

FORÇA, CRESCIMENTO E QUALIDADE DA ENGENHARIA CIVIL NO BRASIL 4



FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO
(ORGANIZADORA)

Atena
Editora
Ano 2021

FORÇA, CRESCIMENTO E QUALIDADE DA ENGENHARIA CIVIL NO BRASIL 4



**FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO
(ORGANIZADORA)**

Atena
Editora
Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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 Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^ª Dr^ª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Dr^ª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfnas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

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

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

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
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Aleksandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^ª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Força, crescimento e qualidade da engenharia civil no Brasil 4

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremona
Correção: Flávia Roberta Barão
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadora: Franciele Braga Machado Tullio

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F697 Força, crescimento e qualidade da engenharia civil no Brasil
4 / Organizadora Franciele Braga Machado Tullio. –
Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-981-3

DOI 10.22533/at.ed.813210904

1. Engenharia civil. I. Tullio, Franciele Braga Machado
(Organizadora). II. Título.

CDD 624

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

A obra “Força, Crescimento e Qualidade na Engenharia Civil no Brasil 3” contempla trinta e um capítulos com pesquisas sobre temas gerais da engenharia civil.

A engenharia civil é uma importante ferramenta social, pois através dela é possível apresentar propostas de edificações com fins sociais, bem como levar saneamento básico para comunidades vulneráveis.

Muitos estudos buscam trazer soluções sustentáveis através da engenharia civil. A aplicação de diversos tipos de resíduos pode gerar novos produtos aplicados na construção civil e pavimentação.

Conhecer o comportamento de materiais de construção, bem como o desenvolvimento de novos produtos, bem como a análise do comportamento de estruturas em diversos métodos construtivos auxilia os profissionais e estudantes a avaliar suas escolhas.

Por fim, apresentamos um estudo sobre o, ainda presente, preconceito que a mulher sofre na área de engenharia civil.

Desejo que esta obra proporcione uma agradável leitura e fomenta novas pesquisas, contribuindo para a força, o crescimento e a qualidade da engenharia civil no Brasil.

Franciele Braga Machado Tullio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE DA ESTABILIDADE GLOBAL DE EDIFÍCIOS MULTIPAVIMENTOS – COMPARATIVO ENTRE MODELOS

Juliane Miranda dos Santos
Pollyana Bittencourt Fraga Leitão
María Fernanda Quintana Ytza

DOI 10.22533/at.ed.8132109041

CAPÍTULO 2..... 24

ANÁLISE NUMÉRICA DA DISTRIBUIÇÃO DE CARGA EM PONTES DE MADEIRA LAMINADA COLADA

Felipe Batista Irikura
Jorge Luís Nunes de Góes

DOI 10.22533/at.ed.8132109042

CAPÍTULO 3..... 44

ERROS DE CÁLCULO NA ENGENHARIA

Giovanna de Souza Florenzano
Júlio César Brasil Júnior
Hugo Nascimento Barroso
Mariana Mattos dos Reis
Ylthar Ramos

DOI 10.22533/at.ed.8132109043

CAPÍTULO 4..... 50

PERCEPCIÓN DE LOS ALUMNOS SOBRE LA UTILIZACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA EN LA ASIGNATURA DE DISEÑO DE HORMIGÓN REFORZADO

Gláucia Nolasco de Almeida Mello

DOI 10.22533/at.ed.8132109044

CAPÍTULO 5..... 61

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE COLMOS DE BAMBU DAS ESPÉCIES *BAMBUSA TULDOIDES* E *PHYLLOSTACHYS AUREA*

Ana Claudia Dal Prá Vasata
Leonardo Müller Portes
Alana Karolyne Dametto dos Santos
Ana Caroline Cadorin
Leonardo Pirola dos Santos
Paôla Regina Dalcanal
Paulo Rogerio Novak
Fabiano Ostapiv

DOI 10.22533/at.ed.8132109045

CAPÍTULO 6..... 72

PEAD REFORÇADO COM FIBRA DE BAMBU

Franciele Matos Silva

Danilo Belchior Costa Silva
Luiz Felipe Alves Barcelo
Edson Alves Figueira Júnior
DOI 10.22533/at.ed.8132109046

CAPÍTULO 7..... 82

PRECONCEITO COM A MULHER NA ENGENHARIA CIVIL

Jaqueline de Souza
Raiany Ribeiro Teixeira
Bárbara Pegher Dala Costa
Sandro Roberto Mazurechen

DOI 10.22533/at.ed.8132109047

CAPÍTULO 8..... 87

INFRAESTRUTURA SUSTENTÁVEL: VIABILIDADE DE SISTEMA INTERLIGADO DE TELHADO VERDE, FILTRO ANAERÓBIO E DE AREIA

Thauan Ribeiro Sarmento
Lucas Tavares de Freitas
Daniel Cosmo Oliveira
David dos Santos Dias
Francisco Edmilson dos Passos Junior

DOI 10.22533/at.ed.8132109048

CAPÍTULO 9..... 98

CONFORTO TÉRMICO EM REFORMAS COM FINALIDADE SOCIAL

Barbara Correia do Nascimento
Gabriela Leite Lucio
Luiz Fernando Antunes de Souza
Taynah Thara Ferreira Bandeira
Maria Fernanda Quintana Ytza

DOI 10.22533/at.ed.8132109049

CAPÍTULO 10..... 110

ABRIGOS TEMPORÁRIOS EM ESTRUTURAS DE MADEIRA

Amanda Nascimento Mesquita
Beatriz Staff
Derlan Cruz Gonçalves
Victor Gitti Alves
Vinicius Gabriel Xavier Tomaz
Maria Fernanda Ytza Quintana

DOI 10.22533/at.ed.81321090410

CAPÍTULO 11..... 124

ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE RISCOS EM SEGURANÇA DO TRABALHO PELOS INTERVENIENTES NA CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES VERTICAIS

Vinicius Borges de Lacerda Stecanella
Beatriz de Souza Correia

Hugo Sefrian Peinado

DOI 10.22533/at.ed.81321090411

CAPÍTULO 12..... 135

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA E CRONOLÓGICA DO *TILT-UP* EM OBRAS SOCIAIS

Alberto Naddeo Neto

Julia Vinha Cirqueira Santos

Juliana Novaes Frutuoso Faria

Mateus Vicente da Costa

Nayara Cavichiolli Monteiro

Wallace Fornos

Maria Fernanda Quintana Ytza

DOI 10.22533/at.ed.81321090412

CAPÍTULO 13..... 148

COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS: ALVENARIA ESTRUTURAL E PAREDE DE CONCRETO

Bruna Pedrosa Miguel Silva

Bryam Isac Cardoso

Camila de Paula Silva

Erik Ricardo Monteiro Moura

Fernando Pereira da Silva Melo

Geovanna Santos Fernandes

Layse de Ataíde Araújo

Maria Fernanda Quintana Ytza

DOI 10.22533/at.ed.81321090413

CAPÍTULO 14..... 163

ESTUDO DE VIABILIDADE DE UMA ESTRUTURA METÁLICA COMO ALTERNATIVA PARA CONSTRUÇÕES: ESTUDO DE CASO EM GALPÃO INDUSTRIAL FEITO EM CONCRETO ARMADO PRÉ-FABRICADO

Enrique Santana dos Santos

Fábio Rodrigo Mandello Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.81321090414

CAPÍTULO 15..... 169

ANÁLISE, DIAGNÓSTICO E METODOLOGIA DE REPARO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS: ESTUDO DE CASO EM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL NA CIDADE DE GUARUJÁ-SP

Guilherme Gonzaga Pereira

Camilla Diniz Ribeiro

DOI 10.22533/at.ed.81321090415

CAPÍTULO 16..... 186

***SOFTWARE ON-LINE* PARA ESTIMATIVA DE CUSTOS E INSUMOS DE EDIFICAÇÕES: ALVENARIA, REVESTIMENTO E ACABAMENTO**

Ana Beatriz Laluze Vaz

Gustavo Cabrelli Nirschl

DOI 10.22533/at.ed.81321090416

SOBRE A ORGANIZADORA.....	200
ÍNDICE REMISSIVO.....	201

ANÁLISE DA ESTABILIDADE GLOBAL DE EDIFÍCIOS MULTIPAVIMENTOS – COMPARATIVO ENTRE MODELOS

Data de aceite: 01/04/2021

Juliane Miranda dos Santos

Universidade Anhembi Morumbi

Pollyana Bittencourt Fraga Leitão

Universidade Anhembi Morumbi

María Fernanda Quintana Ytza

Universidade Anhembi Morumbi
São Paulo - SP

RESUMO: A análise da estabilidade global é um quesito essencial na verificação de uma estrutura, principalmente quando se trata da concepção de edifícios com altura e esbeltez acentuadas. Durante a análise é considerado tanto os esforços provocados pela estrutura quanto os esforços horizontais causados pela ação do vento. Dessa forma, é possível prevenir problemas que afetam a funcionalidade e a segurança da edificação. Este estudo relaciona os valores dos parâmetros de instabilidade α e Gama Z (γ_z) com o consumo de concreto referente a modelagem de quatro soluções estruturais, que se diferenciam pela tipologia e quantidade de pilares. Os modelos foram analisados como um pórtico espacial no software CAD/TQS.

PALAVRA-CHAVE: Análise; estabilidade; estrutura; TQS.

ABSTRACT: The analysis of global stability is an essential requirement when verifying structures, especially when it comes to the design of tall and slender buildings. During the analysis, it

is considered both the stresses caused by the structure and the horizontal stresses caused by the action of the wind. This way, it is possible to prevent problems that affect the functionality and safety of the building. This study compares the values of the Alfa (α) and Gamma Z (γ_z) instability parameters with the concrete consumption regarding the model of four structural solutions, which differ by the type and number of columns. The models were analyzed as a spatial portico in the CAD / TQS software.

