-moldado. Entretanto, em sua superestrutura

há adição de asfalto, ou seja, formando a pista de rolamento. Como apresentado nas Figuras 11 e 12. A ponte possui cinco apoios, dentro do qual apenas um possui formato diferenciado. Os apoios são apresentados na Figura 11.



Figura 11 – Ponte Flávio de Miranda Gonçalves

Nesta ponte há passagem para pedestre de ambos os lados, o passeio possui aproximadamente 60cm e o guarda corpo de 0,40m de altura.

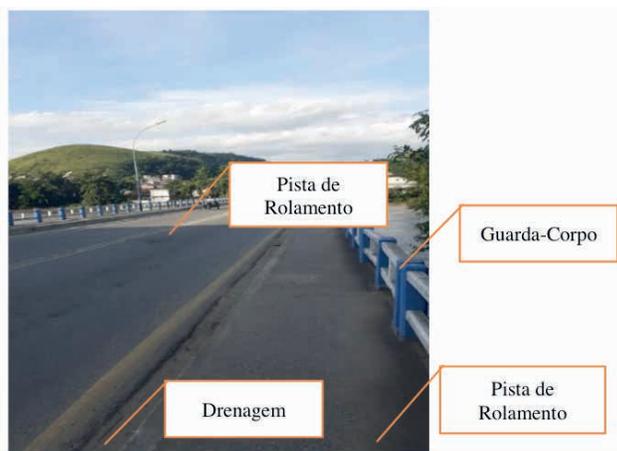


Figura 12 – Ponte Flávio de Miranda Gonçalves-Superestrutura.

A drenagem da Ponte Flávio de Miranda Gonçalves é realizada por 14 furos espaçados de 75DN, nos dois sentidos da ponte. Como pode ser visto na Figura 13.



Figura 13 – Ponte Flávio de Miranda Gonçalves, passeio e asfalto.

As juntas de dilatação têm como objetivo de garantir que unidade das peças, formando um tabuleiro. O estado do elemento apresentado na Figura 5, basicamente reflete as condições das demais juntas da ponte.



Figura 14 – Ponte Flávio de Miranda Gonçalves, junta de dilatação.

Na inspeção da ponte, foi verificada fissuras nos pilares, vegetação crescendo no concreto e umidade nas longarinas e na laje em balanço, constituinte do passeio. Como apresentado na Figura 15.

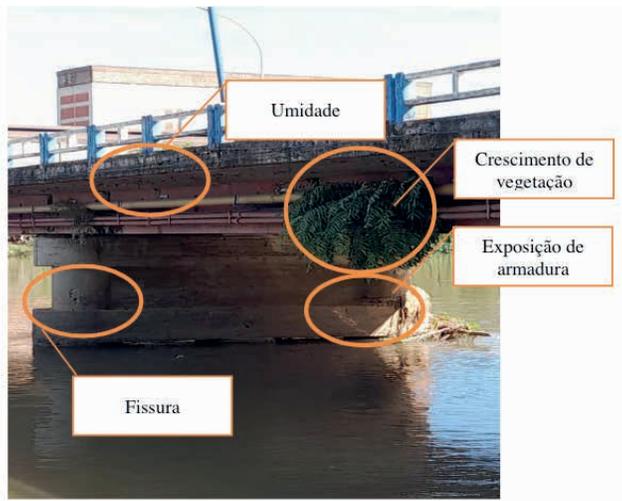


Figura 15 – Ponte Flávio de Miranda Gonçalves - anomalias.

Os encontros da ponte foram vistoriados, do lado do bairro de Vila Nova, Verificou-se que a armadura estava exposta. Como demonstrado na Figura 16.



Figura 16 – Ponte Flávio de Miranda Gonçalves, encontro da ponte, margem - Vila Nova.

A inspeção detectou outras anomalias que serão analisadas. O Brasil é um país abundante de corpos hídricos, os efeitos da degradação podem ser utilizados para estudo em outros municípios.

## 5 | ANÁLISE E RESULTADOS

A primeira etapa desta análise constitui em estratificar as principais anomalias encontradas na inspeção visual realizada na ponte e sua localização nas camadas dessa estrutura. Então, classificou-se o grau de relevância apontado nas Figuras 8 e 9.

Como há uma lista extensa na própria normativa, pode não estar presente as Figuras

apresentadas, mas com efeito, será citada a normativa e tabela correspondente.

Os elementos complementares que foram identificadas anomalias, classificados como Funcionais são: pista de rolamento asfalto desgastado, drenagem existente e insuficiente, exposição de armadura no guarda corpo, junta elástica desgastada e irregularidades no piso do passeio. Como apresentada na Figuras 12, 13 e 14.

O Nível de degradação da ponte, mais relevante, é classificado como 3 de acordo com a NBR 9542(2019) e também apresentados nas Figuras 8 e 9. Explica-se, pois, é referente a drenagem da via, que na observação da realizada na ponte, conclui-se que existe uma ineficiência que pode gerar patologias, mas não causa empoçamentos gerando aquaplanagem.

Já no critério de Estruturas e Durabilidade, na Mesoestrutura foram encontradas fissuras nos pilares, que foram classificados como por meio das Figura 7 e 9, como estruturas principais com nota 4, causadas por refração hidráulica, como visto na Figura 15.

A longarina, está com umidade excessiva e há pequena armadura expostas, cerca de 20cm, medição expedita. Está também é classificada com a nota 4 nos critérios de estrutura e durabilidade de acordo com a Figura 8 e 9. Como apresentado podendo ser vista na Figura 15.

O encontro é classificado de acordo com a Figura 8, nos critérios de durabilidade e estrutura como elemento secundário. Como pode ser visto na Figura 16, há uma exposição de armadura. De acordo com a Figura 9, se o elemento de armadura é secundário a nota prevista é 3. Pois a armadura está apresentando um nível de corrosão.

Ao se verificar as notas atribuídas as anomalias, a última etapa foi compara-la a classificação prevista na Figura 7. Determinando o grau de degradação pela menor nota que foi a 3.

## 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o grau de degradação da Ponte é o 3. Isso significa que a NBR 9542 (2019), considera a conservação da ponte como regular. Entretanto, tem capacidade para gerar anomalias e patologias, que podem ser responsáveis, por um comprometimento maior na sua estrutura e durabilidade. Em termos funcionais, esta ponte provoca desconforto a seus usuários, isso porque há uma série de anomalias desta natureza na ponte classificadas com nota 3, não tem grande impacto na segurança da estrutura, mas na qualidade do transporte, segurança e movimentação dos pedestres.

A normativa recomenda manutenção e acompanhamento das anomalias apresentadas. Como a análise não se utilizou de ensaios laboratoriais, não foi realizada minuciosamente entre os vãos com a maior presença do recurso hídrico recomenda-se uma inspeção especial.

## REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 9542. **Inspeção de pontes, viadutos e passarelas – Procedimento.** 2019.

ABNT. NBR 7187. **Projeto de pontes, viadutos e passarelas de concreto.**2019

ABNT. NBR 6118. **Projeto de Estrutura de Concreto.**2014

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004.**

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Pavimentação. Rio de Janeiro, 2006.**

BRIGADÃO, Vitor Lobo; MAGALHÃES, Hugo. **Inspeção estrutural e patologia de pontes de concreto armado na região de Anápolis/GO.** TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis. 2021.

ARAÚJO, Daniel De Lima. **Projeto de ponte em concreto armado com duas longarinas.** Goiânia, GO. Editora UFG 2011

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários.** - Rio de Janeiro, 159p. (IPR. Publ., 744).

DEBS. Mounir Khalil El. **Pontes de concreto: com ênfase na aplicação de elementos pré-moldados.** São Paulo: Oficina de Textos, 2021.

DRUN, Anderson Gobbi; SOUZA, Rafael Alves de. **Comparação entre os veículos de carga atuais e o trem-tipo recomendado pela NBR 7188.** X Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas. Rio de Janeiro, 2018.

LEMES. David Teixeira. **Inspeção de pontes em concreto armado sob a ótica da NBR 9452:2019 - Estudo de caso no Viaduto Deocleciano Moreira Alves – Anápolis / GO.**2021.

LICHTENSTEIN. **Patologias das Construções,** 1986. Acesso:2023.

JUNIOR. Celso Martinho do Espírito Santo. **Método de Determinação da Vida Útil Estimada de Pontes, Viadutos e Passarelas de Concreto.** PUC-PE. 2020

MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de Concreto Armado.** 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher Ltda, 2018.

MARTINELLI, D. A. O. **Solicitações nas pontes de concreto.** São Carlos, EESC-USP,1971.

PFEIL, Walter. **Pontes em Concreto Armado.** 3. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1983

PEREIRA. Akely Susi. **Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado: Estudo de caso em um imóvel com fins residencial e comercial no município de Lavras/MG.** UNIS. Acesso 2023

SCHMÖGEL. Simoní. SCHMITZ. Rebeca Jéssica. **Comparação de Projetos Padronizados para Pontes em Concreto Armado e Mistas Aço-Concreto**. Revista Destaques Acadêmicos, Lajeado, v. 13, n. 4, 2021.

SILVA. **Patologias em Obras de Arte**. UNIFOA.2018

SILVEIRA, Ricardo A. M. **PONTES: introdução e fundamentos para análise e projeto: apostila 1**. Ouro Preto: Escola de Minas - Universidade Federal de Ouro Preto, 2002.

TÉCHNE. Revista. **Recuperação Estrutural**. Julho. 2015.

BRASIL.IBGE. <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso 2023.

PMBM. <https://barramansa.rj.gov.br/>. Acesso 2023.

# DYNAMIC MONITORING OF AN OLD LONG CONCRETE BRIDGE

---

*Data de aceite: 01/02/2024*

### **Alberto Ortigão**

Engineering Consultant *PhD*, FICE, CEng,  
Terratek

### **Waldeli Braz**

Bridge engineer, MSc

### **Claudio Martins**

Civil Engineer, PhD, Professor of  
Structural Engineering, Cefet MG

### **Cristiana Ortigão**

Electrical Engineer, *BSc*, *MA*, Terratek Int

25º Encontro Nacional de Conservação  
Rodoviária (ENACOR) - 48ª Reunião Anual de  
Pavimentação (RAPv)

**ABSTRACT:** This paper presents the dynamic monitoring carried out on a 458 m long, 38 m high, Papagaios Bridge, State of Paraná. This is a concrete arch bridge built over 60 years ago, which needed repairs. The dynamic monitoring was designed to carry out a structural integrity assessment and to calibrate a numerical model to be used for the structural rehabilitation design. Vibration measurements were carried out on the bridge in selected locations. This

paper addresses data analysis, the impact measurements when a train enters the bridge and modal analysis. An important aspect was the measurements taken at the entrance to the bridge before and after emergency repairs, allowing analysis of the coefficient of impact before and after the repairs. In addition, the analysis of the frequency calibrated numerical model led to conclusions about the necessary structural reinforcement, that is, the need for reinforcement in the deck and pillars. The decks were reinforced using carbon fibre. Ballast had to be removed and reinforcement applied. Reinforcing the pillars was much simpler than originally expected. The analysis clearly showed that the pillars lacked structural stiffness. This was achieved simply by reinforcing at many positions along their heights, surrounding them with welded steel L sections.

**KEYWORDS:** Dynamic tests; old concrete bridge; vibrations; accelerometers, modal analysis

**RESUMO:** Este artigo apresenta os resultados de monitoramento dinâmico realizado na Ponte dos Papagaios, no Paraná, antiga estrutura de concreto armado com 458 m de extensão e uma

altura máxima de 38 m. Essa obra foi construída há mais de 60 anos e as inspeções visuais claramente indicavam a necessidade de recuperação estrutural. O trabalho constou de medições de vibrações realizadas com acelerômetros ultra-sensíveis em posições selecionadas sobre a ponte. Este artigo abrange a análise dos dados, antes e depois de reparos, bem como resultados da análise modal global da estrutura. Um aspecto importante foi as medições realizadas na entrada da ponte antes e depois de reparos emergenciais, permitindo análise de coeficiente de impacto antes e depois dos reparos. Além disso, a análise do modelo numérico calibrado na frequência, levou à conclusões sobre o reforço estrutural necessário, ou seja, necessidade de reforço no tabuleiro e nos pilares. O reforço dos tabuleiros constou de aplicação de fibra de carbono. O lastro teve que ser retirado e o reforço aplicado. O reforço dos pilares foi muito mais simples que o esperado originalmente. As análises mostraram claramente que os pilares apresentavam falta de rigidez estrutural. Isso foi conseguido simplesmente reforçando em muitas posições ao longo da suas alturas, envolvendo-os com cantoneiras soldadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ensaios dinâmicos; ponte antiga de concreto; vibrações; acelerômetros; análise modal

## INTRODUCTION

Papagaios Bridge (Figure 1, Figure 2) is an old concrete structure, built in the late 50s, located in the State of Paraná, Brazil. The bridge is 458 m long and has a maximum height of 36 m. The centre arch is 90 m long, sided by 35 m long smaller arches. The client decided to carry out studies for the integrity assessment of the structure followed by a repair design. This paper summarises the results of the dynamic measurements programme carried out in 2020. The Authors carried out an Operation Modal Analysis (OMA) and a Dynamic Amplification Factor (DAF) analysis to evaluate the stiffness of the bridge and the impact factors at its abutments. The results yielded the vibration level of the bridge under operation.



Figure 1 Papagaios Bridge

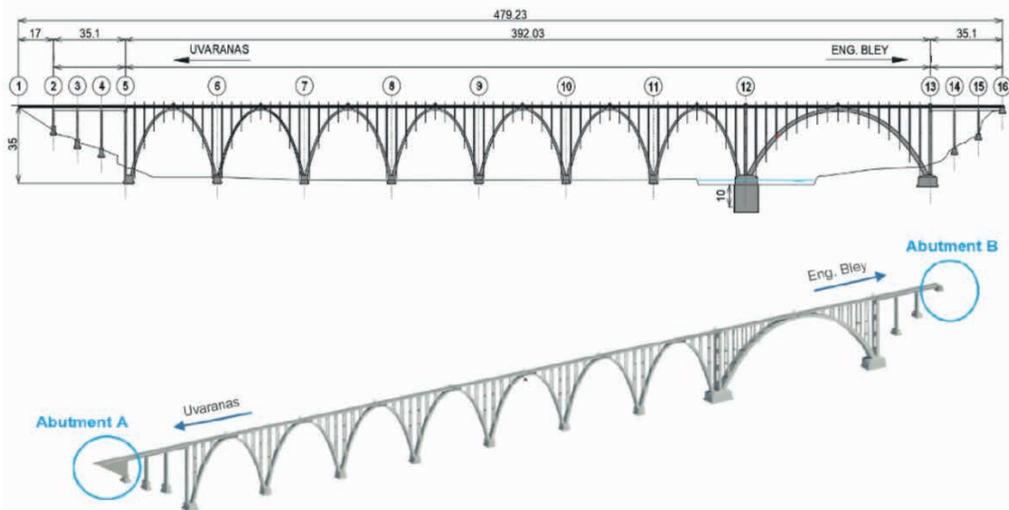


Figure 2 Papagaios Bridge main dimensions and abutments A and B

## BRIDGE INSPECTION

The Authors carried out a visual inspection to detect structural pathologies. Figure 3 and Figure 4 present a few examples. Bridge abutment B showed the most important structural damage including steel reinforcement corrosion, concrete spalling and – most important – a large shear crack at the bridge’s shallow foundation under abutment B.



Figure 3 Substructure pathologies: concrete cracking, vegetation, concrete efflorescence



Figure 4 Superstructure pathologies: torsion cracks, steel corrosion, shear crack at Abutment B

## DYNAMIC TESTS

Dynamic monitoring (DM) of large structures presents the advantage of minimal disturbance to its operation (Brinker et al, 2015, Fryba et al,2001) . Real-time monitoring, damage detection, structural evaluation or the possibility of obtaining a calibrated numerical model (Magalhães et al, 2012, Altunisik et al, 2016, Turker et al, 2014) have led the client to select DM for this project.

## OPERATION MODAL ANALYSIS (OMA)

The Operational Modal Analysis (OMA) is a technique for obtaining modal parameters such as natural frequencies, damping and vibration modes. It consists of measuring vibrations under the structure's normal operation conditions, *i.e.*, under traffic and wind excitations (Rainieri et al, 2014).

The DM consists of vibration measurements on selected locations using very sensitive accelerometers and recorders. In this case, two very accurate 24-bit vibration recorders were used. Their characteristics are 3D accelerometers range  $\pm 1g$ , 100 Hz sampling rate, very low noise  $\leq 10^{-10} g^2 / Hz$  (narrowband analysis), and dynamic range  $\approx 110$  dB.

A preliminary and undamaged numerical model of the structure enabled the selection of 28 measurement positions (**Error! Reference source not found.**) where the model indicated large amplitudes.

The measurements were carried out by two recorders on the bridge slabs and the top of the pillars. One recorder was placed in a fixed position, while the other recorded vibration on the previous measurement location. This led to a double measurement on each location and synchronization between all measurement locations.

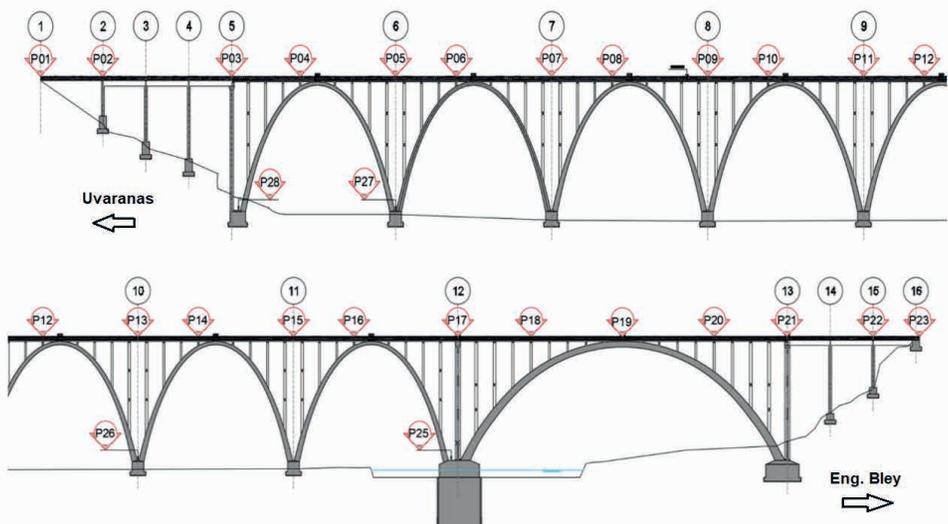


Figure 5 Measurement locations

An enormous amount of data was analysed to obtain the dynamic signature of the structure, followed by modal analysis in which a numerical finite element model in the frequency domain was calibrated to represent the measured behaviour.

The modal test scope is to determine the so-called *modal parameters*, i.e., natural frequencies, damping, and vibration modes (Brandt, 2011). These parameters inform the structural behaviour or the structure dynamic signature. These frequencies ( $f_r$ ) are directly proportional to the structural stiffness, according to the following equation:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}}$$

Where:  $K$  is the stiffness and  $m$  is the corresponding mass. Damping is related to the energy dissipation rate. Vibration modes inform the shapes in which a structure vibrates. Each resonance or natural frequency is related to a damping value and a modal shape (Clough & Penzien, 2003).

Data processing included the following techniques: zero filtering, and decimation, followed by FDD (frequency domain decomposition) (Brinker & Ventura, 2015, Rainieri & Fabroccino, 2014, Brandt, 2011), through different software packages.

## DYNAMIC AMPLIFICATION FACTOR (DAF)

Trains exert dynamic forces on bridges, generating dynamic responses. These responses are in general large close to expansion joints, especially when the train enters the bridge. This leads to an impact due to the sudden change of vertical stiffness between the railway pavement before and at the bridge. These responses are considered through an amplification factor ( $1+DAF$ ) which is multiplied by the static response  $R(static)$  resulting in the dynamic response  $R(dynamic)$  according to:

$$R(dynamic) = (1+DAF) \times R(static)$$

The structural response to dynamic loads is fundamental for analysing its behaviour and integrity. The dynamic response is analysed by comparing their values with structural design standards (Ataei et al, 2018, Liu et al, 2018).

Impact factors measurements were taken with a recorder on a fixed position on one sleeper (Figure 6), while the other, or the *traveller*, was positioned on various sleepers. These locations were previously selected (Figure 6) based on the preliminary numerical model which indicated locations of large vertical response when a train enters the bridge.

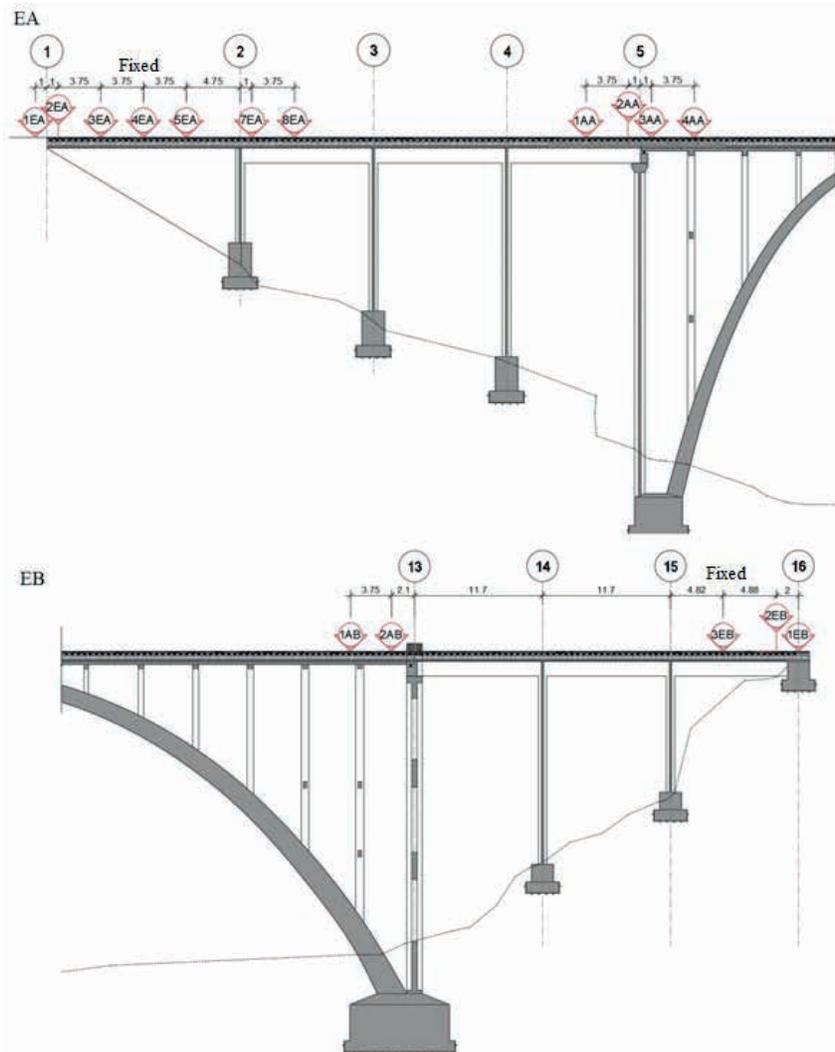


Figure 6 Measurement locations at the abutments A (top) and B (bottom)

The impact factor ( $\varphi$ ) is the ratio between  $R(\text{dynamic})$  and  $R(\text{static})$ . To obtain the responses, a double integration of the acceleration versus time was carried out followed by normalization relative to the fixed position measurement.

Pfeil (1985) proposed the following equation for estimating  $\varphi$ , where  $\ell$  is the span length of a bridge:

$$\varphi = 0.1\% (1600 - 60\sqrt{\ell} + 2.25\ell) > 1.2$$

Pfeil (1985) recommended  $\varphi$  minimum and maximum values of 1.2 and 1.6, respectively. Further to these recommendations, the Brazilian standard for concrete bridges (Magalhães et al, 2011) adopted these concepts.

## REPAIR WORK AT THE ABUTMENT B

The client carried out emergency repairs at abutment B (Figure 7) which consisted of demolishing the damaged areas, using rock bolts and new rebars and additional concrete.

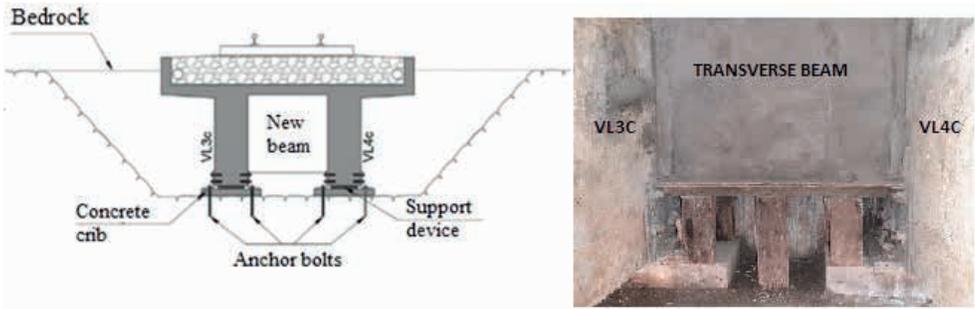


Figure 7 Emergency repair works at abutment B

## MEASUREMENTS AFTER THE REPAIRS

After completing the repairs, a second measurement campaign took place at Abutment B and extended to points P20 to P23 (Figure 6).

## RESULTS

The modal parameters were extracted utilizing the Frequency Domain Decomposition (FDD) technique using ARTeMis 6.0 software (ARTeMIS, 2022). The FDD technique extracts vibration modes and corresponding natural frequencies and damping (Magalhães et al, 2011). Table 1 presents the results.

Mode order	Frequency (Hz)	Damping (%)
f 1	0.635	0.884
f 2	0.673	1.359
f 5	0.928	0.429
f 75	4.525	6.076
f 78	4.785	0.703
f 264	11.832	1.029
f 311	15.038	0.228
f 312	15.136	0.241

Table 1 Extracted modal parameters through FDD

A preliminary numerical model yielded a first frequency equal to 0.55 Hz when using

concrete Young's modulus of  $E = 29$  GPa. This modulus value was estimated for a concrete unconfined strength of 22 MPa, as used during the construction period.

The measured fundamental frequency of 0.635 Hz and the other of the table were obtained by processing the data and statistical analyses. To calibrate the numerical model with the first frequency it was necessary to increase Young's modulus to 40 GPa, which agrees with values found in the literature (Altunisik et al, 2016, Turker et al, 2014). Figure 8 shows the calibrated model.

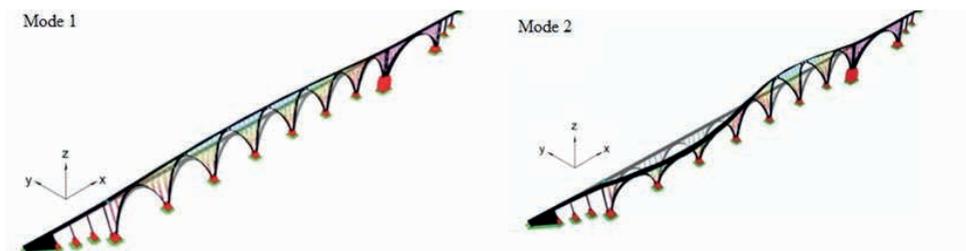


Figure 8 Numerical vibration modes

## MODAL ANALYSIS BEFORE AND AFTER REPAIR WORKS

Point P23 of abutment B was selected for comparing results before and after repairs. It returned the same number of frequencies between campaigns in a frequency close to 5.5 Hz. Figure 13 presents measured frequencies before and after repair. The vertical colour scale indicates the change in frequency. Blue points indicate no significant frequency change, while the red ones indicate change.

The larger frequencies in Figure 13 correspond to 5.423 Hz and 5.499 Hz, in which the difference is so small that cannot be used to indicate any significant change in stiffness. Also, the transverse modes cannot be used to indicate a change of stiffness, therefore the OMA cannot indicate damage in this bridge.

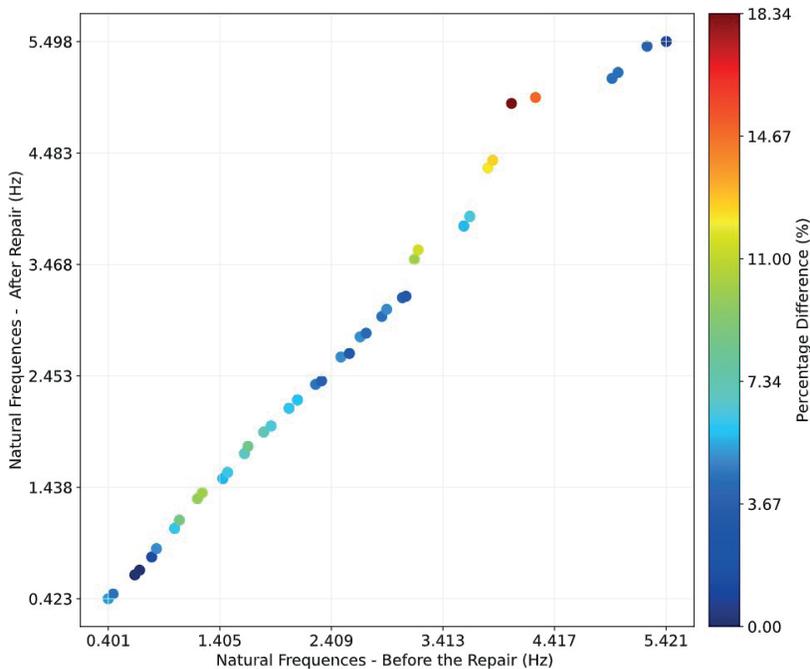


Figure 9 Comparative between natural frequencies after and before repairs.

## AMPLIFICATION FACTORS RESULTS

The vertical response of the bridge is given by the integration of measured accelerations and normalized to the fixed position measurement. Figure 10 presents the results for abutment A, showing low values below 1.2, therefore acceptable impact values (ABNT NBR 7187). On the other hand, Figure 11 presents results from abutment B, showing high values up to 2.6 before repairs and how much they decreased after the repair works.

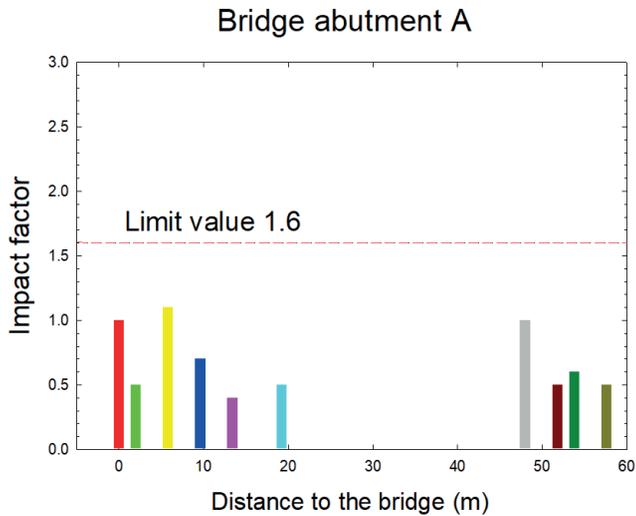


Figure 10. Dynamic Amplification Factors DAF– Abutment A (no repairs)

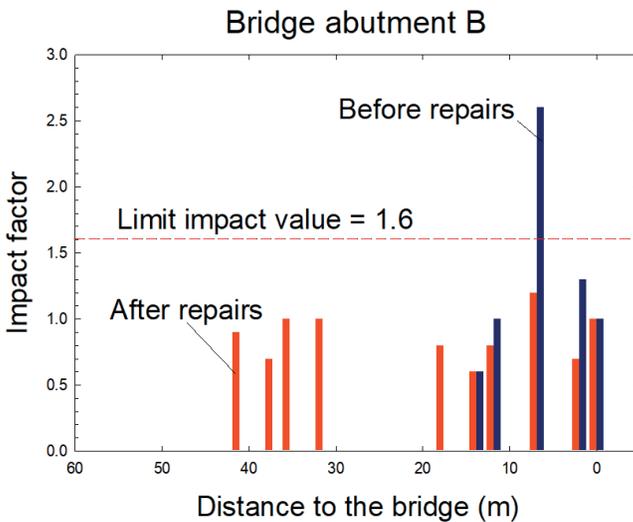


Figure 11. Dynamic Amplification Factors DAF– Abutment B, before and after repairs

## CONCLUSIONS

The present work evaluated the structural condition of a reinforced concrete arch railway bridge through dynamic tests before and after the repair at one abutment. The Operational Modal Analysis leads to the structure’s fundamental frequency of 0.635 Hz.

Experimental frequencies obtained through OMA before and after the repairs at the abutment did not provide any insight into the damage state conditions. This was due to uncertainties in the association with the experimental vibration modes shapes.

The good performance of abutment A was confirmed by the assessment of impact factors, or DAF. At abutment B, however, measurements before repairs showed high impact factors, up to 2.6, but reduced values, below 1.2, once the repairs were made.

Despite the limitations, it can be concluded that OMA is capable of inferring the global stiffness of the structure, while the DAF values can be used to assess whether or not the abutment structure elements are susceptible to acceptable amplification values.

This project demonstrates the effectiveness of dynamic tests as a complementary tool in the structural assessment of reinforced concrete bridges, analysis of train impacts and contributing to sustainable maintenance management of civil infrastructures.

## REFERENCES

ABNT NBR 15307 – “Ensaio não destrutivo – Provas de cargas dinâmicas em grandes estruturas – Procedimento”, 2006.

ABNT NBR 6118 – “Projeto de estruturas de concreto”, 2017.

ABNT NBR 7187 “Projeto de Pontes de Concreto Armado e Protendido”

ABNT NBR 7189 – “Cargas móveis para projeto estrutural de obras ferroviárias”, 1983.

Altunisik A C & Bayraktar A (2016) “Structural performance evaluation of arch type long span highway bridge”, IJEMS, vol. 23, pp. 188-202, Apr-Jun, 2016.

AREMA (2009) Manual for Railway Engineering - American Railway Engineering and Maintenance of-way Association

ARTEMIS (2022) ARTEMIS Modal Standard Structural Vibration Solutions. <<https://svibs.com/applications/artemis-modal-standard/>>

Ataei S & Miri A (2018) “Investigating dynamic amplification factor of railway masonry arch bridges through dynamic load tests”, Construction and Building Materials, vol. 183, pp. 693–705, Sep, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.151>

Brinker R and Ventura C E (2015) Introduction to Operational Modal Analysis. Wiley, United Kingdom, 360 p.

Clough R W & Penzien J (2003), Dynamic of structures (3 ed.). Berkeley, 731 p.

DIN 4150-3 – “Structural vibration in buildings: Effects on structures”, 2015.

EN 1998-2 – “EUROCODE 8. Design for structure for earthquake resistance – Part 2, 2005.

Frýba L & Pírnér M (2001), “Load tests and modal analysis of bridges”, Engineering Structures, vol. 23, pp. 102-109, Jan, 2001, [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(00\)00026-2](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(00)00026-2).

Liu X, Zhang X & Wang Y (2018) "A Rapid Detection Method for Bridges Based on Impact Coefficient of Standard Bumping", *Mathematical Problems in Engineering*, Sep, 2018, <https://doi.org/10.1155/2018/9195289>

Magalhães F & Cunha A (2011), "Explaining operational modal analysis with data from an arch bridge", *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 25, n. 5, pp. 1431–1450, July, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2010.08.001>

Magalhães F, Caetano E, Cunha A, Flamand O and Grillaud G, (2012) "Ambient and free vibration tests of the Millau Viaduct: Evaluation of alternative processing strategies", *Engineering Structures*, vol. 45, pp. 372–384, Dec, 2012, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.06.038>.

Pfeil W (1985) Reinforced concrete bridges, LTC Ed. (in Portuguese)

Rainieri C & Fabbrocino G (2014), *Operational Modal Analysis of Civil Engineering Structures*. Springer, 322 p.

Turker T & Bayraktar A, (2014) "Structural safety assessment of bowstring type RC arch bridges using ambient vibration testing and finite element model calibration", *Measurement*, vol. 58, pp. 33-45, Dec, 2014, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.08.002>

# COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRA DE AÇO VISANDO APLICAÇÃO EM PAVIMENTOS

*Data de aceite: 01/02/2024*

**Eduarda Lemos Rodrigues**

Universidade Federal de Santa Maria

**Lucas Eduardo Dornelles**

Universidade Federal de Santa Maria

**Victória Nunes-Ramos**

Universidade Federal de Santa Maria

**Silvio Lisboa Schuster**

Universidade Federal de Santa Maria

-25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

**RESUMO:** Uma das possibilidades para o aumento do percentual de malha rodoviária pavimentada no Brasil é a pavimentação de concreto. Apesar do seu alto custo inicial e baixa Resistência à Tração, ela apresenta uma maior vida útil comparada a pavimentação asfáltica, consequentemente, permitindo um alcance maior no percentual rodoviário. Além disso, a adição de materiais ao concreto, como fibras, permite a melhoria das propriedades mecânicas do material. Desta forma, este trabalho teve como objetivo a avaliação

da influência da adição de fibras de aço no comportamento mecânico de concreto para pavimentos. Em laboratório, foi realizada a caracterização física dos materiais utilizados na pesquisa, quais sejam, o agregado graúdo, o agregado miúdo e o cimento CP IV. Utilizou-se uma fibra de aço comercial. Foram elaborados três traços distintos, sendo um traço de referência, um com a adição de 10% de fibras de aço em relação ao cimento e um com adição de 20% de fibras de aço em relação ao cimento. A avaliação do comportamento mecânico do concreto com adição de fibras foi realizada através dos ensaios de compressão simples e tração na flexão e o tempo de cura para todas as amostras foi de 28 dias. Após a finalização dos rompimentos das amostras, não foi possível identificar uma diferença expressiva entre as adições, mas satisfatoriamente os resultados das adições nas duas resistências foram significativos, chegando a aumentos de 25,33% na Resistência à Compressão Simples e 15,07% na Resistência à Tração na Flexão. Sendo assim, foi possível concluir que a adição de fibra de aço é uma boa alternativa para melhoria das propriedades mecânicas de concretos para pavimentos, resultando em estruturas com maior resistência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fibras; Adição; Concreto; Pavimentos.