KEYWORDS: Analysis; stability; structure; TQS.

1 | INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional, a verticalização urbana tornou-se o caminho para atender esta grande demanda, assim, modelos de construção de edifícios cada vez mais altos e esbeltos é a solução adequada. Para acompanhar esses avanços houve a evolução da Teoria das Estruturas e a preocupação de profissionais da área em garantir o equilíbrio de um edifício. A fim de que não ocorra a inviabilidade do seu uso, é indispensável a análise da estabilidade global desse tipo de estrutura, que sofre sob influência de forças horizontais e verticais.

No projeto estrutural de edifícios, a ação do vento deve ser levada em consideração para um modelo ideal de dimensionamento. Para isso, é necessária uma análise de primeira ordem na qual ações verticais e horizontais, quando solicitadas, causam deslocamento na

estrutura e à medida que são expressivas, provocam o surgimento de esforços adicionais, conhecido como efeitos de segunda ordem, ou seja, os deslocamentos dos nós devido as cargas atuantes são obtidos em cada pavimento e as forças horizontais são recalculadas para considerações de uma nova análise (BUENO, 2009). Esses efeitos adicionados ao carregamento original da estrutura podem impedir sua utilização, já que sua estabilidade estará comprometida.

A esbeltez e flexibilidade das edificações podem submetê-las a um comportamento dinâmico, quando expostas ao vento (NBR 6123:1998). Desta forma, é importante elaborar modelos estruturais com maior rigidez, considerando esforços horizontais devido a ação do vento para promover um menor deslocamento.

Negligenciar a análise de estabilidade global de Edifícios pode resultar em casos como do Edifício Millennium Palace, em Balneário Camboriú (SC), onde houve um deslocamento horizontal expressivo do prédio durante uma forte chuva com rajadas de vento a 90km/h (G1, 2018), como também o colapso do edifício residencial Real Class, no Belém (PA), que ocorreu sob uma tempestade tropical com rajadas de vento de 39,4 m/s (IMBRACON,2018).

Desta forma, como exemplificado acima, a proposta deste artigo é analisar o equilíbrio de uma estrutura como um conjunto, avaliando a estabilidade global através do parâmetro Alfa e verificando a existência dos efeitos de 2º ordem (globais e locais) por meio do coeficiente Gama Z.

2 I ESTUDO DE CASO

A estrutura do edifício foi analisada a partir de sua modelagem no software CAD/TQS. A análise da estabilidade global do modelo estrutural baseou-se nas exigências referidas na NBR 6118:2014. Através dos parâmetros pré-estabelecidos descritos no tópico 2.2 de características gerais, foram elaborados 4 modelos estruturais.

A realização das modificações na estrutura durante a modelagem baseou-se na mudança de seção e tipologia dos pilares, criando hipóteses para uma edificação sendo composta por pilares regulares, pilares regulares com pilares parede de seção retangular, pilares regulares com pilares parede de seção L ou pilares parede de seção retangular, U e L. Tendo em vista que a estabilidade global é beneficiada pelo núcleo central rígido, a elaboração das estruturas de pórticos tem embasamento na modificação dos pilares centrais, porém, de antemão, foi estudado todos os elementos estruturais para verificar a possibilidade de incrementar alternativas que assegurem um melhor comparativo entre os modelos.

2.1 Descrição do modelo

Trata-se do estudo de uma edificação residencial onde a análise ocorre no Anteprojeto, ou seja, quando a arquitetura não está totalmente definida, portanto, considerou-se apenas

a modelagem de um pavimento tipo multiplicado 25 vezes mais cobertura, tendo a fundação engastada no solo e sem consideração das vagas de garagem para o estudo estrutural.

2.2 Características gerais

O Edifício foi projetado no software CAD/TQS com os seguintes critérios para dimensionamento:

- Modelo IV – Modelo integrado de pórtico espacial;
- Processo Gama Z para análise de 2ª ordem;
- Coeficientes de não-linearidade física para pilares e vigas iguais quando $\gamma_z \leq 1,30$;
- Coeficiente de majoração dos esforços horizontais e verticais (γ_f / γ_{f3}) = 1,27;
- Correção do γ_z para transferências de esforços quando $\gamma_z \leq 1,30$;
- Consideração do valor de referência $\gamma_z > 1,10$ para uma estrutura deslocável;
- Consideração do valor de referência $\alpha > 0,6$ para uma estrutura de nós móveis;
- Análise plástica para verificação da resistência da estrutura no ELU (Estado Limite Último);
- Análise linear para verificação da funcionalidade da estrutura nos ELS (Estado Limites de Serviço);
- Os limites para deslocamentos obedecem aos valores estabelecidos pela norma, conforme o item 13.3, tabela 13.2 da NBR 6118:2014.

Foram utilizados modelos específicos para o cálculo dos elementos estruturais, sendo para:

- Pilares: Dimensionamento por modelo de pórtico espacial, que possibilita a avaliação do comportamento global da estrutura, perante a atuação de ações verticais e horizontais. O modelo de pórtico espacial permite verificação da estabilidade global do edifício;
- Vigas: Cálculo dos esforços atuantes nas vigas por modelo de pórtico espacial;
- Lajes: Cálculo por um modelo de grelhas de lajes planas, que é composto por barras que representam todo o conjunto de vigas e lajes que formam a estrutura do pavimento. Esse modelo permite uma análise do comportamento da estrutura muito aproximado do real.

Sendo uma estrutura de concreto armado com:

- Concreto C40;
- Módulo de elasticidade de 31000 tf/m² (Ecs) e 35000 tf/m² (Eci);

A localização da edificação foi definida em região costeira, na cidade do Rio de Janeiro. Dessa forma, a obra é classificada na Classe de agressividade ambiental III, com agressividade forte, risco de deterioração grande e com exposição da estrutura em ambiente marinho, conforme estabelecido na Tabela 6.1 da NBR 6118:2014.

Em função da classe de agressividade ambiental – Classe III – serão considerados os valores de cobrimento estabelecidos na Tabela 7.2 da NBR 6118:2014.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Figura 1 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal par $\Delta c = 10$ mm (NBR 6118:2014)

2.2.1 Cargas Consideradas

A determinação dos esforços nos elementos estruturais apresentados a seguir estão de acordo com os valores das cargas estabelecidos na NBR 6120:1980.

2.2.1.1. Peso próprio e cargas permanentes

Os materiais utilizados para a determinação do peso próprio da estrutura e de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes são:

Materiais	kN/m³	kg/m³	tf/m³
Tijolos furados	13,0	1300	1,30
Argamassa de cal, cimento e areia	19,0	1900	1,90
Argamassa de cimento e areia	21,0	2100	2,10
Argamassa de gesso	12,5	1250	1,25
Concreto armado	25,0	2500	2,50

Tabela 1 - Peso específico dos materiais (Autores)

Materiais	kN/m²	kg/m²	tf/m²
Revestimento de pisos	1,0	100	0,1
Escadas e corredores com acesso à público	0,50	50	0,050

Tabela 2 - Cargas por unidade de área (Autores)

2.2.1.2. Cargas acidentais

Para a determinação das cargas acidentais atuantes na edificação, foram adotados os valores a seguir de acordo com a tabela 2 da NBR 6120:1980, caracterizados em função do uso da edificação:

Locais	kN/m²	kg/m²	tf/m²
Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro	1,5	150	0,150
Despensa, área de serviço e lavanderia	2,0	200	0,200
Corredores com acesso ao público	3,0	300	0,300
Escadas com acesso ao público	3,0	300	0,300

Tabela 3 - Cargas por unidade de área (Autores)

2.2.1.3. Sobrecarga do vento

De acordo com a NBR 6123:1988, as cargas devidas à ação do vento foram determinadas de acordo com os seguintes parâmetros:

Parâmetros	Valores
Velocidade básica do vento (V_0) para uma rajada de 3s, excedida na média uma vez em 50 anos, a 10m acima do terreno, em campo aberto e plano, de acordo com a Figura 1 – Isopletras da NBR 6123:1988, para a cidade do Rio de Janeiro	$V_0=34$ m/s
Fator topográfico (S_1) para terreno plano ou fracamente acidentado, classificado no item 5.2 da NBR 6123:1988	$S_1=1,0$
Fator (S_2) que considera a influência da rugosidade do terreno, das dimensões da edificação e da sua altura sobre o terreno: <ul style="list-style-type: none"> Rugosidade do terreno – categoria II – considerando terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas (zonas costeiras e planas) Dimensões da edificação – Classe C, estabelecido para toda edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda a 50m. 	$b=1,00$ $F_f=0,95$ $p=0,10$
Fator (S_3) baseado em conceitos probabilísticos para edifícios residenciais	$S_3=1,0$

Tabela 4 - Parâmetros para determinação das cargas do vento (Autores)

2.3 Modelos

Para a elaboração do comparativo dos parâmetros de instabilidade, foram elaborados 4 modelos estruturais que se diferenciam pela tipologia dos respectivos pilares.

- Modelo 1:** caracteriza-se por apresentar pilares regulares, principalmente em seu núcleo estrutural. Esses elementos estruturais foram pré-dimensionados para serem considerados pilares retangulares padrão e, diante disso, avaliar o pórtico espacial em termos de instabilidades e deformações.

Na construção deste modelo, foram distribuídos pilares cuja maior dimensão da seção transversal não ultrapassa cinco vezes a menor dimensão, para atender as especificações de pilares regulares, segundo a NBR6118:2014.