**ABSTRACT:** One of the possibilities for increasing the percentage of paved roads in Brazil is concrete paving. Despite its high initial cost and low tensile strength, it has a longer service life compared to asphalt paving, consequently allowing a greater reach in the road percentage. In addition, the addition of materials to concrete, such as fibers, allows the improvement of the mechanical properties of the material. Thus, this work aimed to evaluate the influence of the addition of steel fibers on the mechanical behavior of concrete for pavements. In the laboratory, the physical characterization of the materials used in the research was carried out, namely, the coarse aggregate, the fine aggregate and CP IV cement. A commercial steel fiber was used. Three distinct traces were elaborated, being a reference trace, one with the addition of 10% of steel fibers in relation to the cement and one with the addition of 20% of steel fibers in relation to the cement. The evaluation of the mechanical behavior of the concrete with the addition of fibers was carried out through the tests of simple compression strength and flexural tensile strength and the curing time for all samples was 28 days. After the completion of the ruptures of the samples, it was not possible to identify an expressive difference between the additions, but satisfactorily the results of the additions in the two strengths were significant, reaching increases of 25.33% in the simple compression strength and 15.07% in the flexural tensile strength. Therefore, it was possible to conclude that the addition of fibers, in this case steel fiber, is a good alternative to improve the mechanical properties of concrete for pavements, resulting in structures with greater strength.

**KEYWORDS:** Fibers; Addition; Concrete; Pavements.

## INTRODUÇÃO

De acordo com dados da Pesquisa de Rodovias da CNT (2022), o Brasil conta com cerca de 213.500 quilômetros de rodovias pavimentadas, o que corresponde a apenas 12,4% da extensão total da malha rodoviária do país. Desta forma, é possível identificar a importância do desenvolvimento desse modal e a necessidade de pesquisar e investir em tecnologias que permitam a construção de novas rodovias de forma econômica e sustentável.

Conforme Müller (2016), pavimentos de concreto têm sido utilizados desde o início do desenvolvimento rodoviário, uma vez que tais estruturas permitem uma grande durabilidade e alta resistência aos esforços solicitantes. Enquanto que nos pavimentos flexíveis as cargas acabam sendo concentradas na forma de esforços verticais no subleito, nos pavimentos de concreto as cargas são melhores distribuídas ao longo da estrutura. Ainda, pavimentos de concreto resultam em menor manutenção ao longo da vida útil, o que os tornam mais viáveis economicamente.

O pavimento de concreto pode ser dividido em três camadas, sendo elas o subleito, a base e a camada de revestimento. O primeiro corresponde ao terreno de fundação que é preparado para suportar o pavimento, enquanto que a base é a estrutura que controla as deformações no concreto e o comportamento mecânico das placas com o subleito. Por

fim, o revestimento corresponde às placas de concreto que formam a camada superior do pavimento de concreto.

Figueiredo (2006) comenta que, apesar da grande versatilidade e com a melhoria das propriedades, tais como a trabalhabilidade, aparência, durabilidade e Resistência à Compressão, o concreto ainda apresenta uma baixa Resistência à Tração.

No Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT (IPR 714/2005) é citado que resistências menores ou iguais a 4,0 MPa, correspondem a concretos de durabilidade inadequada sendo necessária uma placa mais espessa, enquanto que concretos com resistências maiores que 5,0 MPa correspondem a concretos com uma durabilidade mais adequada, mas que exigem um controle tecnológico rigoroso. Segundo Almeida (1999), para reduzir as imperfeições, vieram os materiais reforçados com fibras, que portam uma maior Resistência à Tração, à impacto, à fadiga, à abrasão, são mais tenazes e dúcteis. Além disso, a presença das fibras evita o espalhamento das fissuras através da matriz. Conclui-se então que a função das fibras é manipular o comportamento dos concretos, visto que uma vez fissurada a matriz, essas funcionam como ponte de transferência de tensão promovendo ductilidade pós- fissuração.

O diferencial do concreto reforçado com fibras de aço é a distribuição em toda a matriz do concreto, gerando um efeito rede através de milhares de fibras. Esse efeito é possível observar na pesquisa realizada por Santos *et al* (2020), sobre vigas de concreto reforçado com fibras de aço submetidas à flexão, em que foi feito o ensaio de flexão de quatro pontos, e utilizado o CP II E 32, para o traço com fibras foi adotado 20 Kg/m<sup>3</sup> de fibras de aço para cada corpo de prova. Sendo que, o traço de referência alcançou uma média de 17,07 MPa e o traço com fibras de aço obteve uma média de 21,62 MPa.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a adição de fibras de aço em pavimentos de concreto. Visa-se a análise do comportamento mecânico desta adição nas propriedades do concreto, e por consequência, propor sua aplicação em obras rodoviárias.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Para a execução da etapa experimental do estudo, foi realizada a caracterização de todos os materiais utilizados, sendo eles o cimento, os agregados, as fibras, a água e o aditivo. Posteriormente foi determinada a dosagem dos traços, sendo um traço de referência (REF), um traço com adição de 10% de fibras de aço em relação ao cimento (CRFA 10% - Concreto Reforçado com Fibra de Aço no teor de 10%) e um traço com adição de 20% de fibras de aço em relação ao cimento (CRFA 20% - Concreto Reforçado com Fibra de Aço no teor de 20%). Após o procedimento de dosagem, foi realizada a moldagem dos corpos de prova, que foram rompidos em 28 dias, nos ensaios de Resistência à Compressão Simples e Resistência à Tração na Flexão.

## Cimento

Optou-se adotar o CP IV por questão de disponibilidade local, sendo que esse material deve cumprir as condições da NBR 16697 (ABNT, 2018).

## Agregado graúdo

Como agregado graúdo foi utilizada o agregado com granulometria entre 9,5 a 19mm. Este material é proveniente de uma pedreira de Santa Maria/RS, sendo que o mesmo deve cumprir as condições da NBR 7211 (ABNT, 2005). Para caracterização física do agregado graúdo, foi realizado o ensaio de análise granulométrica, processo descrito na NBR NM 248 (ABNT, 2003) e na NBR 7181 (ABNT, 2018). A Tabela 1 representa a Composição Granulométrica do Agregado Graúdo utilizado. O ensaio da Massa Específica Absoluta (M-E-A) do Agregado Graúdo foi realizado de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006), e o resultado está representado na Tabela 2.

Peneiras		1ª Determinação		2ª Determinação		%	%	
n°	mm	Peso Retido	%	Peso Retido	%	Retida	Retida	
		g	Retida	G	Retida	Média	Acumulada	
3/4"	19	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	12,5	619,5	61,96	646,6	64,63	63,30	63,30	63,30
3/8"	9,5	297,3	29,74	289,7	28,96	29,35	92,64	92,64
1/4"	6,3	75,5	7,55	60	6,00	6,77	99,42	99,42
4	4,8	4,9	0,49	3,1	0,31	0,40	99,82	99,82
8	2,4	1,6	0,16	0,3	0,03	0,10	99,91	99,91
16	1,2	0,2	0,02	0	0,00	0,01	99,92	99,92
30	0,6	0	0,00	0	0,00	0,00	99,92	99,92
50	0,3	0	0,00	0	0,00	0,00	99,92	99,92
100	0,15	0	0,00	0	0,00	0,00	99,92	99,92
200	0,075	0,1	0,01	0,3	0,03	0,02	99,94	
fundo	<0,15	0,7	0,07	0,5	0,05	0,06		0,00
Total		999,80	100,00	1000,50	100,00	100,00	791,99	791,99
Diâmetro máximo:		12,5 mm;		n° 3/4"	Módulo de finura:	7,92		

Tabela 1. Composição Granulométrica do Agregado Graúdo.

A	Massa	B	Massa	C	Massa	D	Massa	E	Massa	F	Volume	M-E-A
	seca		Seca		Imersa		Imersa		SSS			
g	Est.	g	Est.	g	Bruta	g	Líquida	g	Líquida	G	E-D	B/F
	Bruta		Líquida									
1340,00		1090,00		1305,00		1166,00		1781,00		615,00		1,77
1350,00		1100,00		1300,00		1161,00		1794,00		633,00		1,74
Cesto ao ar:		250		Cesto imerso:		139				Média:		1,76

Tabela 2. Características do Agregado Graúdo.

## Agregado miúdo

Para o agregado miúdo foi utilizada a areia média natural de origem de Santa Maria/RS, sendo que o material deve cumprir as condições da NBR 7211 (ABNT, 2005).

Foi realizado o ensaio granulométrico no agregado miúdo, processo caracterizado na NBR NM 248 (ABNT, 2003) e na NBR 7181 (ABNT, 2018). A Tabela 3 indica a Composição Granulométrica do Agregado Miúdo utilizado. Para a realização do ensaio da Massa Específica do Agregado Miúdo seguiu-se a normativa a NBR 6458 (ABNT, 2017), visto que o resultado está representado na Tabela 4.

Peneiras		1ª Determinação		2ª Determinação		%	%	
nº	mm	Peso Retido	%	Peso Retido	%	Retida	Retida	
		g	Retida	g	Retida	Média	Acumulada	
1/4"	6,3	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
4	4,8	3	0,30	4,6	0,46	0,38	0,38	0,38
8	2,4	7,2	0,73	8,1	0,81	0,77	1,15	1,15
16	1,2	29,6	3,00	34,9	3,50	3,25	4,40	4,40
30	0,6	154,4	15,62	202,8	20,32	17,97	22,37	22,37
50	0,3	494,7	50,06	555,8	55,69	52,88	75,25	75,25
100	0,15	196,6	19,89	129,8	13,01	16,45	91,70	91,70
200	0,075	0	0,00	0	0,00	0,00	91,70	
fundo	<0,15	102,7	10,39	62	6,21	8,30		0,00
Total		988,20	100,00	998,00	100,00	100,00	286,95	286,95
Diâmetro máximo:			4,8 mm;	nº16	Módulo de finura:	2,87		

Tabela 3. Composição Granulométrica do agregado miúdo.

Propriedade	Resultado
Massa Específica	2,58 g/cm³
Massa Unitária Solta	1,486 kg/dm³
Dmáx. Característico	1,20 mm
Módulo de Finura	1,56

Tabela 4. Características do agregado miúdo.

## Fibras

A fibra empregada neste estudo foi a de aço. Sua produção é oriunda de aço de baixo teor de carbono, trefilado a frio. Utilizou-se a fibra comercial da Maccaferri, modelo Wirand FS8, que cumpre as especificações da ASTM A 820/02, ASTM C 1116/03, DIN 1045 e ABNT NBR 15530/07. A Figura 1 apresenta a fibra utilizada.



Figura 1. Fibras de aço.

## Água

A água utilizada foi proveniente da rede de abastecimento de água de Santo Ângelo/RS, através da CORSAN (Companhia Rio-grandense de Saneamento), filtrando partículas impuras.

## Aditivo

O aditivo aplicado foi o TEC-FLOW 8000, um superplastificante para concreto com alto poder de redução de água. Para sua utilização, o material deve cumprir as condições da NBR 11768 (ABNT, 2011).

## Dosagem do concreto

A Tabela 5 representa os traços unitários em massa.

TRAÇOS	CIMENTO	FIBRAS DE AÇO	AREIA	BRITA 1	ADITIVO	a/c
REF	1	-	2,06	2,94	-	0,47
CRFA 10%	1	0,1	2,06	2,94	0,03	0,47
CRFA 20%	1	0,2	2,06	2,94	0,03	0,47

Tabela 5. Traços Unitários em massa.

A Tabela 6 indica o consumo dos materiais.

TRAÇOS (Kg)	CIMENTO	FIBRAS DE AÇO	AREIA	BRITA 1	ADITIVO	a/c
REF	17,53	-	36,01	51,45	-	8,24
CRFA 10%	17,53	1,753	36,01	51,45	0,52	8,24
CRFA 20%	17,53	3,506	36,01	51,45	0,52	8,24

Tabela 6. Consumo dos materiais.

## Moldagem

A moldagem dos corpos de prova seguiu as diretrizes da normativa DNIT 049/2004. Foram necessários 105 kg de material para cada mistura, o que resultou em cinco corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, e três prismáticos, com dimensões de 50 cm de comprimento, 15 cm de largura e 15 cm de altura, para cada traço, totalizando 24 amostras.

Os materiais foram postos na betoneira na sequência: brita, cimento e areia, e a água foi acrescentada aos poucos. Ao colocar a quantidade de água calculada pelo fator a/c de 0,47, foi observado que para obter uma melhor trabalhabilidade seria preciso o aditivo, que foi misturado nos traços que tiveram essa necessidade. Após a elaboração do traço, a mistura foi posta nas fôrmas que foram untadas com um óleo desmoldante para uma desmoldagem mais prática. A cada mistura colocada na fôrma utilizou-se o vibrador para auxiliar no adensamento do concreto, evitando os espaços vazios e até mesmo o excesso de água. A desmoldagem dos corpos de prova foi realizada no dia posterior, e sua cura foi feita na câmara úmida durante 28 dias.

## Ensaio de compressão simples

Na execução do ensaio de compressão simples foram seguidas as condições da NBR 5739 (ABNT, 2018), sendo que foram ensaiados três corpos de prova cilíndricos para cada traço. O equipamento utilizado no ensaio é a prensa EMIC SSH300 com uma competência de 200 kN, localizada no Laboratório de Ensaios Tecnológicos da Construção Civil (LETCC) da URI – Santo Ângelo. A Figura 2 apresenta o Corpo de Prova antes do rompimento, e na Figura 3 são apresentados os CPs dos traços da REF (a) e do CRFA 20% (b) depois do rompimento.



Figura 2. Corpo de Prova antes do rompimento.



Figura 3. Corpo de Prova REF (a) e CRFA 20% (b) depois do rompimento.

### Ensaio de tração na flexão

Para a execução do ensaio de tração na flexão seguiu-se as condições da NBR 7222 (ABNT, 2011), sendo que foram ensaiados três corpos de prova prismáticos para cada traço. O equipamento utilizado neste ensaio é o mesmo utilizado para o ensaio de compressão simples. A Figura 4 representa o corpo de prova antes do rompimento, e a Figura 5 apresenta as amostras dos traços da REF (a) e do CRFA 20% (b) depois do rompimento.



Figura 4. Corpo de Prova antes do rompimento.



Figura 5. Corpo de Prova REF (a) e CRFA 20% (b) depois do rompimento.

## APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para avaliar o impacto da adição das fibras de aço em concreto para pavimentos, serão apresentados os resultados de Resistência à Compressão Simples e Resistência à Tração na Flexão.

### Resultados de Resistência à Compressão Simples

A Tabela 7 apresenta os valores de resistência obtidos para cada traço no ensaio de compressão simples, em MPa, e ainda o desvio padrão e média calculados. Na Figura 6 foi realizada uma comparação da média encontrada de cada traço.

TRAÇO	AMOSTRAS	FORÇA(kN)	RESISTÊNCIA (MPa)	DESVIO PADRÃO	MÉDIA
Referência	REF – 457	125,73	16,01	0,64	16,46
	REF - 458	132,81	16,91		
	10% - 505	147,61	18,79		
CRFA 10%	10% - 506	170,40	21,70	1,47	20,37
	10% - 507	161,85	20,61		
	20% - 513	171,14	21,79		
CRFA 20%	20% - 514	159,74	20,34	1,04	20,63
	20% - 515	155,24	19,77		

Tabela 7. Resultados de Resistência à Compressão Simples.

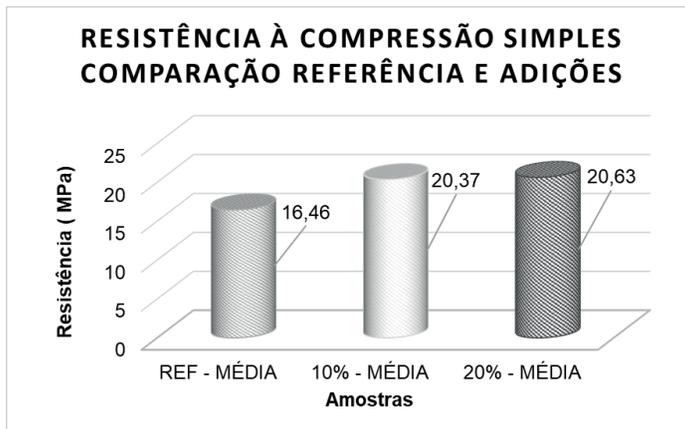


Figura 6. Resistência à Compressão Simples.

Conforme Bergonzi (2017), a Análise de Variância (ANOVA) compara as variâncias entre as médias, e essa análise de fator único, calcula o Fator de Fibra de Aço. E quando as médias são consideradas iguais, ou seja, não ocorre efeito do fator, é quando o F é menor que o F crítico, ou ainda quando o valor-P é maior que o erro admissível, sendo utilizado para este estudo o valor de 0,05. Na Tabela 8 é apresentado o Resultado ANOVA da Resistência à Compressão Simples.

RESUMO						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Referência	2	32,92	16,46	0,405		
CRFA 10%	3	61,1	20,3667	2,16143333		
CRFA 20%	3	61,9	20,63333	1,08463333		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	25,4958222	2	12,74791	14,786330	0,0079541	5,79
Dentro dos grupos	6,8971333	5	1,379427			
Total	32,3929556	7				

Tabela 8. Resultado ANOVA da Resistência à Compressão Simples.

O melhor resultado foi para o teor de 20% de adição, entretanto o valor para 10% de adição foi muito próximo ao da adição de 20%, tendo apenas 0,26 MPa de acréscimo. Isso demonstra que o aumento do teor de adição não influenciou relativamente no desempenho do material neste parâmetro. Ainda, é possível identificar que a adição de fibras de aço resulta em um aumento próximo a 25% na resistência das amostras. Ao avaliar os três traços foi possível perceber que as adições de fibras de aço ocasionaram em um aumento bastante significativo em relação ao traço da referência. Visto que, o resultado ANOVA demonstrou que há influência da fibra de aço no concreto.

## Resultados Resistência à Tração na Flexão

A Tabela 9 apresenta os valores de resistência obtidos para cada traço no ensaio de Resistência à Tração na flexão, em MPa, e ainda o desvio padrão e média calculados. Na Figura 7 foi realizada uma comparação da média encontrada de cada traço, e a Tabela 10 é referente ao resultado ANOVA da Resistência à Tração na Flexão.

TRAÇO	AMOSTRAS	FORÇA(kN)	RESISTÊNCIA (MPa)	DESVIO PADRÃO	MÉDIA
Referência	REF – 462	24,5	3,27	0,25	3,45
	REF – 463	27,2	3,63		
CRFA 10%	10% - 510	27,1	3,62	0,18	3,83
	10% - 511	29,3	3,91		
	10% - 512	29,7	3,96		
	20% - 518	30,9	4,12		
	20% - 519	27	3,60		
CRFA 20%	20% - 520	31,4	4,19	0,32	3,97

Tabela 9. Resultados de Resistência à Tração na Flexão.

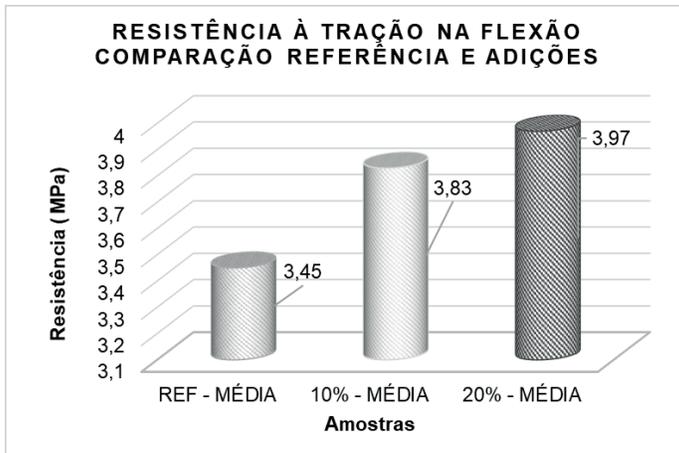


Figura 7. Resistência à Tração na Flexão.

RESUMO						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Referência	2	6,9	3,45	0,0648		
CRFA 10%	3	11,49	3,83	0,0337		
CRFA 20%	3	11,91	3,97	0,1039		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,3444	2	0,1722	2,53235294	0,1739491	5,79
Dentro dos grupos	0,544	5	0,068			
Total	0,8884	7				

Tabela 10. Resultados de Resistência à Tração na Flexão.

Comparando os traços, o melhor resultado foi com a adição de 20%, no entanto o resultado da adição de 10% foi aproximado com o da adição de 20%, tendo apenas 0,14 MPa de acréscimo, ou seja, o aumento da adição não teve uma influência expressiva no resultado. Apesar de não ser estabelecido em norma um valor mínimo, as amostras obtiveram um valor abaixo de 4,0 MPa, conseqüentemente correspondendo a uma durabilidade inadequada. Mesmo assim, é possível identificar que a adição de fibras de aço resulta em um aumento próximo a 10% na resistência das amostras.

Avaliando o resultado ANOVA foi observado que não há influência da fibra de aço no concreto em relação ao ensaio de Resistência à Tração na Flexão, ou seja, os resultados não tiveram uma diferença significativa.

## CONCLUSÃO

A partir da análise dos resultados, foi possível identificar um potencial de utilização

de fibras de aço para o desenvolvimento de concretos mais resistentes. Em relação à Resistência à Compressão Simples, foi possível obter um aumento próximo a 25% no parâmetro de resistência com a adição. Já na Resistência à Tração na Flexão, o aumento foi menor, na ordem de 10%, sendo um aumento também considerável.

Considerando que não teve um aumento significativo entre os teores de fibras de aço, é notável que não seria uma vantagem econômica optar por um traço com alto teor de fibras, tendo em vista que esse concreto mais resistente necessitaria que o teor fosse maior que 20%, assim aumentando o custo total do pavimento.

Avaliando os resultados foi possível constatar que os teores não tiveram influência na Resistência a Tração na Flexão e que não foi alcançado na Resistência a Compressão Simples um valor de concreto estrutural. Desta forma, esse concreto não pode ser utilizado em obras rodoviárias.

Mesmo que os resultados obtidos ainda não sejam totalmente satisfatórios, foi possível identificar tal potencial, que permite a elaboração de novos estudos com o material utilizando diferentes traços, cimentos, teores de adição e aditivos.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. O. de. Estudo da tenacidade e proposta de nova configuração de ensaio de flexão em placas para os concretos reforçados com fibras de aço. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndrico. Rio de Janeiro, 2018.

NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2017.

NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2018.

NBR 7185: Solo – Determinação da massa específica aparente, in situ, com emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro, 2016.

NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

NBR 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2010.

NBR 11768: Aditivos Químicos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 2019.

NBR 15530: Fibras de aço para concreto – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2019.

NBR 16697: Concreto Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BERGONZI, M. Concreto Reforçado com Uso de Fibra de Polipropileno e Sílica de Caca de Arroz. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Vale do Taquari, Lajeado, 2017.

CNT. Pesquisa CNT de Rodovias, 2022. Disponível em: <<https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/gerencial.pdf>>. Acesso em 23 maio. 2023.

FIGUEIREDO, M. P. de. Aplicação do método dos elementos discretos na análise estática e dinâmica de estruturas de concreto reforçado com fibras de aço. 2006. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MANUAL DE PAVIMENTOS RÍGIDOS DO DNIT. IPR 714/2005. Rio de Janeiro /RJ, 2005.

MÜLLER, A. P. S.. Análise das condições do pavimento de concreto do corredor de ônibus da cidade de Santa Maria. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

SANTOS, V. C. dos, GONÇALVES, P. C., GUIMARÃES, A. G., CABALLER, F. O. Vigas De Concreto Reforçado Com Fibras De Aço Submetidas À Flexão. Revista Eletrônica de Engenharia Civil. Goiás, v. 16, n. 1, p. 1-15, jan./jun., 2020.

## CAPÍTULO 5

# ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE POLIMENTO DE PORCELANATO NO DESEMPENHO MECÂNICO E NA DURABILIDADE DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

*Data de submissão: 15/01/2024*

*Data de aceite: 01/02/2024*

### **Karina dos Santos Fernandes de Souza**

Universidade Federal de Pernambuco  
Recife – PE  
<http://lattes.cnpq.br/2862195360921075>

### **Diego de Paiva Bezerra**

Universidade Federal da Paraíba  
João Pessoa – PB  
<http://lattes.cnpq.br/3610261129908017>

### **Débora Emmanuele de Sousa Oliveira**

Universidade Federal de Pernambuco  
Caruaru – PE  
<http://lattes.cnpq.br/3721323185317358>

### **Maria Jordânia Medeiros Pereira**

Universidade Federal de Pernambuco  
Caruaru – PE  
<http://lattes.cnpq.br/7195263223186739>

### **Maria de Lourdes Soares de Sousa**

Universidade Federal de Pernambuco  
Caruaru – PE  
<http://lattes.cnpq.br/2309440990938631>

### **Fabiola Luana Maia Rocha**

Universidade Federal da Paraíba  
João Pessoa – PB  
<http://lattes.cnpq.br/9085564868979082>

### **Lucas Moura Delfino**

Universidade Federal da Paraíba  
João Pessoa – PB  
<http://lattes.cnpq.br/4922835126288442>

### **Denn's Santana Perônica**

Universidade Federal da Paraíba  
João Pessoa – PB  
<http://lattes.cnpq.br/6137133841504576>

### **Leane Priscilla Bonfim Sales**

Universidade Federal da Paraíba  
João Pessoa – PB  
<http://lattes.cnpq.br/3443866511928538>

### **Rochanna Alves Silva da Rocha**

Universidade Federal da Paraíba  
João Pessoa – PB  
<http://lattes.cnpq.br/6857146190138160>

### **Iraniza Costa da Silva**

Universidade Federal de Pernambuco  
Recife – PE  
<http://lattes.cnpq.br/1166427217948949>

### **Silvânio da Silva Sousa Segundo**

Universidade Federal de Pernambuco  
Recife – PE  
<http://lattes.cnpq.br/4933958004835074>

**RESUMO:** A indústria da construção civil é uma grande geradora de resíduos prejudiciais, resultantes dos inúmeros processos produtivos. O resíduo de polimento de porcelanato (RPP) é um dos resíduos derivados da indústria cerâmica.

Diante disso, essa pesquisa teve o objetivo de analisar o emprego do RPP como material suplementar na produção do concreto, avaliando sua influência nos requisitos mecânicos e de durabilidade. A metodologia adotada consistiu na realização de ensaios de caracterização do RPP, ensaio no estado endurecido do concreto (resistência mecânica à compressão uniaxial e análise da durabilidade). Os teores de RPP incorporados na composição foram de 10% e 20% em relação a massa cimento, em misturas com aditivos plastificantes. O resíduo de polimento do porcelanato com teor de 10% e 20%, considerando a variação da relação água/cimento, obteve um aumento na ordem de 20% na resistência do concreto. Na análise da durabilidade, o ambiente marinho obteve a maior perda de resistência mecânica, referente a 16,9%, seguido do subsolo com 8,53% e da exposição ao gás carbônico com queda de 1,63%.

**PALAVRAS-CHAVE:** RPP; Resíduo; Resistência; Durabilidade.

## STUDY OF INCORPORATION OF PORCELAIN POLISHING RESIDUE IN MECHANICAL PERFORMANCE AND DURABILITY OF PORTLAND CEMENT CONCRETE

**ABSTRACT:** The construction industry is a large generator of harmful waste, resulting from numerous production processes. Porcelain polishing residue (RPP) is one of the residues derived from the ceramic industry. Therefore, this research aimed to analyze the use of RPP as a supplementary material in the production of concrete, evaluating its influence on mechanical and durability requirements. The methodology adopted consisted of carrying out RPP characterization tests, testing in the hardened state of the concrete (mechanical resistance to uniaxial compression and durability analysis). The RPP levels incorporated in the composition were 10% and 20% in relation to the cement mass, in mixtures with plasticizing additives. The porcelain polishing residue with a content of 10% and 20%, considering the variation in the water/cement ratio, achieved an increase of around 20% in the concrete's strength. In the durability analysis, the marine environment had the greatest loss of mechanical resistance, corresponding to 16.9%, followed by the subsoil with 8.53% and exposure to carbon dioxide with a drop of 1.63%.

**KEYWORDS:** RPP; Residue; Resistance; Durability.

## 1 | INTRODUÇÃO

A Construção Civil manifesta-se como um grande usuário de matérias primas naturais, contribuindo para o fomento da degradação ambiental. O paradigma vigente tem voltado a sua atenção para questões relevantes ao uso de elementos e tecnologias que possam reverter essa situação. A busca por inovações científicas permitiu o desenvolvimento e a utilização de diversos materiais em obras, com o propósito de melhoria no desempenho técnico e econômico dos empreendimentos (Marques *et al.*, 2007).

A utilização de adições minerais tem demonstrado ser muito importante no desempenho do concreto de cimento Portland, tanto nas propriedades do estado fresco e endurecido, como no aspecto da durabilidade e, devido a isso, a incorporação de resíduos na produção desses materiais pode proporcionar economia de energia e contribuir para o

desenvolvimento sustentável (Marques *et al.*, 2007).

O concreto é um material que apresenta um grande potencial para absorver elementos alternativos provenientes de rejeitos industriais e resíduos de construção. Dentre as adições minerais está o resíduo de porcelanato produzido pela indústria cerâmica, resultante da fabricação do porcelanato, que consiste em um piso de cerâmica decorrente da etapa de polimento apresentado como pó (Souza, 2007).

O processo de polimento do porcelanato ocorre em um equipamento que possui várias cabeças polidoras compostas de materiais abrasivos, que em contato com as peças em alta rotação e velocidade controlada em presença de água executam o polimento utilizando gradativamente uma granulometria mais fina, até conseguir-se o resultado desejado.

O porcelanato pode ser submetido a um processo de polimento superficial removendo alguns décimos de milímetros de material da superfície da peça cerâmica. Esse produto é um revestimento cerâmico impermeável, totalmente vitrificado, esmaltado ou não, cuja peça queimada é branca ou artificialmente colorida (Silva, 2005).

O processo de fabricação do porcelanato origina uma quantidade significativa de resíduo não reaproveitado pelas indústrias. Um dos subprodutos de porcelanato é oriundo do polimento, fundamental para dar acabamento à peça produzida. O volume total do resíduo de polimento de porcelanato (úmido) produzido gira em torno de 8 m<sup>3</sup> por dia ( $\pm$  20 toneladas) tomando como base a fábrica da Cecrisa em Santa Luzia, Minas Gerais. Este material é depositado em caçambas e, posteriormente, transportado e lançado em aterros sanitários da prefeitura (Silva, 2005).

## 2 | OBJETIVO

A pesquisa teve o objetivo de realizar a incorporação do resíduo de polimento de porcelanato (RPP) na confecção do concreto e analisar a sua influência como adição mineral no comportamento mecânico e nos aspectos de durabilidade da composição, quando submetido ao ataque de agentes agressivos.

## 3 | METODOLOGIA

A caracterização dos materiais constituintes do concreto, dosagem e confecção dos corpos de prova utilizados na pesquisa foi realizada no Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas (LABEME) da Universidade Federal da Paraíba.

A metodologia teórico-experimental adotada consistiu na caracterização do resíduo de polimento de porcelanato (RPP) e no estudo da influência desta incorporação nas principais propriedades do concreto, tomando como referência um material sem adição de RPP.

O procedimento experimental seguido nesse trabalho foi realizado seguindo as

Normas Técnicas referentes aos ensaios de caracterização e resistência mecânica do concreto, que serão apresentadas nos tópicos a seguir. Na Figura 1 representa, de maneira resumida, todo planejamento experimental usado na pesquisa.

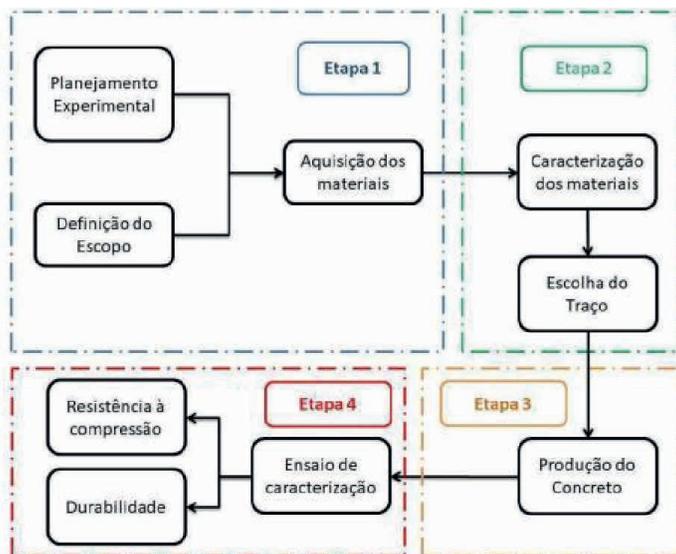


Figura 1 – Fluxograma do programa experimental

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A obtenção dos resultados contemplados nesse tópico está baseada no cumprimento de uma série de processos normativos, critério de dosagem do concreto e confecção dos corpos de prova, todos regidos por um controle tecnológico que visou a obtenção de conclusões satisfatórias da presente pesquisa.

### 4.1 Ensaio de caracterização do RPP

Primeiramente, foi feito um ensaio de granulometria para conhecer o tamanho das partículas do RPP. Com isso, constatou-se que o resíduo possui um diâmetro médio de  $3,74 \mu\text{m}$  e apresenta uma granulometria apropriada para preencher os vazios deixados pelos grãos de cimento. A partir das curvas de distribuição granulométrica foram obtidos os parâmetros D10 e D90, que estão relacionados aos diâmetros de corte da curva de distribuição acumulada em 10% e 90%, respectivamente, enquanto que, o parâmetro D50 está relacionado à mediana da distribuição e corresponde ao diâmetro médio de partícula ( $D_m$ ).

Porcentagem acumulada	Tamanho das partículas
Diâmetro a 10%	0,10 $\mu\text{m}$
Diâmetro a 50%	1,94 $\mu\text{m}$
Diâmetro a 90%	11,19 $\mu\text{m}$
Diâmetro médio	3,74 $\mu\text{m}$

Tabela 1 – Ensaio de granulometria à laser do RPP

Em seguida, como consta no Quadro 3, foi feito o ensaio de fluorescência em Raio-X, onde os resultados para a análise química apresentaram teores altos de SiO<sub>2</sub>, médios de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, baixos de MgO e traços de Fe, Ca, K, P e Na. A presença do ZrO<sub>2</sub> está relacionada com o grau de brancura do porcelanato.

Elementos	Porcentagens
SiO <sub>2</sub>	71,8058%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,1325%
MgO	4,3522%
Na <sub>2</sub> O	2,6220%
K <sub>2</sub> O	2,5405%
CaO	1,7225%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,9199%
Cl	0,7423%
SO <sub>3</sub>	0,4663%
TiO <sub>2</sub>	0,2304%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,1935%
MnO	0,0901%
ZnO	0,0712%
ZrO <sub>2</sub>	0,0355%
Rb <sub>2</sub> O	0,0257%
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0132%
SrO	0,0087%
NiO	0,0085%
NbO	0,0052%

Tabela 2 – Resultado da fluorescência de raio x

É possível observar que os índices de óxido de magnésio (parte derivada do abrasivo utilizado no polimento do porcelanato) e óxido de cálcio, que provocam reações expansivas na hidratação, aparecem em quantidades inofensivas para uso no concreto com base na NBR 16697 (ABNT, 20181) Cimento Portland Comum. Concluiu-se que grande parte do resíduo é formada por sílica e alumina, o que pode provocar uma melhor trabalhabilidade (dispersão das partículas), refinamento dos poros e maiores resistências (microestrutura

mais densa).

De acordo com a NBR 12653 (ABNT, 2014), norma esta que classifica as pozolanas em classes conforme suas origens e exigências mínimas quanto à sua composição, observa-se que o RPP aparece na classe N como uma argila calcinada, apresentando uma quantidade de  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{FeO}_3$  superior a 70%. Com relação aos outros componentes, o óxido  $\text{SO}_3$  está abaixo de 4%, o álcali  $\text{Na}_2\text{O}$  aparece um pouco acima de 1,5%, o que pode provocar a reação álcali-agregado e a perda ao fogo abaixo da porcentagem máxima de 10%.

Os resultados dos ensaios de massa específica e teor de umidade do resíduo estão apresentados na Tabela 3, ambos os ensaios foram realizados em triplicata para garantir a veracidade dos resultados.

Norma	Resultado obtido
Massa específica NBR 6474 (ABNT, 2001)	2,385 g/cm <sup>3</sup>
Teor de umidade – Estufa padrão	22,53%

Tabela 3 – Ensaio físicos do RPP

## 4.2 Propriedades do concreto no estado endurecido

A composição em massa adotada foi de 1:2:3 (uma unidade de massa de cimento, para duas unidades de massa de areia, para três unidades de massa de brita), por se tratar de um traço de boa resistência mecânica, econômico e de fácil preparo. Foi utilizado o cimento CPV ARI, fato esse justificado pelo produto ter um alcance de resistência mais alto nas primeiras idades.

O fator água/cimento (quantidade de água em relação à quantidade de cimento) variou entre 0,34; 0,37 e 0,40. O aditivo utilizado neste trabalho foi o Sikament PF 171, do fabricante Sika, e consiste em um aditivo líquido, polifuncional de pega normal para concreto com uma ampla faixa de dosagem.

Os resultados da dosagem experimental com idade de ensaio de 7 dias por meio da compressão axial NBR 5739 (ABNT, 2018) (Figura 2), permitiram concluir que os o resultado dos 03 corpos de prova com adição de 10% apresentou um aumento na resistência de 23,61% em relação aos corpos de prova de referência. Já os corpos de prova com adição de 20% não apresentaram influência na resistência mecânica do concreto. Os resultados estão dispostos na Tabela 4.



Figura 2 – Corpos-de-prova em ensaio destrutivo

Adição RPP	Número de amostras	Resistência (MPa)
0%	3	30,70
10%	3	37,95
20%	3	27,95

Tabela 4 – Resultado do ensaio de compressão axial aos 7 dias

Após o cálculo do traço (1:2:3:0,4) variou-se os teores de adição bem como da relação água/cimento a fim de encontrar um traço ideal. Passados 28 dias de cura os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de compressão axial. Os resultados estão dispostos na Tabela 5.

Adição RPP	Água/cimento	Número de amostras	Resistência (MPa)
0%	0,34	3	45,38
20%	0,34	3	47,74
0%	0,40	3	32,24
20%	0,40	3	39,63
10%	0,37	3	45,92

Tabela 5 – Resultado do ensaio de compressão axial aos 28 dias

Com essa variação foi possível concluir que o teor de adição de 20%, com relação água/cimento de 0,34, foi o que apresentou maior resistência mecânica. Dessa forma, encontrou-se um teor ideal tanto para a adição de 10% como para a de 20% viabilizando a implantação do resíduo como material aditivo no concreto.

A presença de partículas inertes na zona de transição do concreto nas primeiras idades atua como pontos de nucleação desorientando a formação preferencial do hidróxido de sódio, dificultando a formação de planos de fraturas contíguos, que enfraquecem o

concreto. Sabe-se que RPP possui pouca atividade pozolânica, entretanto a sua alta finura atuou como filer nos poros e na zona de interface matriz/agregado, agindo como agente densificador destas regiões do concreto durante o processo de hidratação, garantindo uma maior resistência à compressão (Olliver, 1998).