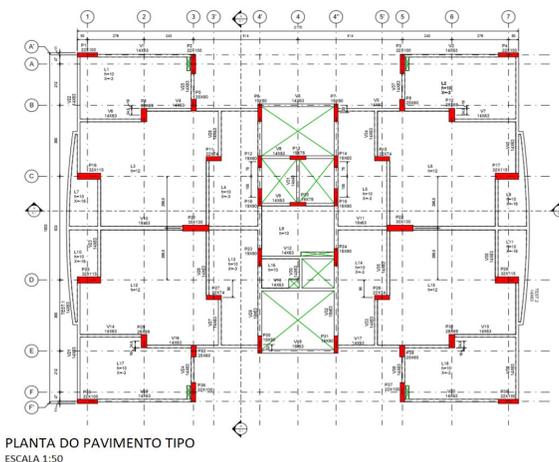


Figura 2 – Modelo 1 - Planta do pavimento tipo (Autores)

- Modelo 2:** tendo como base o modelo 1, este modelo é constituído por pilares parede em determinados pontos, principalmente em seu núcleo e nas extremidades. Segundo WIGHT e MACGREGOR (2009), os pilares-parede ou “Shear walls” são estruturas de superfícies planas capazes de resistir a carregamentos laterais, provenientes de vento ou ações sísmicas, bem como os carregamentos gravitacionais.

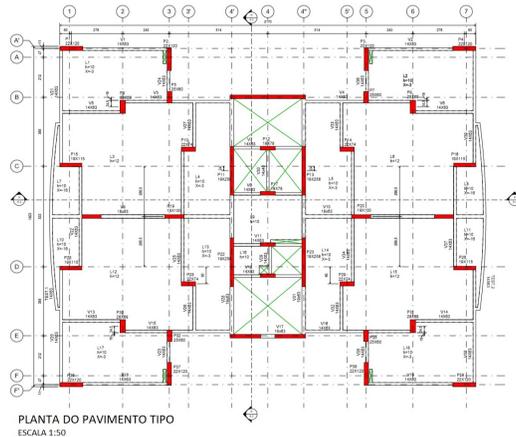


Figura 3 - Modelo 2 - Planta do pavimento tipo (Autores)

- Modelo 3:** caracteriza-se por apresentar pilares parede de seção L, principalmente em seu núcleo e extremidades, com o objetivo de aumentar a rigidez da estrutura. Ressalta-se que foi utilizado o modelo 1 como base, ou seja, além dos pilares parede de seção L, há pilares regulares.

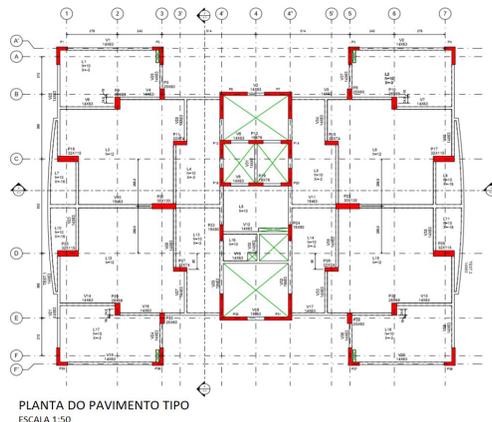


Figura 4 - Modelo 3 - Planta do pavimento tipo (Autores)

- **Modelo 4:** na construção deste modelo, foi utilizado como base a planta de formas do Modelo 3, sendo modificadas as dimensões de determinados pilares parede de seção L e acrescentados pilares parede em U.

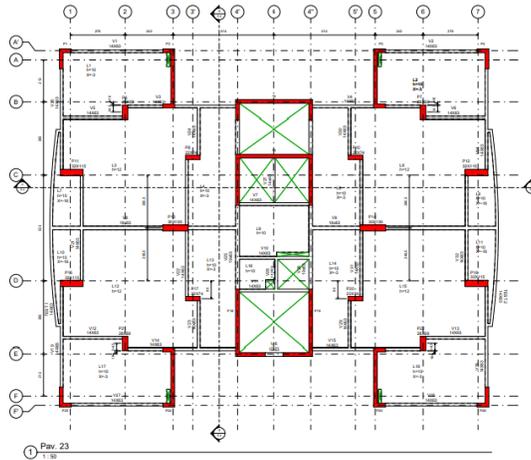


Figura 5 - Modelo 4 - Planta do pavimento tipo (Autores)

3 | ANÁLISE DOS MODELOS

3.1 ELU – Estabilidade Global

Foram consideradas as combinações mais desfavoráveis do CAD/TQS com os seguintes casos de carregamento horizontal:

Caso	Direção do vento	Coefficiente de arrasto	Pressão (tf/m ²)
1	Vento 90°	1,38	0,085
2	Vento 270°	1,38	0,085
3	Vento 0°	1,28	0,079
4	Vento 180°	1,28	0,079

Tabela 5 - Caso de carregamento horizontal (Autores)

Os valores máximos de cada modelo estrutural elaborado relacionado com os parâmetros de instabilidade foram obtidos através das combinações das ações feitas pelo CAD/TQS, sendo eles:

Modelo	Parâmetro Gama z	Parâmetro α
1	1,18	0,88
2	1,10	0,71
3	1,08	0,67
4	1,06	0,57

Tabela 6 – Valores máximos dos parâmetros de instabilidade (Autores)

3.1.1 Parâmetro de instabilidade Gama z

Segundo KIMURA (2008), a estabilidade global de uma estrutura está relacionada com a sua capacidade de gerar menos efeitos de segunda ordem, ou seja, quanto mais estável for a estrutura, menor será o valor do coeficiente gama z. Portanto, ele considera ideal projetar estruturas com um Υz menor que 1,20. Sendo assim, nenhum dos modelos estão com a estabilidade global comprometida.

Uma estrutura submetida a ação de cargas horizontais e verticais sofre deslocamentos horizontais em seus nós e o nível desta deslocabilidade determina a sua classificação, sendo de nós fixos ou nós móveis.

Uma estrutura classificada como nós fixos é analisada através dos efeitos de primeira ordem onde a mesma é considerada em sua posição não-deformada e cada elemento comprimido é verificado de forma isolada. Nesse caso os efeitos globais de segunda ordem podem ser desconsiderados, pois para uma edificação ser definida como nós fixos, é necessário que a magnitude do deslocamento dos nós não ultrapasse 10% dos valores obtidos em relação os esforços de primeira ordem na estrutura.

Segundo a NBR 6118:2014 item 15.4.2, as estruturas de nós móveis são aquelas onde os deslocamentos horizontais não são pequenos e, em decorrência, os efeitos globais de 2ª ordem são importantes, superiores a 10 % dos respectivos esforços de 1ª ordem (ABNT, 2014, p. 103). Na análise de estruturas classificadas como nós móveis, é indispensável considerar os efeitos da não linearidade física e geométrica e os efeitos globais e locais de segunda ordem.

A NBR6118:2014 também determina que a estrutura é considerada de nós fixos quando obedecida a condição: $\gamma z < 1,10$. Quando o coeficiente γz é igual ou superior a 1,10, a estrutura é considerada de nós móveis. Sendo assim, pelo parâmetro γz , os modelos 1 e 2 são considerados de nós moveis e os modelos 3 e 4 de nós fixos.

Na tabela abaixo, foram relacionados os valores do parâmetro Υz dos quatro casos simples de vento prescritos na Tabela 5, para análise da consideração dos efeitos globais de 2ª ordem:

Modelo	Caso	Direção do vento	Υ_z	Considerar efeito global de 2ª ordem
1	1	Vento 90°	1,10	Sim
	2	Vento 270°	1,10	Sim
	3	Vento 0°	1,18	Sim
	4	Vento 180°	1,18	Sim
2	1	Vento 90°	1,07	Sim
	2	Vento 270°	1,07	Sim
	3	Vento 0°	1,10	Sim
	4	Vento 180°	1,10	Sim
3	1	Vento 90°	1,06	Não
	2	Vento 270°	1,06	Não
	3	Vento 0°	1,08	Não
	4	Vento 180°	1,08	Não
4	1	Vento 90°	1,05	Não
	2	Vento 270°	1,05	Não
	3	Vento 0°	1,06	Não
	4	Vento 180°	1,06	Não

Tabela 7 - Conferência de estabilidade global (Dados extraídos do CAD/TQS)

Os valores foram analisados através do gráfico conforme abaixo para cada modelo, no qual apresenta os carregamentos simples de vento nas duas direções (0°-180° e 90°-270°), ou seja, o eixo das abcissas está composto pelos casos 3 e 4 de Vento 0° e Vento 180°, enquanto o eixo das ordenadas possui valores correspondentes aos casos 1 e 2 de Vento 90° e Vento 270°. Observa-se que foi estabelecido um raio de 1,10 para identificar o valor limite de uma estrutura de nós fixos, e um raio de 1,30 para alertar ao elevado nível de estabilidade da estrutura e os valores calculados do CAD/TQS afim de comparar os resultados com os valores limites e, dessa forma, obter uma análise geral do parâmetro Υ_z .

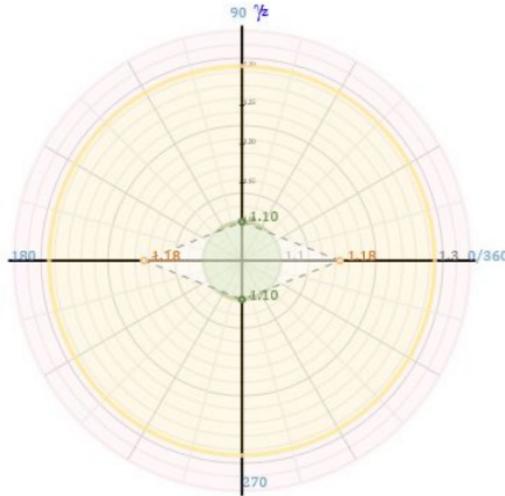


Figura 6 - Valores Gama Z – Modelo 1 (Dados extraídos do CAD/TQS)

3.1.2 Parâmetro de instabilidade α

Segundo a NBR 6118:2014 item 15.5.2, esse parâmetro também tem como objetivo a verificação da instabilidade da estrutura, realizando a identificação dos nós fixos e nós móveis. Para identificar os nós é preciso fazer a comparação dos parâmetros α e α_1 , onde: $\alpha < \alpha_1$ considera-se nós fixos e $\alpha > \alpha_1$ considera-se nós móveis. Sendo, $\alpha_1 = 0,6$ se o número de pavimentos for maior ou igual a 4, que é o caso dos modelos em estudo.

Pode-se observar o parâmetro de instabilidade α através tabela abaixo, sendo para os carregamentos simples de vento nas duas direções (0° - 180° e 90° - 270°) prescritos na Tabela 5.

Modelo	Caso	Direção do vento	α	Classificação da estrutura
1	1	Vento 90°	0,88	Nós móveis
	2	Vento 270°	0,88	Nós móveis
	3	Vento 0°	0,71	Nós móveis
	4	Vento 180°	0,71	Nós móveis
2	1	Vento 90°	0,62	Nós móveis
	2	Vento 270°	0,62	Nós móveis
	3	Vento 0°	0,70	Nós móveis
	4	Vento 180°	0,70	Nós móveis

3	1	Vento 90°	0,55	Nós fixos
	2	Vento 270°	0,55	Nós fixos
	3	Vento 0°	0,67	Nós móveis
	4	Vento 180°	0,67	Nós móveis
4	1	Vento 90°	0,55	Nós fixos
	2	Vento 270°	0,55	Nós fixos
	3	Vento 0°	0,57	Nós fixos
	4	Vento 180°	0,57	Nós fixos

Tabela 8 - Classificação da estrutura (Dados extraídos do CAD/TQS)

Os dados foram analisados através do gráfico conforme abaixo para cada modelo, que representa os valores de instabilidade α para os 4 casos de carregamentos simples de vento da Tabela 5, tendo α_1 igual a 0,60 conforme estabelecido na NBR 6118:2014 para edifícios a partir do quarto piso.

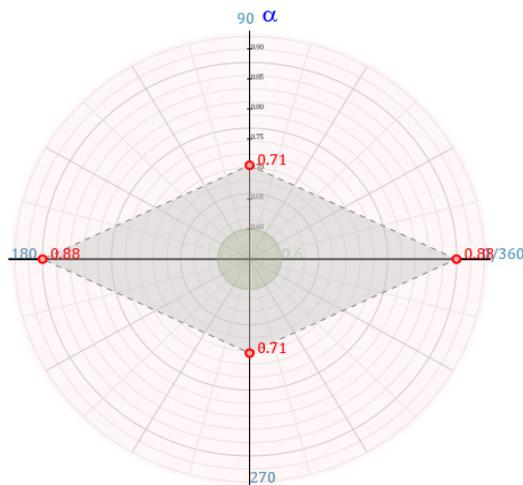


Figura 7 - Valores de α – Modelo 1 (Dados extraídos do CAD/TQS)

Verifica-se no gráfico que os valores de α são superiores a 0,60 (α_1), justificando a classificação do Modelo 1 através do parâmetro α , uma estrutura de nós móveis.

3.2 ELS – Deslocamentos Horizontais

Para a análise ELS no CAD/TQS, foi considerado 30% do carregamento dos casos citados na Tabela 5 – Caso de carregamento horizontal, para definir o deslocamento

horizontal em cada direção. Dessa forma, os deslocamentos máximos da estrutura com altura de 74,88 metros são:

Modelo	Caso de carregamento	Direção do vento	Deslocamento horizontal (cm)
1	0,3 (1)	Vento 90°	2,14
	0,3 (2)	Vento 270°	2,14
	0,3 (3)	Vento 0°	2,49
	0,3 (4)	Vento 180°	2,49
2	0,3 (1)	Vento 90°	1,78
	0,3 (2)	Vento 270°	1,78
	0,3 (3)	Vento 0°	1,51
	0,3 (4)	Vento 180°	1,51
3	0,3 (1)	Vento 90°	1,23
	0,3 (2)	Vento 270°	1,23
	0,3 (3)	Vento 0°	1,36
	0,3 (4)	Vento 180°	1,36
4	0,3 (1)	Vento 90°	1,11
	0,3 (2)	Vento 270°	1,11
	0,3 (3)	Vento 0°	0,91
	0,3 (4)	Vento 180°	0,91

Tabela 9 - Deslocamentos máximos (Autores)

O deslocamento horizontal da edificação dos 4 modelos está dentro do limite, ou seja, não ultrapassaram o valor calculado equivalente a $7488 / 1700 = 4,40$ cm conforme a NBR 6118:2014 tabela 13.2, que determina o cálculo do deslocamento máximo pela equação a seguir (H é igual a altura da edificação).

$$\frac{H}{1700} \quad \text{(Equação 1)}$$

Os dados foram analisados através do gráfico abaixo para cada modelo, que representa os valores dos deslocamentos horizontais para os 4 casos de carregamentos simples de vento.

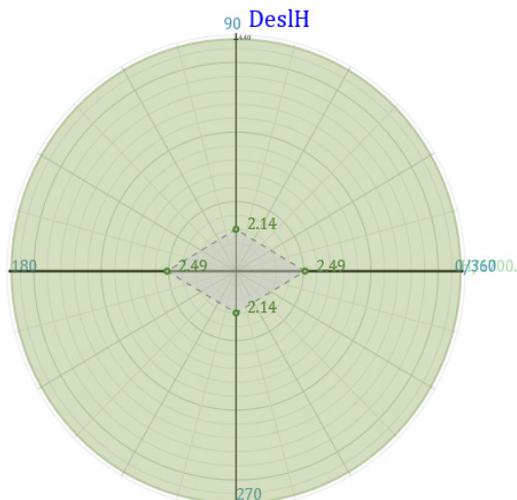


Figura 8 - Deslocamentos máximos – Modelo 1 (Dados extraídos do CAD/TQS)

É possível observar no gráfico acima que os valores dos deslocamentos horizontais são menores que 4,40 cm, determinando que não há deslocamentos excessivos e não será necessário considerar os efeitos globais de segunda ordem na verificação.

3.3 Verificação Manual dos Resultados Obtidos

A conferência de forma manual pode resultar em valores aproximados aos extraídos pelo Sistema CAD/TQS. Para a validação dos resultados, foram extraídas as cargas e deslocamentos do software para aplicação das fórmulas e conferência dos parâmetros de instabilidade.

3.3.1 Cálculo dos coeficientes para análise da estabilidade global

Para a validar os resultados dos coeficientes Gama Z e de instabilidade α obtidos no software, de forma geral, deve-se calcular os momentos totais de primeira ordem e de segunda ordem, tendo bem definida a correção de rigidez em pilares e vigas para simular a não-linearidade física (NLF) de forma aproximada.

Após a definição dos critérios e o processamento global da estrutura pelo CAD/TQS, foram feitas as somatórias das cargas horizontais aplicadas para o caso de Vento 3 (0°):

Piso	Somatória das cargas aplicadas (tf)	Piso	Somatória das cargas aplicadas (tf)
1	3,033	14	4,447
2	2,62	15	4,361
3	2,933	16	4,625
4	3,696	17	4,696
5	3,376	18	4,773
6	3,545	19	4,837
7	3,693	20	4,904
8	3,731	21	4,977
9	3,936	22	5,037
10	4,062	23	5,1
11	4,174	24	5,158
12	4,279	25	5,207
13	4,366	26	2,616

Tabela 10 - Somatória das cargas horizontais aplicadas por piso (Autores)

Considerando a distância entre pisos de 2,88 m, calcula-se o momento total de primeira ordem pela somatória do produto entre as cargas horizontais (Fhd) por piso e as respectivas distâncias até a base da edificação.

Piso	Distância em y (m)	Fhd (m)	Mpiso (tf.m)
1	2,88	4,246	12,23
2	5,76	3,668	21,13
3	8,64	4,106	35,48
4	11,52	5,174	59,61
5	14,4	4,726	68,06
6	17,28	4,963	85,76
7	20,16	5,170	104,23
8	23,04	5,223	120,35
9	25,92	5,510	142,83
10	28,8	5,687	163,78
11	31,68	5,844	185,13
12	34,56	5,991	207,04
13	37,44	6,112	228,85

14	40,32	6,226	251,02
15	43,2	6,105	263,75
16	46,08	6,475	298,37
17	48,96	6,574	321,88
18	51,84	6,682	346,41
19	54,72	6,772	370,55
20	57,6	6,866	395,46
21	60,48	6,968	421,41
22	63,36	7,052	446,80
23	66,24	7,140	472,95
24	69,12	7,221	499,13
25	72	7,290	524,87
26	74,88	3,662	274,24
M1d (tf.m)			6321,31

Tabela 11 - Momento total de primeira ordem - M1d (Autores)

Para o cálculo do momento total de segunda ordem, é necessário obter os valores das cargas verticais totais por pavimento. Tendo em vista que o modelo possui o pavimento “Tipo” e o pavimento “Cobertura”, foram encontrados os seguintes resultados:

Pavimento	Carga aplicada	Peso-próprio dos pilares	Total
Cobertura	230,2	57,1	287,3
Tipo (x25)	326,6	57,1	383,7

Tabela 12 - Cargas verticais totais (Autores)

O somatório do produto entre as cargas verticais (Fvd) por piso e os respectivos deslocamentos horizontais resulta no momento total de segunda ordem. Para fins de simplificação de cálculo, foram considerados os deslocamentos máximos por piso, e foram divididos por 0,7 para contemplar os critérios estabelecidos para não-linearidade física.