Percebe-se que há um ganho substancial de resistência à medida que aumenta o teor de adição para 10%, onde a densificação da pasta diminui a tendência de formação de microfissuras que levam à ruptura do material. De acordo com Silva (2005), esse ganho está relacionado também com o efeito filer responsável pelo preenchimento dos interstícios e a atividade pozolânica, proporcionando uma maior quantidade de produtos hidratados.

Para os concretos produzidos com adição de 20% de RPP, as partículas de filer também funcionam como agentes de nucleação, acelerando o processo de hidratação, entretanto devido a maior quantidade de partículas de RPP na pasta de cimento, provavelmente há diminuição da ligação entre os produtos hidratados, enfraquecendo o concreto.

A resistência à tração apresenta ser muito mais influenciada pelas características da zona de transição que a resistência à compressão. Isto acontece porque, na resistência à compressão, o concreto chega ao estágio de ruptura já em um estado de fissuração completa, onde existem numerosas fissuras espalhadas por todo o corpo-de-prova. Já na resistência à tração, as fissuras se propagam em direção transversal à aplicação da tensão e a ruptura é função da união apenas de algumas fissuras (Mehta e Monteiro, 2008).

### **4.3 Análise de durabilidade do concreto com adição de RPP**

Por último, comprovado o ganho de resistência do concreto com a adição do resíduo foi preciso verificar o comportamento desse frente a ação de agentes agressivos. A análise patológica foi verificada através de ensaios de resistência mecânica à compressão após a exposição dos corpos-de-prova a ambientes agressivos: marinho, subsolo, exposição ao gás carbônico. Para representar o ambiente marinho os corpos de prova foram submersos em uma solução salina que representasse a concentração do mar. Já para o subsolo os corpos de prova foram enterrados e representando a exposição ao gás carbônico os corpos de prova foram expostos ao ar. A partir do resultado com o teor ótimo de adição (10% de adição de resíduo) ou seja, aquele que apresentou o maior ganho de resistência.

Os resultados do desempenho mecânico dos corpos de provas submetidos a simulação de ambientes agressivos encontram-se na Tabela 6.

Ambiente simulado	Resistência à compressão (MPa)
Corpo de prova de referência	43,60
Marinho	36,23
Subsolo	39,88
Exposição ao gás carbônico	42,89

Tabela 6 – Desempenho mecânico em ambientes agressivos

O ambiente marinho obteve a maior perda de resistência referente a 16,9%, seguido do subsolo com 8,53% e da exposição ao gás carbônico com queda de 1,63% na resistência mecânica.

A perda reduzida na exposição ao gás carbônico foi devido ao ambiente ao qual foram expostos os corpos-de-prova. Esse situa-se no campus da UEPB localizado na cidade de Araruna, município de pequeno porte e por isso produz pouca emissão de gás carbônico.

O ambiente marinho por ser o mais agressivo obteve uma queda de resistência maior, porém esse valor é reduzido quando comparado a concretos usuais visto que a adição de RPP torna o concreto mais impermeável e assim reduz o efeito negativo do ataque de cloretos.

## 5 | CONCLUSÃO

A reciclagem é de fundamental importância para a redução do impacto ambiental e vem mostrando ser uma alternativa interessante para utilização dos resíduos industriais no setor da construção civil, desenvolvendo materiais que atendam aos padrões técnicos, melhorando suas propriedades e não oferecendo riscos ao meio ambiente.

Vários resíduos são usados na confecção de concretos, contribuindo com suas propriedades mecânicas e aspectos de durabilidade. É nesse sentido que esse trabalho procurou avaliar o comportamento de concretos produzidos com a adição do resíduo de polimento do piso porcelanato.

Os concretos com 10% e 20% de adição obtiveram um ganho médio de resistência quando variando suas relações de água/cimento. A variação da relação água/cimento de 0,37% e 10% do teor de RPP obteve uma resistência mecânica de 45,92 MPa, apresentando-se como teor ótimo de adição tanto em termos mecânicos como em execução.

O comportamento do concreto com teor ótimo de adições submetido a agentes patológicos apresentou influência em relação a diminuição da permeabilidade, dificultando a penetração de meios de deterioração e assim contribui para o aumento da vida útil da estrutura.

O resíduo de polimento do porcelanato pode ser usado na confecção de concretos com um aproveitamento satisfatório de suas propriedades mecânicas e dos aspectos de

durabilidade, desenvolvendo, portanto, um material com melhor desempenho e contribuindo para a preservação do meio ambiente.

A realização de trabalhos futuros para aprofundar e melhorar o desempenho do RPP no concreto é fundamentada em quesitos como a exploração de novos teores de adições, realização de ensaios específicos de durabilidade, estudo da microestrutura do concreto, ensaios de porosidade e absorção e medições térmicas.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12653: Materiais Pozolânicos. Rio de Janeiro, 2014.

MEHTA, P.K; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo, Ed. Pini, p.573, 2008

MARQUES, L. N. et al. Reaproveitamento do resíduo do polimento de porcelanato para utilização em massa cerâmica. Revista eletrônica de materiais e processos, v. 2, n. 2, p. 34-42, 2007.

SILVA, Guilherme Jorge Brigolini D. 2005. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

SOUZA, Paulo Alysson Brilhante Faheina de. Estudo do comportamento plástico, mecânico, microestrutural e térmico do concreto produzido com resíduo de porcelanato. 2007.

OLLIVIER, J. P., Durability of concrete. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Construção Civil, BT/PCC/192. 129p. São Paulo. 1998.

# STUDY OF THE PHYSICAL-MECHANICAL STRENGTH AND MOISTURE CONTENT OF MAÇARANDUBA WOOD (*MANILKARA SPP*) MARKETED FOR CIVIL CONSTRUCTION IN GURUPI-TO

Data de aceite: 01/02/2024

**Marcos Antonio Souza Oliveira Soares**

<http://lattes.cnpq.br/6996762398105063>

**Mauro Luiz Erpen**

<http://lattes.cnpq.br/7329927485701691>

**Maria Cristina Bueno Coelho**

<http://lattes.cnpq.br/2999809334076571>

**ABSTRACT:** As a requirement for the use of wood in civil construction, it is necessary to first understand its properties and what can modify its performance, such as its moisture content, which is inversely proportional to its mechanical strength and can become an aggravating factor for the development of pathological manifestations. This study aims to analyze whether the direct use of wood marketed in the municipality of Gurupi - TO, without prior drying, in building structures may be affected by excessive moisture. Additionally, the study seeks to examine the parallel compression strength of the wood fibers and correlate it with other strengths based on a simplified analysis of the ABNT NBR-7190 standard (1997). The species *Manilkara spp.* was used for the study, as it has good performance in structures and is locally available for purchase. Finally, it was

observed that the wood is being sold within moisture classes 1 and 2, and the results of compression, tension, and embedment are equivalent to those specified in the Brazilian standard and other sources. Regarding the compression strength values, a correlation was obtained between the averages with a significance level of 5%, which was not the case for the moisture content test. Efforts were also made to understand the reasons for the reduced use of wood in structures and to encourage further research on cataloging regional wood species for structural use and the study of causes of pathological manifestations as a variation of the study.

**KEYWORDS:** NBR-7190, pathological manifestations, structures.

### HIGHLIGHTS

- The strength and moisture content of timber in the study region was verified.
- The moisture content was compared with the respective strength of the *Manilkara Spp.* wood species.
- It highlighted the importance

of analyzing wood used in construction work.

- The possibility of using the wood sold in the study region was confirmed.

## 1 | INTRODUCTION

Knowing that wood has been widely used since antiquity due to its qualities of weight, resistance, thermal and acoustic insulation... knowledge about the product has had to be improved in order to improve the quality of the products generated. Wooden elements that can withstand compression, traction and bending are commonly used in building structures and, despite being a natural product, can undergo changes in their mechanical performance depending on internal and external factors such as moisture content and relative humidity. Given the market's high competitiveness with other products, such as steel and concrete, it is important to understand the application of wood in roof structures, which, depending on their layout, generate the aforementioned stresses in their parts, either separately or together, such as flexion-traction or flexion-compression.

The physical properties of wood are heterogeneity, anisotropy and hygroscopy. Its anatomy presents a heterogeneous arrangement, formed by sets of cells of different functions and ages, with their agglomerates called tissues, responsible for conducting and storing nutrients, protection, growth, and in general terms, the entire development of the plant (LISBOA, 1991). Once the wood has been felled, the material is prone to changes in humidity in relation to the environment in which it is found. Depending on atmospheric humidity, it can release or acquire the amount of water in its body (JANKOWSKY, 1990). Given the dissimilarity of dimensional variation in response to external and internal stresses, this guarantees the anisotropy of wood. According to Pfeil and Pfeil (2003) "the phenomenon of shrinkage is more important in the tangential direction, for a reduction in humidity from 30% to 0%, tangential shrinkage varies from 5% to 10% of the green dimension, depending on the species. Shrinkage in the radial direction is about half that of the tangential direction. In the longitudinal direction, shrinkage is less pronounced, amounting to only 0.1% to 0.3% of the green dimension, for drying from 30% to 0%".

By combining volume variation with hygroscopy, it is possible to obtain divergent results in terms of the piece's usability for building structures. Uneven dimensional change favours the appearance of pathological manifestations throughout the pieces, such as bowing, bulging and warping, highlighting the importance of good treatment of the wood after removal (PFEIL and PFEIL, 2003).

According to the technical standard NBR-7190 (1997) "Projeto de Estruturas de Madeira" (Design of Wooden Structures) of the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT), which guides test methods using limit states and states of use, the equilibrium humidity for relative air humidity less than or equal to 65% is 12%, the standard reference humidity for determination tests in Brazil and the United States.

At this point, the development of tests tends to contain fewer errors due to non-conformities in the samples and more accurate results due to the greater stability of the specimens. The standard also provides tables correlating each species of wood to its respective mechanical properties. Among the dicotyledons, there is the one in the current study with the common name Maçaranduba (*Manilkara spp*), a species sold by timber companies in the city of Gurupi - TO, a city with around 76755 inhabitants and an average annual relative humidity of between 60 and 70% (IBGE,2012; INMET,2020). *Manilkara spp* occurs in the states of Pará, Amazônia, Amapá, Maranhão, Mato Grosso, Rondônia, Roraima and in non-flooded areas of the Amazon rainforest. It is moderately difficult to cut and plane and easy to turn. It is used in civil construction in external construction, in railway sleepers, bridges, crosspieces and piles, in internal construction, in scissors, beams and rafters, in floorboards, in parquet flooring, in furniture, transportation and other uses that match its qualities (EMBRAPA, 2004; JANKOWSKY, 1990; IPT, 2013).

*Manilkara spp* has a flexural strength of 138.5 MPa at 12% humidity, and compression parallel to the fibers of 82.9 MPa at 12% (NBR-7190, 1997). The species is difficult to air-dry, and cracks, warping and external stiffening can occur, requiring high control for kiln-drying (JANKOWSKY, 1990).

Given the importance of drying wood to achieve optimized results in terms of mechanical characteristics, the possibility of using the species for external use in beams, rafters and slats in buildings and the presence of *Manilkara spp* in the study region (IPT, 2013), samples of the species were researched in order to ascertain the average humidity of the pieces sold in the municipality of Gurupi - TO, correlating the strength of the samples that were not artificially dried with the genuine compressive and tensile strengths that the wood structures would be susceptible to if pieces with standard humidity were applied. The results of the average humidity, compressive and tensile strengths acquired in the laboratory were compared with other references, confirming the need to dry the pieces or ensuring their use without drying treatment after purchase.

## 2 | MATERIAL AND METHODS

### 2.1 Obtaining data

In order to obtain the data needed to make comparisons of the mechanical strength in relation to the humidity of the *Manilkara spp* species, it was necessary to sample pieces purchased from lumber yards in the region of Gurupi - TO, which had received monetary aid for research from the Federal Institute of Tocantins. The methodological development was mainly based on the NBR- 7190 (1997) “Projeto de Estruturas de Madeira” (Design of Wooden Structures) standard, as it is nationally recognized and is included in the syllabuses of Brazilian universities, along with references to works on structures, drying and handling laboratory samples of wood.

The material was purchased from two timber companies in Gurupi - TO, called Madeireira São Sebastião and Madefort, both located on Avenida Ceará in the Central Sector, and 6 pieces measuring 1 meter in length, 0.12m in height and 0.05m in width were bought from the same batch of wood of the *Manilkara spp* species known by the sellers as Maçaranduba. Given the requirements of the selection methodology, in order to avoid bias and consequent changes to the results, the goods were chosen at random (NBR-7190, 1997). Before being purchased, the beams were cut with a disc saw by the timber company for transportation and then taken to the civil construction laboratory in block 4 of the Federal Institute of Tocantins campus Gurupi - TO, which is located approximately 1.5 kilometers away, where they were stored in a ventilated and covered area.

As soon as the material arrives at the laboratory, the preparation stage begins in order to organize, identify and prepare it so as to proceed with the development of the methodological application of according to the method of simplified characterization of the strength of sawn timber for known species described in chapter 6.3 of standard NBR-7190 (1997), where, by correlation with the resistance to compression parallel to the fibers, the resistance to traction parallel to the fibers, compression normal to the fibers, embedding normal and parallel to the fibers and shear parallel to the fibers are determined.

For research purposes, no more than one sample may be taken from each specimen for the appropriate tests. As the purpose of the research is to compare the strengths of samples dried at standard humidity and untreated after purchase, 1 sample was taken from each specimen for humidity tests and 1 for the test of resistance to compression parallel to the fibers. The specimens must be free of defects and taken from areas far from the ends, excluding at least 30 centimeters or five times the smallest dimension of the cross-section (NBR-7190, 1997).

## 2.2 Humidity test:

The moisture content of wood is calculated from the ratio of the difference between the initial mass of the sample before and after drying, divided by the mass after drying, obtaining the percentage by multiplying the operation by 100 (NBR-7190, 1997).

As the pieces would have dimensions of 0.05x0.10x1.00 meters, they were cut using a bench circular saw with a 10-inch blade at a speed of up to 4800 revolutions per minute (Figure 1), extracting 30 centimeters from the end in the transverse direction and then worked until a sample of each specimen measuring 0.02x0.03x0.05 meters was obtained (Figure 2 and 3), where 0.05 meters runs in the direction parallel to the fibers. To help with the cut-out, templates were marked with the given measurements, where you will need a tape measure to the measurement and caliper to confirm the dimensions after cutting with an accuracy of 0.1mm.



Figure 1 - Bench saw with 10-inch blade.

Source: The author (2022).

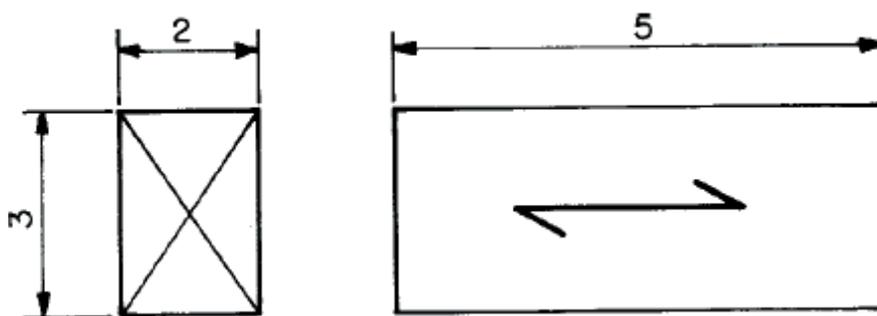


Figure 2- Dimensions of the specimen for the moisture test.

Source: The author (2022).



Figure 3 - Test specimens for moisture content testing and the respective specimens to be broken.

Source: The author (2023).

Using a scale with a precision of 0.01g, it is possible to obtain the mass of the samples, organizing the data obtained from the specimens that will be taken to the oven mentioned in figure 4 and those that will be compressed in the hydraulic press without prior drying into tables.



Figura 4 - Drying chamber.

Source: The author (2022).

After obtaining the mass of the samples, the 6 units should be taken to the drying chamber with a maximum temperature of  $103^{\circ}\text{C}$  and a variation of plus or minus  $2^{\circ}\text{C}$ . During the process, the mass of the specimens should be measured every 6 hours until there is a variation of less than 0.5% of the previously measured mass, at which point they will be considered dry. Knowing the measurements on the scales before and after drying, it is possible to calculate the moisture content of the samples using Equation 1.

### 2.3 Compressive strength test parallel to fibers:

In order to obtain the resistance to compression parallel to the fibers of a  $12\text{m}^3$  batch, the maximum tension at which the specimens would resist rupture was applied. To apply the force, a hydraulic press was used with a base and top larger than the cross-sectional measurements of the sample, computing the data obtained in Mega Pascal.

The Brazilian standard shows that stiffness and strength are obtained simultaneously, with stiffness being obtained from stress and strain diagrams. Given the purpose of the research, only the destructive test will be analyzed with specimens measuring  $0.05 \times 0.05 \times 0.15$  meters, as shown in figure 5, numbered 1 to 12. As with the moisture content test, they were shaped using a 10-inch circular saw, with the aid of a measuring tape, pen and white tape

for identification and a caliper (Figure 6) to certify the dimensions with an accuracy of 0.1 millimeters. To measure the cross-sectional area of the specimen, given the inaccuracy of the pieces coming from the lumber yard, the average of the measurements of the top and bottom was taken, measuring in both directions from the top, and in both directions from the bottom, adding the sides of the top and bottom and dividing by two, thus obtaining two measurements to calculate the area.

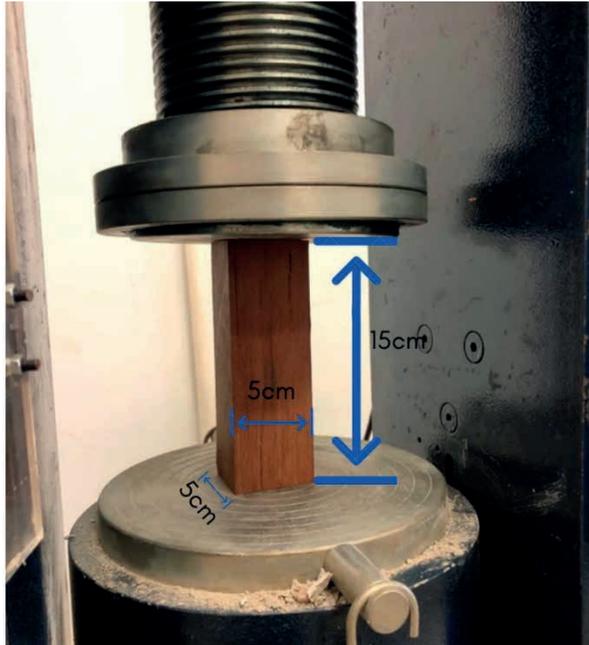


Figure 5 - Representation of a specimen with dimensions of 15x5x5cm.

Source: The author (2022).



Figure 6 - Digital pachymeter for taking measurements with a precision of 0.1 millimeters.

Source: The author (2022).

NBR-7190 recommends stipulating the strength of the specimens so that during the pressing process there is better contact and accommodation of the sample, divided into 3 compression cycles. The first cycle starts with the application reaching 50% of the estimated resistant force, after 30 seconds with stable application and then reducing to 10% of the resistant force, after another 30 seconds, the second cycle starts from 10%, repeating the process. In the third cycle, the force is applied from 10% up to the test body's resistance limit. The standard also stipulates that resistance should be obtained with loads of around 10MPa/min in all cycles. The maximum strength of each specimen will be obtained from the breaking of the specimens, and the data will be computed for calculations. For this experiment, controlled decompression will not be possible due to the availability of a manual hydraulic press.