Piso	Deslocamento/0,7 (m)	Fvd (tf)	Mpiso (tf.m)
1	0,00248	536,9	1,33
2	0,00852	536,9	4,57
3	0,01634	536,9	8,77
4	0,0251	536,9	13,48
5	0,03428	536,9	18,40
6	0,0436	536,9	23,41
7	0,0529	536,9	28,40
8	0,06206	536,9	33,32
9	0,07102	536,9	38,13
10	0,0797	536,9	42,79
11	0,0881	536,9	47,30
12	0,09616	536,9	51,63
13	0,10386	536,9	55,76
14	0,11118	536,9	59,69
15	0,11812	536,9	63,42
16	0,12464	536,9	66,92
17	0,13072	536,9	70,18
18	0,13636	536,9	73,21
19	0,14156	536,9	76,00
20	0,1463	536,9	78,55
21	0,15058	536,9	80,85
22	0,1544	536,9	82,90
23	0,15778	536,9	84,71
24	0,16074	536,9	86,30
25	0,16334	536,9	87,70
26	0,16572	418,18	69,30
		M2d (tf.m)	1347,04

Tabela 13 - Momento total de segunda ordem - M2d (Autores)

Segunda a NBR 6118:2014, item 15.3.1 – Relações momento-curvatura, pode-se considerar a relação γ_f / γ_{f3} para majoração dos esforços horizontais, sendo $\gamma_f = 1,40$ e $\gamma_{f3} = 1,10$. Ressalta-se que o γ_{f3} é um coeficiente de aproximação de projeto no qual diminui o valor dos efeitos de segunda ordem calculados. Dessa forma, com os valores dos momentos totais de primeira ordem e de segunda ordem, é possível aplicar a equação do coeficiente γ_z (NBR 6118:2014, item 15.5.3) com a complementação do γ_{f3} conforme a seguir:

$$V_x = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{L,tot,d} \times \left(\frac{V_f}{V_{f3}}\right)} \times \frac{1}{V_{f3}}} = \frac{1}{1 - \frac{1347,04}{6321,31 \times \left(\frac{1,4}{1,1}\right)} \times \frac{1}{1,1}} = 1,18 \quad (\text{Equação 2})$$

Nota-se que o valor calculado é igual ao obtido pelo Software CAD/TQS.

Para seguir com as verificações, deve-se calcular o coeficiente de instabilidade α (equação apresentada na NBR 6118:2014, item 15.5.2). Portanto, sabendo a carga total característica e a altura de 74,88 m da edificação, obtém-se:

$$N_k = (287,3 + 383,6) \times 25 = 9879,8 \text{ tf} \quad (\text{Equação 3})$$

Para calcular a rigidez (EI), deve-se usar a fórmula que relaciona o deslocamento horizontal do topo com a força horizontal por piso. Segundo Alio Kimura (2007), utiliza-se a seguinte fórmula para calcular a rigidez $E_{cs} I_c$:

$$E_{cs} I_c = \frac{F_{kk} \cdot x^2 \cdot \left(l - \frac{x}{3}\right)}{2d} \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo:

d: deslocamento horizontal do topo da estrutura;

l: altura total da estrutura;

x: distância da força horizontal de um ponto até a base da estrutura.

		$\Sigma EI \text{ (tf.m}^2\text{)}$	
		78927162	
Piso	EI (tf.m ²)	Piso	EI (tf.m ²)
1	11221,33	14	2680306,49
2	38269,80	15	2970232,45
3	95125,54	16	3527156,06
4	210264,01	17	3977746,02
5	296037,41	18	4458296,82
6	441501,84	19	4950129,78
7	617326,64	20	5466630,63
8	803127,59	21	6011216,50
9	1056989,04	22	6559739,96
10	1327180,88	23	7129676,45
11	1625900,26	24	7708659,54
12	1954024,47	25	8287523,04
13	2304438,26	26	4418441,03
Deslocamento horizontal do topo =			
0,08286 m			

Tabela 14 - Rigidez – EI (Autores)

Aplicando os valores calculados, o coeficiente α resulta em:

$$\alpha = 74,88 \sqrt{\frac{9886,2}{78927162}} = 0,84 \quad (\text{Equação 5})$$

O valor encontrado do coeficiente α é bem próximo do resultado obtido pelo sistema computacional, tendo uma diferença de 4,5% para menos sem mudar a classificação da estrutura.

A verificação manual dos resultados obtidos no sistema computacional tem como objetivo confirmar a veracidade dos valores encontrados e servir como base para validar as análises dos demais modelos estruturais. A verificação foi realizada apenas para o Modelo 1, pois o conceito de cálculo é o mesmo para os demais modelos.

4 | COMPARATIVOS ENTRE OS QUATRO MODELOS

Foi elaborado um comparativo para análise final, relacionando todos os parâmetros de análise da estabilidade global e o consumo de concreto dos elementos estruturais (pilares, lajes e vigas). A tabela abaixo apresenta os valores gerais obtidos no CAD/TQS dos 4 modelos estruturais.

Modelo	Υz	A	DesIH (cm)	Consumo de concreto (m ³)
1	1,18	0,88	2,49	1877
2	1,10	0,71	1,78	1975,2
3	1,08	0,67	1,36	2017,1
4	1,06	0,59	1,11	2129,8

Tabela 27 - Comparativo geral entre Υz , α , DesIH e consumo de concreto (Autores)

Pode-se observar que houve uma diminuição progressiva dos valores do Υz , do α e do deslocamento horizontal na medida que foi acrescentando pilares paredes com seções mais rígidas. Em contrapartida, houve um aumento progressivo significativo relacionado ao consumo de concreto.

4.1 Comparativo entre os parâmetros Υz , α e DesIH

O gráfico abaixo apresenta um comparativo entre os valores de Υz , α e DesIH. Estes dados estão representados em porcentagem através da relação entre os valores calculados e os valores limites de cada parâmetro, sendo os limites:

- $\Upsilon z = 1,20$ (valor máximo para um dimensionamento ideal da estrutura);
- $\alpha = 0,60$ (valor máximo para considerar a estrutura de nós móveis);

- DeslH = 4,40 cm (valor máximo de deslocamento da estrutura).

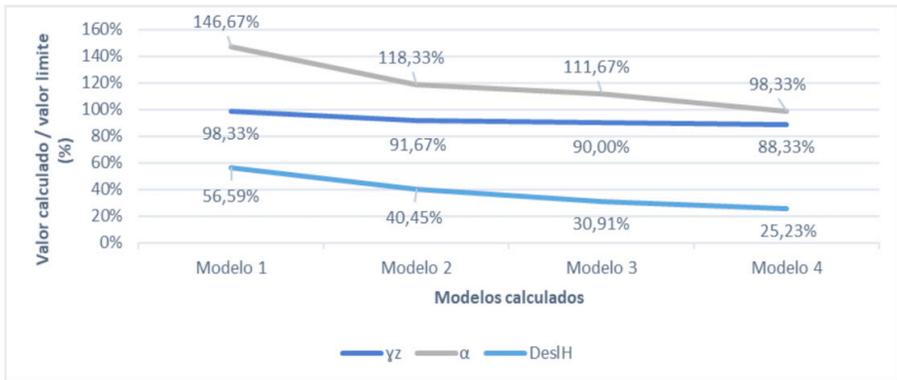


Gráfico 1 – Comparativo geral (Autores)

Nota-se que todos os valores de γ_z ficaram abaixo do limite máximo (1,20), sendo que o maior valor foi obtido no Modelo 1 e o menor valor foi obtido no modelo 4, chegando a 98,33% e 88,33% do limite máximo, respectivamente.

Em relação ao coeficiente α , o único modelo que ficou abaixo do limite mínimo (0,60), ou seja, que foi considerado pelo parâmetro como uma estrutura de nós fixos, foi o Modelo 4, chegando a 98,33%. O Modelo 1 ultrapassou 46,67%, sendo o a estrutura considerada por essa análise a mais deslocável entre as quatro estruturas modeladas.

O DeslH manteve-se abaixo do valor máximo de deslocamento nos quatro modelos, sendo o maior valor obtido no Modelo 1, chegando a 56,59%.

4.2 Comparativo entre a estabilidade global e o consumo de concreto

Para a visualização dos gastos relativos ao consumo de concreto foi utilizado o custo por m^3 do Concreto usinado, $F_{ck} = 40\text{MPa}$ igual a R\$313,82, tabelado pela Companhia Paulista de Obras e Serviço (CPOS). A tabela de serviços utilizada foi de 2019 – Versão 176, sem BDI e desonerado.

Quando se relaciona o nível de estabilidade com o consumo de concreto, observa-se que o aumento do custo com o material é proporcional ao aumento da estabilidade da estrutura, conforme demonstrado na tabela abaixo:

Modelos em ordem crescente de estabilidade global	Consumo de concreto total (m ³)	Custo por m ³ total
Modelo 1	1877	R\$ 589.040,14
Modelo 2	1975,2	R\$ 619.857,26
Modelo 3	2017,1	R\$ 633.006,32
Modelo 4	2129,8	R\$ 668.373,84

Tabela 28 - Comparativo do consumo de concreto com a estabilidade global (Autores)

Para a visualização dos resultados da Tabela 28, foi elaborado um gráfico o gráfico abaixo:

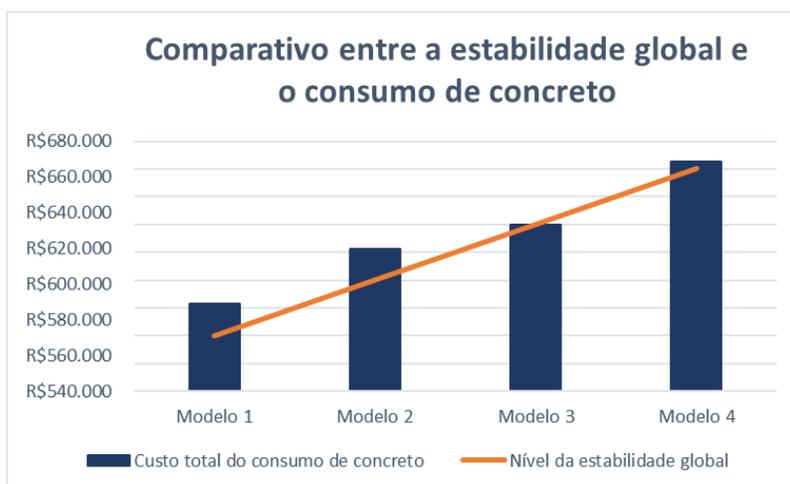


Gráfico 2 - Gráfico de comparativo entre a estabilidade global e o consumo de concreto (Autores)

5 | CONCLUSÕES

O presente trabalho relacionou o nível de estabilidade global dos quatro modelos estruturais com o seu consumo de concreto e, dessa forma, obteve-se valores dos parâmetros de estabilidade global que variavam positivamente conforme aumentava-se as seções dos pilares, ou seja, a medida que houve um crescimento da estabilidade, o consumo de concreto sofreu um acréscimo significativo.

Todos os modelos foram considerados estáveis segundo o parâmetro γ e devido a modelagem de diferentes seções de pilares nas quatro estruturas, houve variações referente a classificação estrutural, sendo o modelo 4 o único classificado de nós fixos pelos parâmetros γ e α , pois apresentava um núcleo rígido e pilares parede com seção

em L que elevaram a rigidez à torção da estrutura.

Em geral, o modelo 1 foi o pior dos casos relacionado a estabilidade global, ficando 89,83% do valor do γ_z referente ao modelo 4 (melhor caso) e ultrapassando o valor limite do coeficiente α prescrito na NBR 6118:2014. No modelo 2 obteve-se valores razoavelmente menores, porém manteve-se a mesma classificação do modelo 1. Todavia, nos modelos 3 e 4 os valores do γ_z ficaram abaixo de 1,10, classificando-os por este coeficiente como estruturas de nós fixos, enquanto pelo parâmetro α , o modelo 3 ultrapassou 11,67% do limite no eixo X e o modelo 4 manteve-se com a mesma classificação estabelecida pelo γ_z .

Os deslocamentos horizontais de todos os modelos não atingiram o valor máximo de deslocamento no topo igual a 4,40 cm, sendo assim, não há deformações excessivas nas estruturas.

O consumo de concreto do modelo mais estável ultrapassou 13% do menos estável, deixando o projeto com um gasto maior deste material. Pode-se concluir que esse acréscimo se deve a dois fatores: a inserção e o aumento das seções de pilares e a desconsideração de modificações nas dimensões das vigas, pois o objetivo era analisar o comportamento das estruturas mediante as diferentes tipologias de pilares.

REFERÊNCIAS

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

TQS INFORMÁTICA LTDA. **CAD/TQS - Manual III – Análise Estrutural**. São Paulo, SP. Disponível em: <http://www.tqs.com.br/recursos-do-site/downloads/doc_view/93-03-analise-estrutural?tmpl=component&format=raw>, Acesso em: 27/05/2019.

TQS INFORMÁTICA LTDA. **Efeitos de 2ª ordem em edifícios de poucos pavimentos**. São Paulo, SP. Disponível em: <<http://www.tqs.com.br/suporte-e-servicos/biblioteca-digital-tqs/54-analise-estrutural/179-efeitos-de-2o-ordem-em-edificios-de-poucos-pavimentos>>. Acesso em: 23/05/2019.

ARAUJO, Silas Oliveira. **Análise da estabilidade global de estruturas de concreto armado da cidade de Goiânia**. 2016. 59 p. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO. 2016. Disponível em: <https://www.eec.ufg.br/up/140/o/AN%C3%81LISE_DA_ESTABILIDADE_GLOBAL_DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DA CIDADE DE GOI%C3%82NIA.pdf>. Acesso em: 23/05/2019.

FREITAS, Felipe C. **Análise da estabilidade global das estruturas e ações de controle dos seus efeitos**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, São Paulo, v.9, n.2, p. 192 – 213, mar. – abr. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/riem/v9n2/pt_1983-4195-riem-9-02-00192.pdf>. Acesso em: 23/05/2019.

CAVALHEIRO, Rafael. **Análise da Estabilidade Global de Edifício em Concreto Armado com os parâmetros γ_z e FAVt**. 2016. 98 p. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, PR. 2016. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7804/1/PB_COECI_2016_2_25.pdf>. Acesso em: 23/05/2019.

MONCAYO, Wiston Junior Zumaeta. **Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado**. 2011. 221 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. 2011. Disponível em: <<http://goo.gl/vi1k2A>>. Acesso em: 23/05/2019.

COMPANHIA PAULISTA DE OBRAS E SERVIÇO. **Tabela de serviços**. 2019, versão 176, sem BDI e desonerado. <<http://www.cpos.sp.gov.br/>>. Acesso em: 28/10/2019.

KIMURA, Alio Ernesto. **Informática Aplicada em Estruturas de Concreto Armado: cálculos de edifícios com uso de sistemas computacionais**. 1. ed. Editora PINI, 632 p. São Paulo, 2008.

PINTO, Rivelli da Silva. **Não-Linearidade Física e Geométrica no Projeto de Edifícios Usuais de Concreto Armado**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, n. 19, p. 171-206, 2002.

CARMO, Regina Maria dos Santos. **Efeitos de Segunda Ordem em Edifícios Usuais de Concreto Armado**. 1995. 112 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. 1995.

OLIVEIRA, Danielle Meireles de. **Estudo dos Processos Aproximados Utilizados para a Consideração das Não-Linearidades Físicas e Geométricas na Análise Global das Estruturas de Concreto Armado**. 2007. 297 p. Tese - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. 2007. Disponível em: <<http://www.pos.dees.ufmg.br/defesas/119D.PDF>>. Acesso em: 23/05/2019.

GOMES, Bárbara Cardoso. **Estudo dos Fatores de Redução de Rigidez da NBR 6118:2014 para Análise Aproximada de Não Linearidade Física**. 2017. 114 p. Projeto de conclusão de curso - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2017. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10019555.pdf>>. Acesso em: 23/05/2019.

SARAIVA, Pablo Pol. **Análise da influência de ligações viga-pilar semirrígidas em estrutura monolítica de concreto armado**. Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, v. 5, n. 1, p. 102-120, jan.- jun. 2018. Disponível em: <<https://seer.imed.edu.br/index.php/revistaec/article/view/2304/1892>>, Acesso em: 03/04/2019.

ANÁLISE NUMÉRICA DA DISTRIBUIÇÃO DE CARGA EM PONTES DE MADEIRA LAMINADA COLADA

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 29/12/2020

Felipe Batista Irikura

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
DACOC
Campo Mourão – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/1839001064339229>

Jorge Luís Nunes de Góes

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
DACOC
Campo Mourão – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/2200714670811720>

RESUMO: Um dos objetivos de um projeto estrutural é, além de garantir a segurança e estabilidade da estrutura, buscar seções menores de modo a garantir maior economia na obra, para isso deve-se conhecer quais as ações aplicadas na estrutura e feitas as devidas combinações calcular a seção ideal. No entanto as ações aplicadas sobre as estruturas não se dividem de forma igual em todas as suas partes e cabe ao engenheiro o trabalho de definir as combinações mais críticas à estrutura e como os carregamentos se distribuem por ela. Este trabalho apresenta o estudo da distribuição transversal de cargas na seção transversal de um modelo de ponte de MLC com vigamento múltiplo tanto de métodos analíticos quanto de modelos computacionais. Foram verificados os métodos mais utilizados em estruturas de pontes: Engesser-Courbon, Leonhardt, Fauchart,

Guyon-Massonet, esses métodos foram então comparados com os modelos computacionais em elementos finitos (MEF), verificando suas convergências e a influência que o número de transversinas causa na distribuição dos carregamentos pelas longarinas.

PALAVRAS-CHAVE: Distribuição transversal. Engesser-Courbon. Leonhardt. MEF.

NUMERICAL ANALYSIS OF THE LOAD DISTRIBUTION IN GLULAM BRIDGES

ABSTRACT: One of the objectives of a structural project is, in addition to guaranteeing the safety and stability of the structure, to seek leaner sections in order to guarantee greater savings in the construction, for that it is necessary to know which actions are applied in the structure and the appropriate combinations are calculated. The ideal section. However, the actions applied to the structures are not equally divided in all its parts and it is up to the engineer to define the most critical combinations to the structure and how the loads are distributed over it. This work presents the study of the transverse load distribution in the cross section of a glulam bridge model with multiple stringers using both analytical and computational models. The most used methods in bridge structures were verified: Engesser-Courbon, Leonhardt, Fauchart, Guyon-Massonet, these methods were then compared with the finite element computational models (FEM), verifying their convergences and the influence that the number of diaphragms cause in the load distribution by the stringers.

KEYWORDS: Transverse distribution. Engesser-

1 | INTRODUÇÃO

A madeira é um material amplamente utilizado pela humanidade e um dos principais materiais utilizados para o desenvolvimento da sociedade, ela tem sido explorada pela humanidade como fonte renovável, estruturalmente e de diversas outras maneiras pela história.