## 2.4 Analysis statistics:

In order to assess the correlation between the moisture content values and the maximum compressive strength of the extracted specimens, Tukey's analysis of variance method and the ANOVA f-test will be used to compare the means of the results for each timber mill. Assuming an ANOVA significance level ( $\alpha$ ) of 5%, with the null hypothesis ( $H_0$ ) representing the equality of the means of the load values at break and moisture percentage, and the difference being the alternative hypothesis ( $H_1$ ). In this case, the P-value (probability P) for the acceptability of the null hypothesis of equality of means must be above 5%, otherwise the means will not correlate probabilistically. For the data tabulation, 2 treatments were used: the two lumber yards where the material for the test was purchased and the only places that sold the species in the city of Gurupi - TO at the time of purchase, with 6 replicates each, since 1 test specimen was taken from each piece of Maçaranduba wood.

To carry out the tests, the programs "Microsoft Office Excel" were used for the ANOVA test and "Past" for the Tukey test and comparison with the ANOVA test results. For the ANOVA test carried out by the programs, the mean, variance, the sum of squares (SQ) of the individual results, the degree of freedom (gl), the mean square (QM), and for both the calculated F-value, P-value and critical F-value were automatically calculated for the treatments and residues. For Tukey's test, which is carried out empirically using the Excel program, data on the number of treatments and the degree of freedom of the residual from the ANOVA tables is used to enter the tabulated q value of the total amplitude, calculating the minimum significant difference and then comparing it with the contrasts of the means obtained by the results of the experiments, analyzing whether the contrasts are lower than the minimum significant difference, meaning that the null hypothesis ( $H_0$ ) is not rejected, or, if not, the null hypothesis ( $H_0$ ) is rejected.

### 3 | DISCUSSION

Tables 1 and Graph 1 show the humidity and maximum compressive strength values obtained from the destructive test in a hydraulic press, which have been adapted to the press.

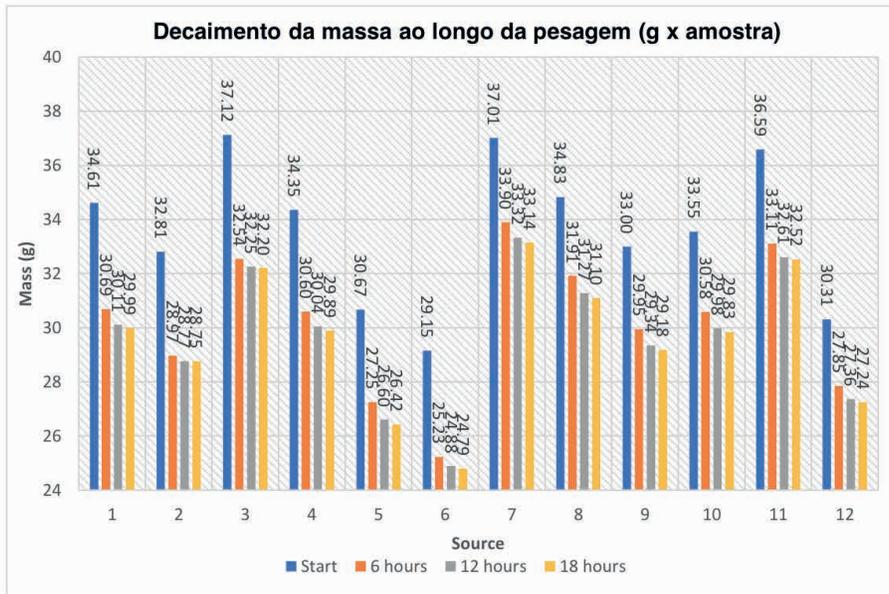
It is not possible to perform decompression at 10 MPa/minute, since decompression with a manual hydraulic press is done abruptly. Compression at 10 MPa/minute was maintained, converting to the units used by the press, approximately 2500 Kgf/minute, considering the 25cm<sup>2</sup> specimens

**Loading test - compression parallel to the fibers - 10 MPa/min**

	Sample	Breaking load (Kgf)	Section transverse (cm <sup>2</sup> )	Rupture pressure (MPa)
	<b>Test</b>	18349		
<b>MadefortTimber (1)</b>	<b>1</b>	15472	25,63	60,38
	<b>2</b>	16153	25,10	64,37
	<b>3</b>	13080	22,30	58,65
	<b>4</b>	19203	23,12	83,08
	<b>5</b>	19867	23,89	83,18
	<b>6</b>	18063	24,00	75,27
<b>São Sebastião Timber (2)</b>	<b>7</b>	22618	24,74	91,42
	<b>8</b>	19919	25,12	79,28
	<b>9</b>	20366	26,22	77,67
	<b>10</b>	17376	24,67	70,44
	<b>11</b>	20603	24,33	84,69
	<b>12</b>	27002	26,72	101,04

Table 1 - Results of loading tests with *Manilkara spp.*

Source: The author (2023).



Graph 1 - Moisture test results with *Manilkara spp.* specimens.

Source: The author (2023).

Table 2 shows the measurements taken of the specimens that were compressed. These values were used to calculate the average compressive strength, using the average of the top and bottom measurements to form the cross-section in cm<sup>2</sup>.

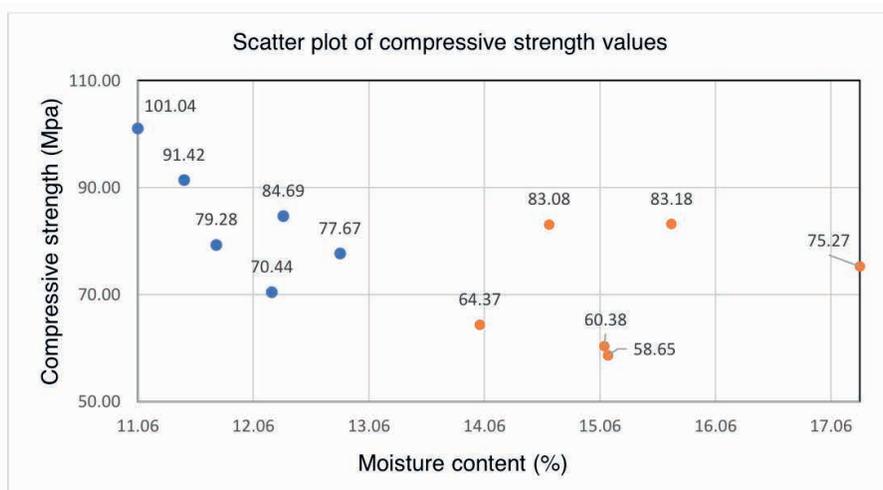
**Cross-section of the specimens for the loading test**

Sample	Top (cm)		Base (cm)		Average ((topX+bottomX)/2)(cm)		Average cross-section (cm <sup>2</sup> )
	A	B	A	B	A	B	
1	5,01	5,13	5	5,11	5,005	5,12	25,63
2	4,95	5,1	4,94	5,05	4,945	5,075	25,10
3	5,01	4,46	4,98	4,47	4,995	4,465	22,30
4	4,95	4,57	5,1	4,63	5,025	4,6	23,12
5	4,63	5,17	4,61	5,17	4,62	5,17	23,89
6	5,14	4,65	5,16	4,67	5,15	4,66	24,00
7	4,83	5,22	4,75	5,11	4,79	5,165	24,74
8	5,16	5,08	4,81	5	4,985	5,04	25,12
9	4,98	5,22	5	5,29	4,99	5,255	26,22
10	4,7	5,03	5,06	5,08	4,88	5,055	24,67
11	4,78	5,19	4,76	5,01	4,77	5,1	24,33
12	5,22	5,14	5,27	5,05	5,245	5,095	26,72

Table 2 - Values of the cross-sectional measurements of the compressed specimens.

Source: The author (2023).

For the compression test, the average value for the Madefort timber company was 69.35 MPa, using an average cross-section of 24 cm<sup>2</sup>, while for the São Sebastião timber company the result was higher, at 82.62 Mpa, with an average cross-section of 25.30 cm<sup>2</sup>, correlating with average humidities of 15.31% and 11.94% respectively. For the first case, the highest compressive strength occurred in the sample with the second lowest percentage of water, while in the second case, the highest strength was the one with the lowest percentage of water, as shown in graph 2. In general, the highest strength obtained was in sample 12 together with the lowest humidity, which did not occur in relation to the lowest strength with the highest humidity, obtaining for the study the lowest strength of 60.38 MPa in sample 1 with 15.10% humidity, lower than the highest humidity in the study of 17.31% in sample 6.



Graph 2 - Graphical analysis of compressive strengths and respective humidities.

Source: The author (2023).

In comparison with the ABNT NBR 7190 (1997) standard, samples 6, 7 and 12 showed values below the standard humidity for use in characterizing species, while the other samples showed values between 12.22% and 17.31%, resulting in an average of 13.62%, making then class 1 and 2 humidity for structural calculations when using  $k_{mod2}$ .

The strength characterization values shown in table 5 were calculated from direct relationships for species already known to the Brazilian standard, with row 3 of the table highlighting the formulations used for calculation. For  $f_{c0,k}$ , the average of the tensile strength values corrected by equation 2 was used. The calculation showed a coefficient of variation of 16.25% and denoted strength class C60 according to table 3 of the Brazilian standard for dicotyledons.

Resistors Characteristics					
compression parallel to the fibers.	traction parallel to the fibers.	shear parallel to the fibers.	compression normal to the fibers.	embedding parallel to the fibers.	normal embedding in the fibers.
	$f_{c0,k}/0,77$	$0,12*f_{c0,k}$	$0,25*f_{c0,k}$	$1,0*f_{c0,k}$	$0,25*f_{c0,k}$
<b><math>f_{c0,k}</math> (MPa)</b>	<b><math>f_{t0,k}</math> (MPa)</b>	<b><math>f_{v0,k}</math> (MPa)</b>	<b><math>f_{c90,k}</math>(MPa)</b>	<b><math>f_{e0,k}</math> (MPa)</b>	<b><math>f_{e90,k}</math> (MPa)</b>
81,22	105,48	9,75	20,31	81,22	20,31

Table 5 - Results of the characteristic resistances.

Source: The author (2023).

In parallel with the ABNT NBR 7190 standard (1997) and Pfeil and Pfeil (2003), the  $f_{c0,k}$  resistance was approximated from 82.9 MPa to 81.22 MPa in the present study. In comparison with EMBRAPA (2004), the value is between the resistances obtained for the best performing species of the *Manilkara* genus, *Manilkara huberi*, which varies between 68.3 and 101.9 MPa.

For the probabilistic evaluation between averages, the results are shown in tables 4 to 13. Firstly, table 4 summarizes the maximum compressive stress data selected for the test, where each group contains 6 results, obtaining the sum, average and variance for each of them. By analyzing the stress data instead of the resistance force, one of the variables is eliminated, which is the variation in the cross-section of the blocks, since the strength of the sample depends on its dimensions.

Group	Counting	Sum	Average	Variance
Maderfort	6	424,91	70,82	124,31
São Sebastião	6	504,54	84,09	118,45

**ANOVA**

Source of variation	SQ	gl	QM	F	P-value
Between groups	528,47	1	528,47	4,35	0,06
Within the groups	1213,81	10	121,38		
Total	1742,28	11			

Table 4 - ANOVA analysis table for the resistance to compression parallel to the fibers test,calculated using the “Excel” program.

Source: The author (2023).

In the ANOVA analysis for the strength test, the calculated F value was lower than the critical F, representing equality between the group averages (timber) for the maximum resistant compressive stress results, with a p-value greater than 5%.

Equality of means test					
	Sum of squares	df	Mean square	F	P-value
<b>Between groups</b>	528,146	1	528,146	4,352	0,064
<b>Within the groups</b>	1213,650	10	121,365		
<b>Total:</b>	1741,800	11	0,063		

Table 5 - Results of F and P-value calculated by the ANOVA method using the “Past” program.

Source: The author (2023).

A joint analysis of the two programs reaffirms the probabilistic fairness of averages between groups for the maximum tensile strength results.

Calculation of Tukey's minimum significant difference				
l	n2	$\alpha$	q	$\Delta$ (MPa)
2	10	0,05	3,15	24,95

Table 6 – Calculation of Tukey's minimum significant difference.

Source: The author (2023).

Table 6 shows in  $\Delta$  the amount by which the averages of the results from each logging company can vary from one another. In other words, the average of one logging company subtracted from another must, in module, be less than 24.95 (MPa).

Ranking of averages in descending order										
Sample	1	2	3	4	5	6	Average	Averages in descending order	contrasts	Evaluation
<b>Madefort Timber</b>	60,38	64,37	58,65	83,08	83,18	75,27	70,82	84,09	13,27	Not rejected H0
<b>Amostra</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>Average</b>			
<b>São Sebastião Timber</b>	101,04	84,69	70,44	77,67	79,28	91,42	84,09	70,82		

Table 7 – Tukey's analysis table for calculating the contrast between means.

Source: The author (2023).

Table 7 shows the difference between the group means in the contrast column, which is 13.27 MPa, less than the maximum difference of 24.95 MPa. This means that the means are within the acceptable range for not rejecting the hypothesis of equal means. This is confirmed by the analysis carried out in the “Past” program in Table 8.

P-value for each comparison		
Timber	Madefort	São Sebastião
Madefort	-	0,06355
São Sebastião	2,95	-

Table 8- P-value table for analyzing the results of the compression test parallel to the fibers based on the Tukey test carried out in the “Past” program

Source: The author (2023).

Table 8 shows the p-values comparing the averages of the timber companies, where the empty cells are the comparisons of the average with the average itself, showing that the p-value was greater than 5%.

With reference to the moisture content test, Table 9 shows the ANOVA table calculated using the Excel program. The summary of the data shows the sum, mean and variance of the moisture content results for each group represented by the timber companies, followed by the sum of the squares, degree of freedom, mean square, F, P-value and critical F.

Group	Count	Sum	Average	Variance
Timber Madefort	6	91,85	15,31	1,27
Timber São Sebastião	6	71,61	11,94	0,40

ANOVA						
Source of variation	SQ	gl	QM	F	P-value	Critical F
Between groups	34,13	1	34,13	40,85	0,0001	4,96
Within the groups	8,35	10	0,84			
<b>Total</b>						
Between groups	42,48	11				

Table 9 - ANOVA analysis table for the moisture content test carried out using the Excel program.

Source: The author (2023).

For this experiment, the F-value was significantly higher than the critical F-value, and the P-value was less than 5%, indicating a probabilistic difference between the means of the timber groups. As a comparison, the ANOVA test in the “Past” program, shown in Table 10, was also carried out for the results of the moisture content test.

<b>Test of equality of means</b>					
	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>P-Value</b>
<b>Between groups</b>	34,17	1	34,17	40,79	0,00008
<b>Within the groups</b>	8,378	10	0,84		
<b>Total</b>	42,55	11	0,002		

Table 10- F and P value results calculated using the “Past” program for the moisture content test values.

Source: The author (2023).

Based on the results shown in tables 9 and 10, it is statistically confirmed for both analyses that at least one of the moisture content values obtained is different from the others. To confirm this, Tukey’s test was carried out, starting with table 11, which shows the margin within which the averages can vary in order to accept or reject the hypotheses.

<b>Calculation of Tukey’s minimum significant difference</b>				
<b>l</b>	<b>n2</b>	<b>α</b>	<b>q</b>	<b>Δ</b>
2	10	0,05	3,15	4,45

Table 11- Results of Tukey’s minimum significant difference calculations for the moisture content test values.

Source: The author (2023).

For the Tukey test result calculated using the empirical form of the calculation shown in table 11, the value of the minimum significant difference was 4.45, which allows the mean of the groups to vary within this range. This must be confirmed in Table 12, in order to confirm that the hypotheses are accepted.

<b>Classificação das médias em ordem decrescente</b>							
<b>Amostra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>Médias</b>
<b>Madeira Madefort</b>	15,10	14,02	15,13	14,62	15,68	17,31	15,31
<b>Madeira São sebastião</b>	11,46	11,74	12,81	12,22	12,32	11,06	11,94
<b>Médias em ordem Decrescentes</b>	<b>Contrates</b>		<b>Avaliação</b>				
15,31	3,37		Reject H0				
11,94	Médias diferentes						

Table 12 - Moisture content values for Tukey’s test.

Source: The author (2023).

The Tukey test, calculated empirically in Tables 13 and 14, shows that the null hypothesis that the means do not vary significantly is accepted. This value differed from the ANOVA method, using the “Past” program in table 13.

P-value for each mean		
	Madefort	São Sebastião
Madefort		0,00008
São Sebastião	9,032	

Table 13 - P-value table for analyzing the results of the moisture content test using the Tukey test in the “Past” program.

Source: The author (2023).

As shown in Table 13, when comparing means using the “Past” program, there is at least one value that is far from probabilistic agreement, indicated by the p-value of 0.00008, which cannot be identified by Tukey’s empirical method because it is affirming the null hypothesis based on a significant difference.

If we look at the moisture content values for both logging companies, we can see how close they are to those of the same group and how far apart they are from the other group, which means that the trees and pieces of wood were chosen, treated and stored differently from the moment they were harvested, split and stored. As mentioned by Silva (2017), the extraction region for the Cupiúba wood species (*Goupia Grabra Aubl.*) can have a 50% chance of the physical properties not being equivalent in analyses carried out in three regions in the states of Mato Grosso and Roraima, in which even with the simulation technique the result was 44% of the physical properties not being equivalent. For the study in question, the origin of the Maçaranduba wood used was not obtained, as the aim of the research was to analyze what the moisture content would be, depending only on the species analyzed.

In order to compare individual cases, eliminating the humidity and specimen session variables, a comparative analysis was made of the compressive strength results corrected for 12% humidity using equation 2, shown in table 14.

**Loading test - compression parallel to the fibers - 10 Mpa/min - 12% moisture content**

	<b>Sample</b>	<b>Breaking load (Kf)</b>	<b>Cross-section (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tensile strength (MPa)</b>	<b>Moisture content (%)</b>	<b>Breaking stress at 12% (MPa)</b>
<b>Timber Maderfort</b>	<b>1</b>	15472	25,63	60,38	15,10	65,99
	<b>2</b>	16153	25,10	64,37	14,02	68,27
	<b>3</b>	13080	22,30	58,65	15,13	64,15
	<b>4</b>	19203	23,12	83,08	14,62	89,61
	<b>5</b>	19867	23,89	83,18	15,68	92,35
	<b>6</b>	18063	24,00	75,27	17,31	87,25
<b>Timber São Sebastião</b>	<b>7</b>	22618	24,74	91,42	11,46	89,93
	<b>8</b>	19919	25,12	79,28	11,74	78,67
	<b>9</b>	20366	26,22	77,67	12,81	79,56
	<b>10</b>	17376	24,67	70,44	12,22	70,90
	<b>11</b>	20603	24,33	84,69	12,32	85,51
	<b>12</b>	27002	26,72	101,04	11,06	98,21

Table 14 – Loading test results at 12% moisture content.

Source: The author (2023).

When the tensile strength values were corrected, the overall average was reduced to 80.87 MPa due to the presence of specimens with less than 12% humidity, which means that when the correction is made, the strength is lower. However, from the ANOVA test carried out using the Excel data analysis program shown in Table 15, a higher correlation of values was obtained.

<b>Group</b>	<b>Counting</b>	<b>Sum</b>	<b>Average</b>	<b>Variance</b>
<b>Maderfort</b>	6	467,6139	77,93564	171,3602
<b>São Sebastião</b>	6	502,7723	83,79538	91,78742

**ANOVA**

<b>Source of variation</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>P-value</b>	<b>Critical F</b>
<b>Between groups</b>	103,0097	1	103,0097	0,782904	0,397031	4,964603
<b>Within the groups</b>	1315,738	10	131,5738			
<b>Total</b>	1418,748	11				

Tabela 15– ANOVA test using the Excel program for the results of the loading test at 12% moisture content..

Source: The author (2023).

For this test, the variance for group 1 (Madeira Maderfort) was higher and for group 2 (Madeira São Sebastião) was lower compared to the ANOVA test in tables 6 and 7, the P-value shown in table 15 was higher than the P-value for the tension values for resistance

to compression parallel to the fibers considering only the section of the specimens, being approximately 0.40 compared to 0.06. This shows greater probabilistic equality between the data that eliminates the humidity variable which, according to the other sources cited, directly affects the mechanical performance of wood.

## 4 | CONCLUSION

In view of the above, the Maçaranduba timber decks sold without prior drying in the municipality of Gurupi - TO showed high performance in strength class C60 with an average of 81.22 MPa and adequate hygroscopic equilibrium for  $k_{mod2}$  (1) and (2) with an average of 13.62%, in confirmation of other sources which had already been investigated and representing a value close to the estimate of the Brazilian standard for timber structures for equilibrium humidity for locations with relative humidity of less than 65%. Based on the probabilistic analysis, the correlation of the data for resistance to compression parallel to the fibers was observed, accepting the null hypothesis of probabilistic equality; for the moisture content results, the hypothesis of non-equality of means was accepted, stating that some external or internal factor influenced the disparity in the results. Since it is hardwood, mechanical characteristics with high values were expected when the experiment was successfully carried out. Knowing this, there is a need to develop studies to characterize regional species and subspecies for use in construction, in order to provide a basis for structural calculations and determine possible uses and limit stresses for use in buildings. The problem of the research was to analyze the possibility that the humidity of regionally marketed wood is modifying its physical and mechanical performance, and could cause it to develop irreversible pathological manifestations. Laboratory tests proved that the hypothesis was negative, which leads us to think of other possibilities for causing pathologies in works with wooden structures, such as periodic maintenance and prior treatment, subjects that could become the subject of further research in the field of wooden structures. The compressive strength values found confirm the quality of the wood, which can be used for elements that can withstand compression and traction, as well as being well suited to nails and screws for fixing. Based on this work, it is possible to reference the values for structural calculation of regional works, using  $k_{mod2}$  and the strength values analyzed.

## REFERENCES

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, RJ. 1997.

BRITO, L. D. **Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação**. São Carlos, SP. 2014.

DIAS, F. M. A. **Densidade aparente como estimador de propriedades de resistência e rigidez da madeira**. São Paulo: MADEIRA: arquitetura e engenharia. 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Maçaranduba, Manilkara ruberi**. Espécies arbóreas da Amazônia n° 4, 2004.

FERREIRA, L. M. M.; TONINI, H. **Cupiúba (Goupia glabra Aublet): Crescimento, Potencialidades e Usos**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2004.

FOSCHI, R. O. **Reliability applications in wood design. Progress in Structural Engineering and Materials**. 2010.

HELLMEISTER, J. C. **Madeiras e suas características**. Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira. São Carlos, SP: Anais. USPEESC-SET-LaMEM. 1993.

IBAMA. **Produção madeireira de espécie nativas brasileiras (2012 a 2017)**. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, p. 376. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE. 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **INMET Clima**. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>. Acesso em: 14 de junho de 2023.

INTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil**. São Paulo: Athalaia Gráfica e Editora. 2013.

JANKOWSKY, I. P. **Fundamentos de secagem**. Piracicaba, SP: Documentos florestais, pp. 1-13. 1990.

LISBOA, P. L. **A anatomia da madeira**. Ciência hoje, pp. 44-51. 1991;

LOGSDON, N. B. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez**. São Carlos, SP. 1998.

MARTINS, V. A. **Secagem da Madeira Serrada**. Brasília, DF: INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL, DEPARTAMENTO DE PESQUISA. 1988.

PFEIL, W., PFEIL, M. **Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2003.

RITTER, M. A. **Timber Bridges: Design, Construction, Inspection, and Maintenance**. Washington: USDA. 1990.

SILVA, C. E. G. **Influência de região de extração em propriedades físicas da Cupiúba (Goupia Glabra Aubl.)**. São Carlos, São Paulo. 2017.

SOUZA, H. M., MAGLIANO, M. M., CAMARGO, J. A. A., SOUZA, M. R.. **Madeiras tropicais brasileiras** .2. ed. Bémlem: IBAMA - Laboratório de produtos florestais. 2002.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Wood HandBook - Wood as a Engineering Material**. Madison: Forest Products Laboratory. 2010.

WINANDY J. E., ROWELL, R. M. **The Chemistry of Wood Strength**. Washington: USDA. 1994.

# ESTUDO DE VIABILIDADE NA IMPLEMENTAÇÃO DE BIODIGESTORES DE BAIXO CUSTO PARA GERAÇÃO DE BIOGÁS

*Data de aceite: 01/02/2024*

### **Caio Marcello Felbinger Azevedo Cossú**

UNESA - Universidade Estácio de Sá,  
Resende, Rio de Janeiro  
<http://lattes.cnpq.br/4846127256257261>

### **Deverton Luiz da Silva Braga**

UNESA - Universidade Estácio de Sá,  
Resende, Rio de Janeiro  
<http://lattes.cnpq.br/8782174010050515>

### **Caio Loureiro Rodrigues**

UNESA - Universidade Estácio de Sá,  
Resende, Rio de Janeiro  
<http://lattes.cnpq.br/2576538211269395>

### **Maria Eduarda Zeni Machado**

UNESA - Universidade Estácio de Sá,  
Resende, Rio de Janeiro  
<http://lattes.cnpq.br/7414899999873003>

### **Samuel Resende Pimentel da Costa**

UNESA - Universidade Estácio de Sá,  
Resende, Rio de Janeiro  
<http://lattes.cnpq.br/3222597646323101>

### **Nathalie de Souza**

UNESA - Universidade Estácio de Sá,  
Resende, Rio de Janeiro  
<http://lattes.cnpq.br/9755261686088584>

### **Edson José da Fonseca Faria**

UNESA - Universidade Estácio de Sá,  
Resende, Rio de Janeiro  
<http://lattes.cnpq.br/3131461429662024>

### **Sérgio Roberto Amaral**

UNESA - Universidade Estácio de Sá,  
campus Resende, Rio de Janeiro  
<http://lattes.cnpq.br/9997844317331231>

**RESUMO:** No cenário global atual, a crescente preocupação com a poluição ambiental e o aumento dos gases do efeito estufa (GEE) motivou a condução de um estudo abrangente que aborda a pesquisa, construção e análise de viabilidade econômica de biodigestores de baixo custo. Esses dispositivos têm o potencial de converter matéria orgânica em biogás e biofertilizante, desempenhando um papel crucial na redução do impacto ambiental causado pelas emissões de carbono na atmosfera. A metodologia empregada baseou-se em uma pesquisa bibliográfica abrangente e dados técnicos, incluindo a coleta, tratamento e análise criteriosa dos dados obtidos. Os resultados destacam que os biodigestores não apenas oferecem uma solução mais adequada para o gás metano, mas também proporcionam uma economia de aproximadamente 20% no consumo de gás liquefeito de petróleo (GLP) em residências, evidenciando sua eficácia e viabilidade. A construção de modelos de

biodigestores residenciais demonstrou que apenas um biodigestor de 120 L pode produzir de cerca de 18 m<sup>3</sup>/ano (~1,50 m<sup>3</sup>/mês) de biogás. Com base nos resultados de outros estudos, a proposta de desenvolvimento desses protótipos revela-se viável em diferentes regiões do país. Nesse contexto, será avaliada a implementação de biodigestores no município de Resende/RJ, com a aplicação de técnicas de aprimoramento para aumentar a produtividade do sistema. Isso visa promover a geração de energia limpa e sustentável, com o objetivo de reduzir os custos de produção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biodigestores. Biogás. Energia Sustentável.

## VIABILITY STUDY ON THE IMPLEMENTATION OF LOW COST BIODIGESTERS FOR BIOGAS GENERATION

**ABSTRACT:** In the current global scenario, the growing concern about environmental pollution and the rise in greenhouse gases (GHG) has prompted the execution of a comprehensive study addressing the research, construction, and economic viability analysis of low cost biodigesters. These devices have the potential to convert organic matter into biogas and biofertilizer, playing a crucial role in reducing the environmental impact caused by methane emissions. The methodology employed was based on extensive literature research and technical data, including the collection, treatment, and meticulous analysis of the acquired data. The results highlight that biodigesters not only provide a more suitable solution for methane but also yield approximately a 20% savings in household liquefied petroleum gas (LPG) consumption, showcasing their effectiveness and feasibility. The construction of residential biodigester models demonstrated that a single 120 L biodigester equipment could produce around 18 m<sup>3</sup>/year (~1.50 m<sup>3</sup>/month) of biogas. Based on findings from other studies, the proposal for developing these prototypes proves viable in different regions of the country. In this context, the implementation of biodigesters in the municipality of Resende/RJ will be assessed, incorporating enhancement techniques to boost system productivity. This aims to promote the generation of clean and sustainable energy, with the objective of reducing production costs.

**KEYWORDS:** Biodigesters. Biogas. Sustainable Energy.

## 1 | INTRODUÇÃO

No contexto do crescente desafio global relacionado ao aumento da demanda energética e às emissões de GEE provenientes de combustíveis fósseis e atividades industriais, a engenharia assume um papel na busca por soluções sustentáveis (LANZILLO, A.; GUIMARÃES, P. B. V., 2011).

O aumento significativo na demanda por energia, associado ao desmatamento, ressalta a urgência de abordagens sustentáveis. O contínuo crescimento no consumo de energia tem sido um dos principais contribuintes para a emissão de CO<sub>2(g)</sub>. Recentemente, têm surgido novos estudos que buscam abordagens inovadoras para adquirir fontes de energia renováveis e economicamente viáveis, com o objetivo de mitigar os impactos ambientais associados a essa questão (LIMA, 2012).

Em 2021, o cenário global da pandemia impactou significativamente os preços dos produtos devido à escassez de recursos, resultando em um aumento da inflação. Isso se refletiu no encarecimento de itens essenciais para o consumo, como o gás GLP, que atingiu a marca de R\$ 3,60/kg, representando um aumento de 30% em comparação com 2019, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE - 2021).

Diversas iniciativas estão sendo implementadas na busca por soluções para esses desafios, e uma delas é a adoção de biodigestores anaeróbicos. Esses dispositivos possibilitam o tratamento de resíduos orgânicos de origem animal, transformando-os em substâncias passíveis de serem utilizadas como fonte de energia. O processo de biodigestão anaeróbica é conduzido por bactérias na ausência de oxigênio livre, sendo empregado no tratamento de resíduos orgânicos. Nesse processo, os resíduos são decompostos em substâncias mais simples, gerando gases como:  $\text{CH}_{4(g)}$  (metano),  $\text{CO}_{2(g)}$  (dióxido de carbono) e  $\text{H}_2\text{S}_{(g)}$  (gás sulfídrico) (GONÇALVES, 1982).

Alves *et al.* (2010) mencionaram que a conversão de matéria orgânica em biogás, por meio da digestão anaeróbica, é conduzida por microrganismos em um ambiente isento de  $\text{O}_{2(g)}$ . O processo inicia-se com a preparação da matéria orgânica, composta por resíduos agrícolas, restos de alimentos ou esterco animal, que é coletada e devidamente preparada. Posteriormente, essa matéria orgânica é introduzida em um recipiente hermeticamente selado, impedindo a entrada de  $\text{O}_{2(g)}$ . As bactérias anaeróbicas iniciam os processos metabólicos, descompondo a matéria orgânica em compostos mais simples, tais como ácidos orgânicos (ácido acético e propiônico).

Outras bactérias, conhecidas como metanogênicas, convertem esses ácidos em metano e  $\text{CO}_{2(g)}$  por meio do processo denominado acetogênese e metanogênese. Ao final, ocorre a coleta do biogás, que pode ser empregado como uma fonte de energia renovável, enquanto os resíduos remanescentes são utilizados como fertilizantes orgânicos, devido à sua riqueza em nutrientes (ALVES, 2010).

Mafron (2014) destaca a importância da engenharia na avaliação da viabilidade econômica desses protótipos, considerando não apenas a eficiência do processo, mas também a otimização sustentável dos recursos. Essa análise abrange uma variedade de aplicações, desde ambientes industriais até instituições públicas, escolas e áreas rurais, onde a gestão de resíduos orgânicos enfrenta desafios particulares.

Este trabalho tem como objetivo principal o desenvolvimento de biodigestores residenciais, com foco na observação da produção de metano mediante a coleta de dados. Além disso, busca-se avaliar a viabilidade de instalação desses biodigestores em residências de famílias de baixa renda e de zonas rurais na cidade de Resende/RJ. A iniciativa visa contribuir para o desenvolvimento sustentável de pequenos projetos, bem como disseminar novas formas de produção de energia para toda a comunidade.

## 2 | OBJETIVOS

O trabalho intitulado “Desenvolvimento e Viabilidade na Construção de Biodigestores Residenciais para a Produção de Biogás” tem como propósito impulsionar a criação de novos sistemas de energia destinados às populações de baixa renda e áreas rurais na cidade de Resende/ RJ. A iniciativa visa reduzir a dependência do gás GLP, alinhando-se aos princípios do programa Ambiental, Social e Governança (ESG) e promovendo a valorização do conhecimento científico em toda a comunidade envolvida no projeto.

## 3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os biodigestores são sistemas fechados nos quais ocorre a digestão de resíduos de origem animal ou vegetal, por meio da ação de bactérias anaeróbica. Os produtos resultantes do processo de decomposição da matéria orgânica em biodigestores são principalmente metano, dióxido de carbono e chorume, este último, após tratamento, transforma-se em fertilizante (EMAS, 2021).

Os biodigestores representam uma excelente alternativa para o destino adequado de resíduos de animais em criações de porte médio ou grande para geração de GEE. Esses resíduos podem receber tratamento adequado e, ao mesmo tempo, agregar valor por meio da produção de biogás e biofertilizante (GOUVEIA, 2000).

O funcionamento básico de um biodigestor consiste em uma unidade para o processamento de resíduos por meio de um processo de biodigestão anaeróbica. Nesse processo, resíduos orgânicos são introduzidos no biodigestor e, após um período de processamento, o produto resultante é o biogás, composto por gases como  $\text{CH}_{4(g)}$ ,  $\text{CO}_{2(g)}$  e  $\text{H}_2\text{S}_{(g)}$ . Outro subproduto desse processo é o chorume, que, após tratamento, é utilizado como biofertilizante (WEB RESOL, 2021). A Fig. 1 ilustra uma representação esquemática do funcionamento do biodigestor.



Fig. 1 – Representação esquemática do funcionamento do biodigestor

Fonte: WEB RESOL, 2021.

A composição gasosa formada em sistemas de biodigestores é principalmente de

$\text{CH}_{4(g)}$  (50 - 75% v/v) e  $\text{CO}_{2(g)}$  (25 - 50% v/v). O biogás contém ainda pequenas quantidades de  $\text{H}_{2(g)}$ ,  $\text{H}_2\text{S}_{(g)}$ ,  $\text{NH}_{3(g)}$  e outros gases (WEB RESOL, 2021).

A elevação da temperatura acelera o processo de decomposição dos compostos no interior dos biodigestores. Contudo, caso essa temperatura ultrapasse o limite máximo aceitável, as bactérias anaeróbicas reduzem seu metabolismo, prejudicando o processo e tornando a produção de biogás ineficiente (WEB RESOL, 2021).

Outro ponto a ser considerado são os teores elevados de matéria seca (>40%), que podem interromper a fermentação devido à escassez de água essencial para o crescimento dos microrganismos. Para atenuar o efeito da matéria seca no substrato, o processamento do material orgânico pode ser realizado por meio de digestão úmida (por bombeamento) ou digestão seca (por empilhamento) (ALVES, 2010).

GONÇALVES (1982) mencionou que existem três métodos de alimentação dos biodigestores: contínuo, semicontínuo e descontínuo (batelada). No método contínuo, o substrato entra constantemente no biodigestor, enquanto no semicontínuo, a alimentação ocorre pelo menos uma vez ao dia. Já no descontínuo (batelada), o biodigestor é abastecido, fechado e uma nova carga é realizada após um período determinado.

Para a produção de biogás, utilizam-se vários substratos, porém os mais utilizados são os esterco orgânicos de bovinos, suínos e de aves, apresentando melhor rendimento em relação aos outros substratos. A Tab. 1 apresenta o comparativo entre os diferentes substratos e o rendimento para a produção de biogás.

Substrato		Produção de biogás	Produção de metano	Rendimento de metano
		[Nm <sup>3</sup> /t substrato]	[Nm <sup>3</sup> /t substrato]	[Nm <sup>3</sup> /t MOS]
Esterco líquido bovino	Δ	20-30	11-19	110-275
	∅	25	14	210
Esterco líquido suíno	Δ	20-35	12-21	180-360
	∅	28	17	250
Esterco bovino	Δ	60-120	33-36	130-330
	∅	80	44	250
Esterco de aves	Δ	130-270	70-140	200-360
	∅	140	90	280

Δ: Faixa dos valores medidos; ∅: Média

Tab. 1 – Comparativo entre os substratos e rendimento para a produção de biogás

Fonte: WEB RESOL, 2021.

O biogás, em sua forma bruta, é saturado de vapor de água e contém quantidades significativas de  $\text{H}_2\text{S}_{(g)}$  e outras substâncias. Este gás é tóxico e emite um odor desagradável,

exigindo dessulfurização em usinas de biogás agrícolas.

Visando a redução do  $H_2S_{(g)}$  no biogás, emprega-se filtros contendo palha de aço para a dessulfurização. Além disso, para otimizar o aproveitamento do metano como gás natural, é essencial a remoção do  $CO_{2(g)}$ . Um filtro contendo uma solução de cal foi utilizado não apenas para a remoção do  $CO_{2(g)}$ .

## 4 | METODOLOGIA

Os resíduos orgânicos são inseridos no interior do biodigestor, que é então fechado e selado. Após um período de processamento por meio de biodigestão anaeróbica, o biogás é gerado dentro do recipiente. O gás passa por um filtro com solução de água e cal para retenção de  $CO_{2(g)}$  e vapor de água. Em seguida, é conduzido através de um filtro contendo palha de aço para a captura de  $H_2S_{(g)}$ , antes de ser direcionado para o acumulador de gás e armazenado para o uso. A Fig. 2 ilustra a estrutura básica de funcionamento e montagem do biodigestor.