Apesar de tamanha importância, a madeira ainda não é um material amplamente utilizado na construção civil, principalmente no Brasil, sendo mais empregada por questões estéticas do que estruturais, ou apenas como ferramenta para um fim, como a caixaria de elementos estruturais de concreto.

No entanto apesar dessa baixa utilização, a madeira é um excelente material estrutural, possuindo excelentes propriedades mecânicas, baixo peso próprio e baixo consumo energético para sua produção e processamento (STEFEL, 2013). Ela ainda pode ser utilizada na produção de grandes elementos estruturais e aplicada em estruturas de grande porte, tais como pontes, viadutos e passarelas (BESSA; DALA COSTA, 2014).

Uma maneira de melhorar ainda mais as propriedades da madeira é sua industrialização, um produto industrializado proveniente da madeira é a madeira laminada colada (MLC). A MLC é um material manufaturado e versátil que é composto, basicamente, de duas ou mais lâminas, com as fibras de todas as lâminas paralelas ao eixo longitudinal do elemento, unidas entre si por meio de um adesivo, e sob pressão, até atingir as dimensões da peça desejada (FAUSTO, 2019).

As pontes ou Obras de Arte Especiais (OAE), como também são conhecidas, são estruturas de elevada importância no desenvolvimento das cidades durante a história, atualmente essenciais para os sistemas rodoviários e ferroviários de transporte. Elas podem ser classificadas de acordo com seu sistema estrutural como descrito por Leonhardt (1979), podendo ser: pontes em viga, pontes em pórtico, pontes em arco, pontes treliçadas, pontes pênséis e pontes estaiadas.

Um dos modelos mais simples e comum de ponte de madeira utilizado é o de ponte em viga, como apresentado por Ritter (1990). Esse modelo pode ser descrito como um tabuleiro apoiado por uma série de vigas longitudinais, bi-apoiadas ou contínuas, as vigas podem ser de peças roliças (simples ou compostas), vigas de madeira serrada, vigas de madeira laminada colada ou vigas de madeira microlaminada.

Os elementos estruturais presentes nas pontes em vigas de MLC são apresentados por Calil *et al* (2006): longarinas, diafragma (transversinas), tabuleiro, guarda-rodas e defesa, como mostrado na figura 1.

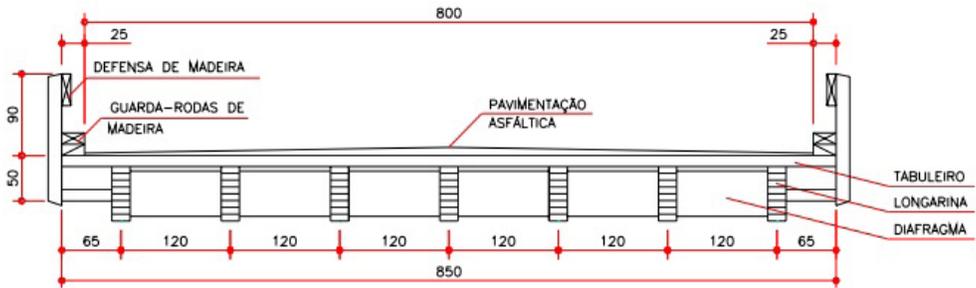


Figura 1. Seção transversal de uma ponte em viga de MLC.

Fonte: Calil *et al* (2006).

Um dos objetivos de um projeto estrutural é, além de garantir a segurança e estabilidade da estrutura, buscar seções mais enxutas de modo a garantir maior economia na obra, para isso deve-se conhecer quais as ações aplicadas na estrutura e feitas as devidas combinações calcular a seção ideal. No entanto as ações aplicadas sobre as estruturas não se dividem de forma igual em todas as suas partes e cabe ao engenheiro o trabalho de definir as combinações mais críticas à estrutura e como os carregamentos se distribuem por ela.

No caso das pontes em vigas a repartição transversal das cargas pelas longarinas é um caso de estudo de muitos anos, Medino (2016) apresenta que os diversos modelos analíticos criados para descrever o comportamento estrutural dos tabuleiros de pontes começaram em 1893 com Zschetzsche. Alguns dos métodos mais conhecidos e aplicados atualmente, e que são abordados nesse trabalho, são o de Engesser-Courbon, de Leonhardt, de Fauchart e o de Guyon-Massonet.

Com o advento da evolução dos computadores foi possível a criação de um método numérico, aproximado, que chegasse mais próximo a realidade, sem ser necessário o uso de ábacos ou tabelas para os cálculos. O método dos Elementos Finitos consiste em dividir o domínio de integração do problema em um número discreto de regiões de dimensões finitas, sem que sejam alteradas as propriedades do problema original (BAIERLE, 2016). No entanto para que o MEF possa ser aplicado, o engenheiro deve ter conhecimento de como funciona o método e do *software* que ele utilizará, de modo que não sejam aceitos resultados imprecisos.

O método de Engesser-Courbon é derivado do método de cálculo das grelhas, ele se baseia na hipótese de que as transversinas apresentam rigidez infinita à flexão, garantindo a estrutura um comportamento de corpo rígido. Para o caso de pontes constituídas de longarinas de seção transversal idênticas a repartição das cargas para cada longarina é feita através da equação (1), onde a parcela é calculada dependendo do número de longarinas (n), o distanciamento da longarina em análise do centro elástico da seção transversal da

ponte (x_i), o distanciamento da aplicação do carregamento em relação ao centro elástico da seção transversal da ponte (e_j) e a somatória ao quadrado de todos os distanciamentos de todas as longarinas em relação ao centro elástico ($\sum x_n^2$).

$$R_i = \frac{1}{n} + \frac{e_j \cdot x_i}{\sum x_n^2} \quad (1)$$

De acordo com Oliveira *et al.* (2017), o método de Engesser-Courbon é recomendado para casos atendidos pela inequação (2), onde (2b) é a largura do tabuleiro, (L) o comprimento da ponte, ($\sum I_n$) a somatória das inércias das longarinas e ($\sum I_{Tn}$) a somatória das inércias das transversinas.

$$\lambda = \frac{2b}{2 \cdot L} + \sqrt[4]{\frac{L}{2b} \cdot \frac{E \cdot \sum I_n}{E \cdot \sum I_{Tn}}} \leq 0,3 \quad (2)$$

O método de Leonhardt considera que todas as transversinas da ponte são representadas por uma única transversina fictícia, localizada no centro do vão da ponte, considerando a rigidez à flexão da transversina. Para isso é calculada uma inércia equivalente para essa transversina, utilizando a equação (3), que consiste em multiplicar a inércia da transversina por um coeficiente k que varia de acordo com o número de transversinas na ponte, mostrado na tabela 1.

$$I_{eq} = k \cdot I \quad (3)$$

Número de transversinas igualmente espaçadas	Coefficiente k
1 ou 2	1,0
3 ou 4	1,6
5 ou mais	2,0

Tabela 1. Coeficiente k para o cálculo do momento de inércia equivalente.

Fonte: Kaestner (2015).

O método de Fauchart, em contrapartida, é utilizado para tabuleiros com múltiplas longarinas sem transversinas intermediárias, e diferentemente dos outros métodos considera a rigidez à torção das vigas. Ele consiste em transformar a seção transversal da ponte em um tabuleiro de um metro apoiado por molas que substituem as longarinas. Para isso em cada longarina são calculados dois coeficientes de mola, um vertical, mostrado pela equação (4) e um transversal, mostrado pela equação (5). Para esses coeficientes só são necessários os valores do comprimento da ponte (L), os módulos de elasticidade longitudinal (E) e transversal (G) e o momento de inércia (I) e momento de inércia polar (I_p).

das longarinas.

$$K_v = \left(\frac{\pi}{L}\right)^4 \cdot E \cdot I \quad (4)$$

$$K_t = \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 \cdot G \cdot I_t \quad (5)$$

O método de Guyon-Massonet, ao contrário, dos demais métodos analíticos deste trabalho não trata a estrutura da ponte como uma grelha, mas como um meio termo entre uma grelha e uma placa ortotrópica. O método então analisa de maneira aproximada a distribuição transversal, assumindo que os carregamentos possam ser representados por uma carga senoidal distribuída paralelamente ao eixo longitudinal da ponte (OLIVEIRA *et al.*, 2017), Massonet (1950) repartiu a ponte de largura $2b$ e comprimento L em uma malha de dimensões finitas, como mostrado na figura 2.

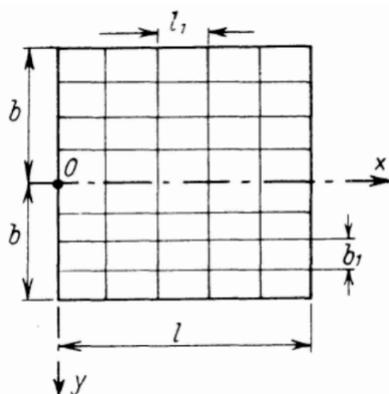


Figura 2. Distribuição das longarinas e transversinas no eixo cartesiano

Fonte: Bessa & Dala Costa (2014).