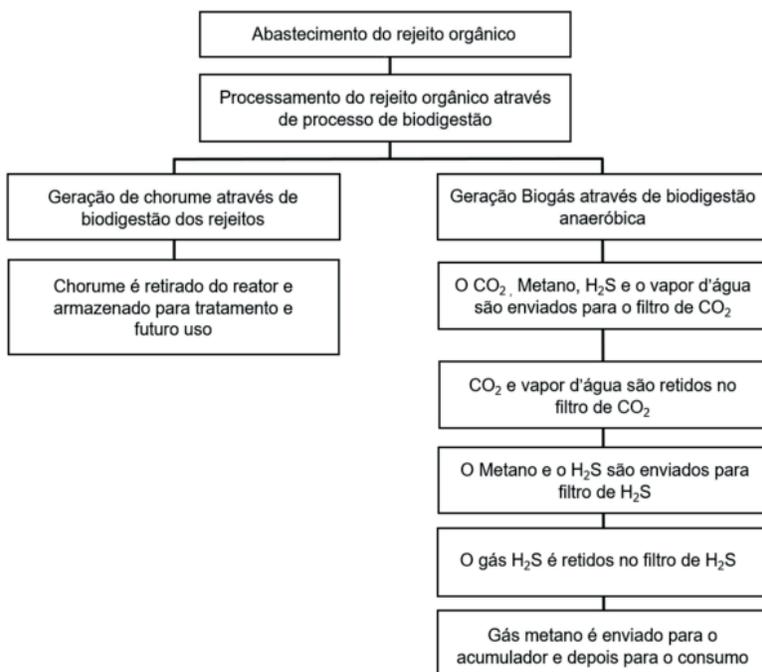


Fig. 2 - Fluxograma das Etapas e Estrutura do Biodigestor para Produção de Biogás

Fonte: elaborado pelos autores.

Os parâmetros e fatores a serem monitorados foram criteriosamente estabelecidos para possibilitar uma análise mais aprofundada dos resultados na produção de biogás. Ressalta-se que foram selecionados exclusivamente aqueles que contribuem diretamente

para o escopo deste trabalho. Entre os fatores definidos para acompanhamento, destacam-se: (i) temperatura ambiente; (ii) pH médio da água; e (iii) umidade relativa do ar. A Fig. 3 mostra a estrutura de montagem e o fluxo dos materiais produzidos pelos biodigestores de baixo custo.

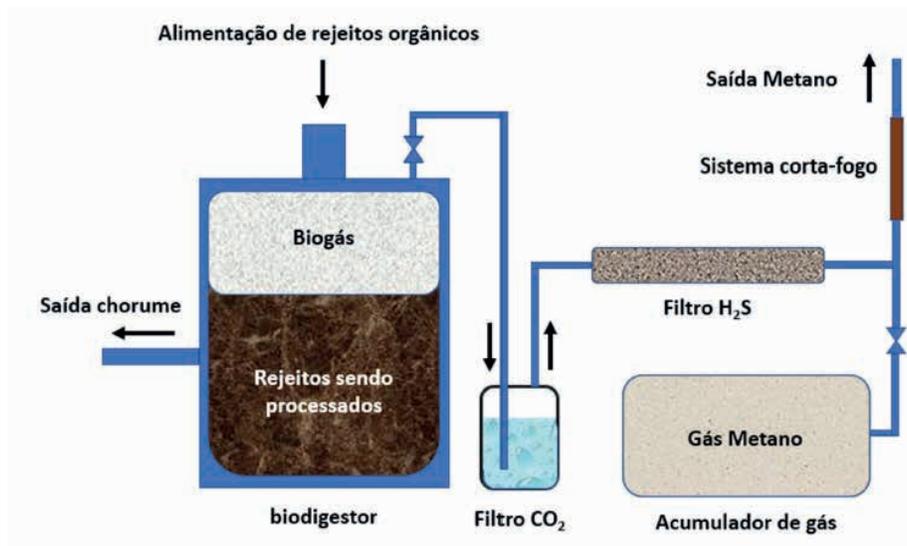


Fig. 3 - Estrutura de montagem e o fluxo de matéria produzida por biodigestores de baixo custo

Fonte: elaborado pelos autores.

Os parâmetros estabelecidos para o experimento são os seguintes:

- temperatura ambiente: entre 10°C e 65°C;
- pH da água: 6,4 até 7,2;
- quantidade máxima de dejetos secos na mistura: ≤ 10%;
- quantidade de cal utilizada na solução (cal + água): 0,040 kg/L;
- quantidade de palha de aço para o filtro de H<sub>2</sub>S<sub>(g)</sub>: 0,060 kg;
- quantidade de dejetos introduzidos: entre 50% e 80% do volume total;
- manutenção de dejetos orgânicos: até 10% do volume total.

A construção do biodigestor desenvolvido neste projeto envolve os seguintes componentes.

- tipo de biodigestor: alimentação batelada;
- reator: reservatório de plástico com fechamento hermético;
- volume do reator: 120 L (0,12 m<sup>3</sup>);
- abastecimento: na parte superior através de um tubo de PVC (Ø100 mm);

- descarga: na lateral através de um tubo de PVC ( $\varnothing 50$  mm);
- saída do biogás: na parte superior por meio de um registro de  $\frac{1}{2}$ " (20 mm);
- volume de armazenamento de dejetos:  $\frac{2}{3}$  do volume total da bombona;
- volume de processamento do biogás:  $\frac{1}{3}$  do volume total da bombona.

Acessórios utilizados no biodigestor para filtragem e armazenamento do biogás:

- filtro de retenção de  $\text{CO}_{2(g)}$ ;
- filtro de retenção de  $\text{H}_2\text{S}_{(g)}$ ;
- câmara de borracha.

## 5 | RESULTADOS

### 5.1 Montagem do protótipo de biodigestão

O sistema de biodigestão foi desenvolvido no campus da Universidade Estácio de Sá, em Resende/RJ. Este sistema opera por meio de um mecanismo de alimentação, onde os resíduos são inseridos na parte superior e posteriormente vedados para iniciar o processo de biodigestão anaeróbica. Após um intervalo de tempo apropriado para o processamento do material, o biodigestor é novamente abastecido com uma quantidade reduzida em comparação à carga inicial, visando a manutenção eficaz do sistema. Todo o processo ocorre sem a presença de  $\text{O}_{2(g)}$ . Durante a adição de uma nova carga de resíduos, uma porção de chorume é retirada do biodigestor, podendo ser aproveitada como fertilizante. A Fig. 4 apresenta o biodigestor fabricado no campus da Universidade Estácio de Sá em Resende/RJ.



Fig. 4 – Protótipo de biodigestor e componentes desenvolvidos para a realização do estudo

Fonte: elaborado pelos autores.

Na fase inicial da construção do biodigestor, o reator montado incorporando as entradas para os dejetos, bem como as saídas para o chorume e o gás metano. Em seguida, foram instalados os filtros de  $\text{CO}_{2(g)}$  e  $\text{H}_2\text{S}_{(g)}$ . O filtro de  $\text{CO}_{2(g)}$  foi abastecido com uma solução de cal, enquanto o filtro de  $\text{H}_2\text{S}_{(g)}$  recebeu abastecimento com palha de aço. O biodigestor foi construído em uma única base, onde foi fixada o reservatório, os filtros e o reator, conforme ilustra a Fig. 5.

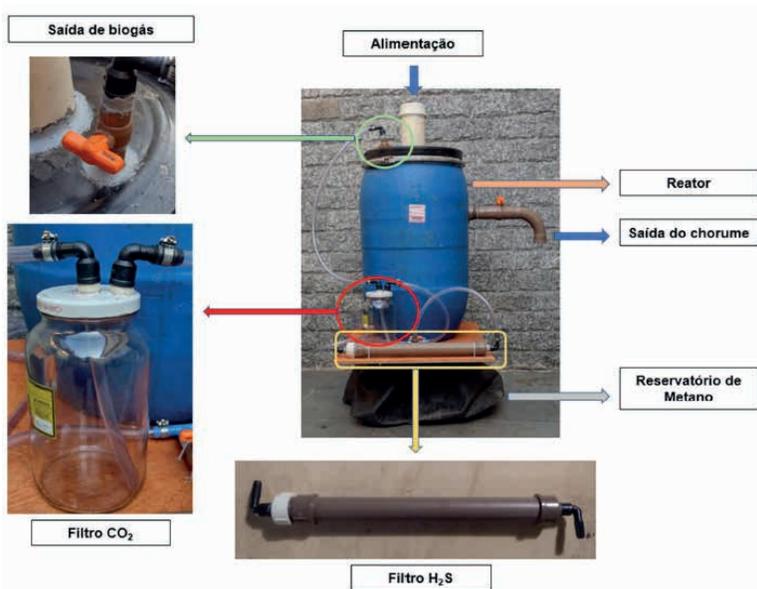


Fig. 5 – Detalhamento dos componentes utilizados no biodigestor para a produção de biogás

Fonte: elaborado pelos autores.

A fase subsequente envolveu a implementação do reservatório de metano, no qual uma câmara de borracha foi empregada como acumulador de gás, localizada na porção inferior do sistema de biodigestor. Após a interligação de todos os elementos (reator → filtros → reservatório), as conexões foram feitas por meio de mangueiras e fixadas com abraçadeiras. Adicionalmente, aplicou-se adesivo selante nas junções de todos os componentes para assegurar a completa vedação do sistema.

## 5.2 Abastecimento do biodigestor

Neste trabalho, optou-se pelo esterco bovino como substrato orgânico devido à sua fácil disponibilidade. O material orgânico foi adquirido na forma seca e, após dissolução em água, a mistura foi homogeneizada por meio de um misturador mecânico. Posteriormente, a mistura foi introduzida no biodigestor em uma quantidade específica. Antes do abastecimento, a bombona foi devidamente limpa para evitar a presença de

resíduos químicos que pudessem inibir o processo de biodigestão no interior do reator, como mostra a Fig. 6.



Fig. 6 – Procedimento de mistura dos dejetos para introdução no biodigestor

Fonte: elaborado pelos autores.

Foram estabelecidos critérios específicos para avaliar o desempenho do biodigestor, destacando-se:

- quantidade de  $\text{CH}_{4(g)}$  produzido em função dos resíduos orgânicos processados por lote;
- quantidade de chorume produzida por lote;
- extrapolação para obter a média mensal de produção de gás metano.

Com base em todas as informações e dados coletados, os resultados foram satisfatórios quanto à viabilidade deste modelo de biodigestor. O modelo aplicado demonstrou a capacidade de proporcionar uma redução de custo em torno de 20% nos gastos com gás de cozinha GLP.

Além disso, este estudo revelou que um único biodigestor de 120 L tem o potencial de produção de aproximadamente  $18 \text{ m}^3/\text{ano}$  de  $\text{CH}_{4(g)}$ . Os dados obtidos, mostraram a viabilidade de implementar melhorias com o objetivo de aumentar a produtividade do

equipamento e reduzir seu custo de fabricação. Em síntese:

- produção mensal de CH<sub>4(g)</sub>: 1,488 m<sup>3</sup>/mês (0,978 kg/mês)
- quantidade calorífica mensal: 11677,32 kcal/mês
- investimento inicial: R\$ 529,51
- custo de manutenção mensal: R\$ 23,40
- percentual de redução de custo/ mês: 19,6%
- payback simples: 7,5 anos
- payback descontado: 7,6 anos
- TIR: 1,02% > 0,38% (TMA)

### 5.3 Comparação entre o sistema de biodigestão e o uso de gás GLP

Nesta análise, realizou-se a comparação entre o uso do gás produzido pelo sistema de biodigestão e o gás GLP. Para a avaliação, foram definidos os seguintes critérios:

- quantidade média de consumo de gás por mês;
- custo médio de consumo de gás por mês;
- poder calorífico do CH<sub>4(g)</sub> em comparação com o gás GLP.

A análise desses critérios foi conduzida considerando o consumo médio de uma família composta por três pessoas. Nesse contexto, o consumo equivalente a um botijão de GLP a cada três meses foi adotado, com um custo médio de R\$ 120,00. A Tab. 2 apresenta a comparação das principais especificações e informações relativas ao CH<sub>4(g)</sub> e ao GLP:

PARAMETROS ENTRE GÁS METANO (BIODIGESTOR) E GÁS GLP					
Parâmetros	Gás Biodigestor	Gás GLP	Total na residência	Contribuição Metano	Contribuição GLP
Volume de gás armazenado (m <sup>3</sup> )	0,115	5,2	5,315	-	-
Volume de gás consumido por mês (m <sup>3</sup> )	1,488	1,73	3,221	46,19%	53,81%
Peso de gás armazenado (kg)	0,075	13,0	13,08	0,57%	99,43%
Peso de gás consumido por mês (kg)	0,978	4,33	5,311	18,41%	81,59%
Densidade do gás (kg/m <sup>3</sup> )	0,657	2,50	-	-	-
Poder calorífico (kcal/kg)	11940,0	11750,0	-	-	-
Quantidade calorífica por carga (kcal/lote)	895,50	152750,0	-	-	-
Quantidade calorífica mensal (kcal/mês)	21011,00	50916,67	71927,7	29,21%	70,79%
Quantidade calorífica anual (kcal)	252132,0	611000,0	863132,0	29,21%	70,79%
Custo médio anual 1º ano (R\$)	552,91	480,00	1032,91	53,53%	46,47%
Custo médio anual 2º ano (R\$)	23,40	480,00	503,40	4,65%	95,35%

Tab. 2 – Comparação entre CH<sub>4(g)</sub> produzido pelo processo de biodigestão e gás GLP utilizado nas residências de maneira convencional

Fonte: elaborado pelos autores.

## 6 | CONCLUSÃO

Com o propósito de contribuir para a preservação do meio ambiente e mitigar a emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa, este estudo buscou avaliar a viabilidade de sistemas de biodigestores de pequeno porte. O resultado desta análise evidenciou a sustentabilidade econômica desse sistema de biodigestão. As variáveis e critérios essenciais para conduzir a avaliação de viabilidade foram devidamente definidos e aplicados, desempenhando um papel fundamental na análise abrangente do equipamento.

Demonstrou-se que o biodigestor analisado pode resultar em uma economia de 20% nos custos com gás, ao mesmo tempo em que atua como uma fonte produtora de biofertilizante. Além disso, foram propostas sugestões para aprimorar o equipamento, visando a elevação de sua eficiência, produtividade e segurança.

O estudo também obteve sucesso ao contribuir para a diminuição dos GEE, destacando a viabilidade de construir um equipamento de custo acessível, com eficiência e produtividade satisfatórias. Isso resultou em uma redução significativa na emissão de carbono na atmosfera, apresentando um potencial notável para influenciar positivamente o desenvolvimento e aprimoramento de outros sistemas de biodigestão.

## SUGESTÕES DE MELHORIA

A primeira sugestão consiste em aproveitar a água proveniente do dreno de sistemas de ar-condicionado, obtida por meio de um sistema simples de captação. Essa abordagem não apenas reduz o consumo de água potável tratada, mas também reutiliza a água proveniente do ar-condicionado, isenta de cloro e outras substâncias que possam inibir a atividade metabólica das bactérias responsáveis pela biodigestão.

A segunda proposta envolve o uso de uma bomba para extrair o ar do reator, otimizando a produção de biogás. Adicionalmente, essa bomba pode ser empregada para envasar o gás em um recipiente, pressurizando-o. A ideia é adaptar um compressor para funcionar como uma bomba de vácuo, proporcionando uma abordagem eficiente e versátil para melhorar o processo global.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Universidade Estácio de Sá, campus Resende/ RJ e ao Prof. Dr. Sérgio Roberto Amaral pelas orientações dadas durante a execução do trabalho.

## REFERÊNCIAS

ALVES, E. E. N.; INOUE, K. R. A.; BORGES, A. C. Biodigestores: construção, operação e usos do biogás e do biofertilizante visando a sustentabilidade das propriedades rurais. II Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável. 2010. 14 p.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<https://tempo.inmet.gov.br>>

GONÇALVES, A.C.R. A potencialidade de outros substratos para a digestão anaeróbica. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1982. 29 p.

LANZILLO, A.; GUIMARÃES, P. B. V. Legal and economic aspect for implementation of national fund on climate change in Brazil. *Direito E-nergia*, v. 1 (3), 2011.

LIMA, R. A. A produção de energias renováveis e o desenvolvimento sustentável: uma análise no cenário da mudança do clima. *Energy Law in Brazil*, v. 5 (4), 2012.

MAFRON, M. P. Biodigestão anaeróbica: uma alternativa para usinas de laticínios. *Ciência Rural*, v. 21 (1), 1991.

McNERNEY, M.J., BRYANT, M.P. Metabolics stage and energetics of microbial anaerobic digestion. In STAFFORD, D.A., WHERTLEY, B.I., HUGHES, D.E. *Anaerobic Digestion* London: Applied Science Publishers. p. 91-98, 1980.

COMPANHIA AUXILIAR DE EMPRESAS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. Departamento de Estudos de Novas Fontes Alternativas de Energia. O biogás e sua tecnologia Rio de Janeiro: Editora CAEEB, 1981, 35 p.

SOUZA, M.E. Fatores que influenciam a digestão anaeróbica São Paulo: CE-TESB. 1982, 30 p. (Mimeografado).

**RAFAEL PACHECO DOS SANTOS** - Possui graduação em Engenharia Mecânica e Engenharia Civil, especialização em Petróleo e Energias renováveis, MBA em Engenharia Rodoviária e doutorado em Engenharia Civil. Já atuou como pesquisador visitante e engenheiro consultor em diversos projetos nacionais e internacionais. Foi professor colaborador da Universidade Federal de Santa Catarina e atualmente é professor adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estado de Santa Catarina. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em engenharia de túneis e projetos de equipamentos de escavação. Atualmente o autor tem se dedicado à pesquisa dos seguintes temas: máquinas tuneladoras, corte com jato de água, corte de rochas com jato de água de alto conteúdo energético.

**A**

ABNT NBR 7190 79, 80  
Acelerômetros 33  
Adição de fibras 44, 46, 54, 55  
Análise modal 33  
Aprendizado 4, 5

**B**

Biodigestores 89, 90, 91, 92, 93, 95, 100  
Biogás 89, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 100, 101  
Bridge inspection 34

**C**

Concreto Portland 56  
Concreto reforçado com fibras 46, 57  
Construção civil 3, 6, 10, 12, 50, 58, 59, 66, 67, 87  
Cultura maker 1, 2, 4, 6, 8, 10, 11, 12

**D**

Desenvolvimento sustentável 60, 91, 101  
Durabilidade 15, 22, 23, 24, 29, 45, 46, 55, 58, 59, 60, 65, 66, 67  
Dynamic Monitoring 32, 35

**E**

Empreendedorismo educacional 1  
Energia Sustentável 90  
Engenharia Civil 1, 3, 4, 6, 7, 10, 11, 12, 30, 56, 57, 102  
Ensaio dinâmico 33  
Estruturas 17, 19, 21, 29, 30, 42, 44, 45, 57, 60, 69, 70, 86, 87  
Estudo de viabilidade 89

**F**

Fibras de aço 44, 46, 49, 50, 52, 54, 55, 56, 57

**I**

Inovação 1, 4, 10, 11  
Inspeção de pontes 30

**M**

Makerspace 1, 2, 10, 11, 12

Mechanical strength 68, 70

Metodologias ativas 1, 4, 10, 11

Moisture Content 68, 69, 71, 73, 74, 76, 82, 83, 84, 85, 86

**P**

Pathological manifestations 68, 69, 86

Patologias 14, 22, 29, 30, 31

Pavimento de concreto 45, 46, 57

Ponte antiga de concreto 33

Pontes 8, 10, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 24, 25, 30, 31, 42

**R**

Reciclagem 66

Resíduo de polimento de porcelanato 58, 60

Resistência mecânica 59, 61, 63, 64, 65, 66

**S**

Structures 35, 42, 43, 45, 68, 69, 70, 86

**V**

Vibrações 33

**W**

Wood 68, 69, 70, 71, 76, 84, 86, 87, 88

# ENGENHARIA CIVIL:

CONCEITOS FUNDAMENTAIS  
E APLICAÇÕES PRÁTICAS

- 🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
- ✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
- 📷 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
- 📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# ENGENHARIA CIVIL:

CONCEITOS FUNDAMENTAIS  
E APLICAÇÕES PRÁTICAS

- 🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
- ✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
- 📷 @atenaeditora
- 📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)