Para utilizar o método é necessário calcular a rigidez à flexão, equação (6), e à torção, equação (7), de todas as longarinas e transversinas, onde o (x) é trocado por (L) no caso das longarinas e por (T) no caso das transversinas. Além disso deve-se calcular os parâmetros por unidade de comprimento, como mostrados pelas equações (8) e (9), onde os referentes às longarinas são divididos por b_1 e os referentes às transversinas por l_1 .

$$B_x = E \cdot I_x \quad (6)$$

$$C_x = G \cdot I_{px} \quad (7)$$

$$\rho_x = \frac{B_x}{b_1 \text{ ou } l_1} \quad (8)$$

$$\gamma_x = \frac{C_x}{b_1 \text{ ou } l_1} \quad (9)$$

Esses parâmetros então são utilizados para calcular os valores dos parâmetros “ θ ” e “ α ” que são calculados pelas equações (10) e (11).

$$\theta = \frac{b}{L} \sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_T}} \quad (10)$$

$$\alpha = \frac{\gamma_L + \gamma_T}{2\sqrt{\rho_L \cdot \rho_T}} \quad (11)$$

Esses valores são utilizados para selecionar as tabelas que serão utilizadas, essas tabelas já calculadas por Massonet. No entanto as tabelas possuem apenas valores de α igual a 0 e 1, então deve ser feito uma interpolação dos valores para o α desejado, utilizando a equação (12), onde os valores de K_0 e K_1 são os valores tabelados para α igual a 0 e 1, respectivamente.

$$K_\alpha = K_0 + (K_1 - K_0)\sqrt{\alpha} \quad (12)$$

Este estudo tem por finalidade verificar a aplicabilidade e a convergência dos diversos métodos apresentados para uma ponte em viga bi-apoiada de MLC, com 10 vigas retas de seção retangular, com vão de 20 metros e largura de 11,65 metros.

Também tem como objetivo verificar a influência que o número de transversinas, no modelo de ponte proposto, causa na distribuição dos carregamentos aplicados no tabuleiro para as longarinas.

2 | METODOLOGIA

Para iniciar o estudo foi definido uma seção de ponte e o material utilizado baseando-se nas recomendações do trabalho de Wacker & Smith (2001). Para isso foi definido uma seção transversal da ponte composta por 10 longarinas como mostrada na figura 3, a ponte é bi-apoiada e possui um vão de 20 metros com transversinas com 0,13 metro de espessura.

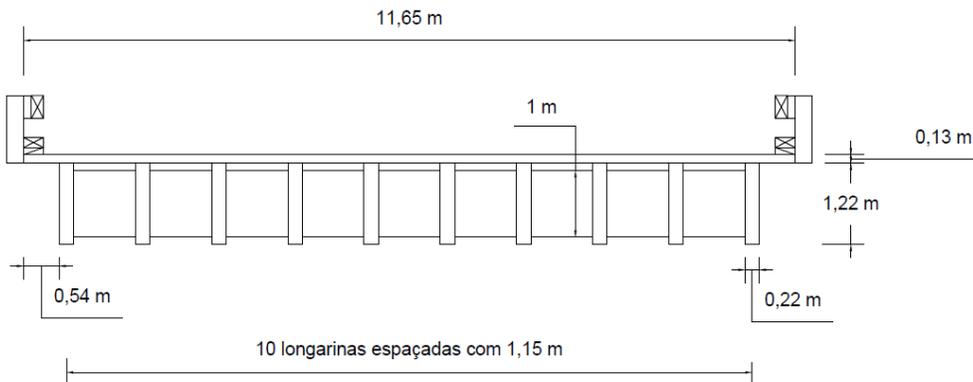


Figura 3. Seção transversal definida.

Fonte: autoria própria (2020).

A escolha do tipo de MLC que seria utilizado neste estudo foi feita de modo que pudesse ser padronizado do melhor modo possível em todos dos métodos analisados, analíticos e de elementos finitos, levando em consideração as recomendações de Wacker & Smith (2001). Para isso foi escolhido um dos materiais na biblioteca do software SCIA Engineer, v.19.1. O material selecionado e suas propriedades pode ser observado na figura 4.

Nome	GL 22h (EN 14080)
Independente da norma	
Tipo de material	Madeira
Expansão térmica [m/mK]	0,00
Massa unitária [kg/m ³]	410,0
Módulo E [MPa]	1,1032e+04
Coefficiente de Poisson	0
Módulo G independente	<input checked="" type="checkbox"/>
Módulo G [MPa]	6,5000e+02
Decréscimo Log. (amortecimento não uniforme apenas)	0,15
Cor	
Calor específico [J/gK]	6,0000e-01
Condutividade térmica [W/mK]	4,5000e+01
Comportamento do material para análise não linear	
Comportamento do material	Elástico
ECS	
Flexão (fm,k) [MPa]	22,0
Tração (ft,0,k) [MPa]	17,6
Tração (ft,90,k) [MPa]	0,5
Compressão (fc,0,k) [MPa]	22,0
Compressão (fc,90,k) [MPa]	2,5
Cisalhamento (fv,k) [MPa]	3,5
Módulo (E0,05) [MPa]	8800,0
Módulo (E 90 médio) [MPa]	300,0
Tipo de madeira	Colado, laminado

Figura 4. Propriedades do material GL22h.

Fonte: Scia Engineer v.19.1

Foram analisados 4 casos diferentes para a ponte variando no número de transversinas intermediárias que cada caso possui. Todos os casos possuem no mínimo 2 transversinas, localizadas na região do apoio. O primeiro caso não possui transversina intermediária, o segundo possui apenas uma transversina intermediária localizada no centro do vão, o terceiro caso possui duas transversinas intermediárias espaçadas igualmente entre si, e o quarto, e último caso, possui três transversinas intermediárias espaçadas igualmente entre si.

Para os resultados do método de Engesser-Courbon foi determinado o centro elástico da seção transversal da ponte, por se tratar de uma estrutura simétrica o mesmo coincide com o meio da seção, então foram medidos os distanciamentos dos eixos das longarinas em relação ao C.E. Com os dados obtidos, foi utilizada a equação (1) e foram obtidas 10 linhas de influência de reação de apoio, uma para cada longarina. Essa linha de influência é de forma linear, como pode ser visto nos resultados, devido ao comportamento de corpo rígido da estrutura.

Para os métodos de Leonhardt e de Fauchart foi utilizado a versão de avaliação do *software* americano SAP2000 v22, para que pudessem ser obtidos os valores das linhas de influência hiperestáticas.

Para o método de Leonhardt foram definidos 3 tipos de seções transversais retangulares, a do tabuleiro, das longarinas e das transversinas. Como o método não possui diferença no coeficiente K com 3 ou 4 transversinas, foram modelados apenas 3 casos, para todos foi criado um novo material nomeado de GL22h, com o módulo de elasticidade igual a 11032000, coeficiente de Poisson igual a 0,2 e peso específico igual a 4,0221, com o programa configurado com as unidades kN, m, C.

Como as longarinas não se comportam como corpos rígidos (apoios rígidos ou móveis), elas se deslocam verticalmente, foi adotado no lugar um apoio mola, sendo o coeficiente de mola desse apoio calculado utilizando o deslocamento causado em uma longarina bi-apoiada com uma carga unitária concentrada no meio do vão, com isso foi obtido um coeficiente de mola igual a 2203,57 kN/m.

No primeiro caso todas as seções possuíam a dimensão “*Width*” com 0,13 metro, a seção do tabuleiro possuía a segunda dimensão, “*Depth*”, com 0,13 metro, enquanto a longarina e a transversina possuíam 1,22 e 1,00 metros, respectivamente, a todas as seções foi atribuído o material GL22h. Nas duas extremidades da viga onde não existem transversinas foi aplicado a seção do tabuleiro, no restante da viga foram atribuídas as seções conforme elas existem na estrutura, longarinas e transversinas, como mostrado na figura 5.

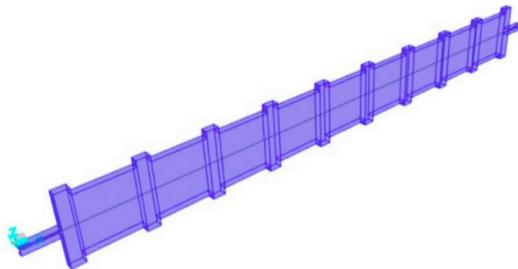


Figura 5. Representação da seção utilizada.

Fonte: autoria própria (2020)

Para o segundo caso, representando tanto a situação com 1 ou 2 transversinas intermediárias, todas as seções possuíam a dimensão “*Width*” com 0,21 metro e as dimensões “*Depth*” com os mesmos valores do primeiro caso, a todas as seções foi atribuído o material GL22h.

Para o terceiro caso, a dimensão “*Width*” de todas as seções possuía 0,26 metro e as dimensões “*Depth*” com os mesmos valores do primeiro e segundo caso, a todas as seções foi atribuído o material GL22h.

Para que sejam obtidas as linhas de influência deve-se determinar um “*path*” no qual é determinado o intervalo de discretização em que a carga unitária percorrerá. Determinado o intervalo de discretização, é necessário configurar a força unitária, criando um “*vehicle*” com “*Axle Load*” correspondente a 1. Por fim deve-se criar um caso de carregamento do tipo “*Moving Load*” com o “*vehicle*” e o “*path*” criados anteriormente, e mandar o programa processar a estrutura.

Para o método de Fauchart foram seguidos os mesmos passos que o de Leonhardt, foram criados o material (GL22h), “*path*”, “*vehicle*” e caso de carregamento, com as mesmas características descritas acima. Para os apoios foram calculados os coeficientes de mola utilizando as equações (4) e (5), resultando em $K_v = 223,59$ kN/m, e $K_t = 551,28$ kN/m.

Como o método de Fauchart é utilizado em pontes sem vigas intermediárias foi modelado apenas um caso. Nesse caso foram utilizadas 2 seções transversais retangulares para criar a viga que seria estudada, foi modelado o tabuleiro com “*Depth*” = 0,13 m e “*Width*” = 1,00 m, e a longarina com “*Depth*” = 1,35 m e “*Width*” = 1,00 m, a todas as seções foi atribuído o material GL22h. No método de Fauchart a espessura do tabuleiro é considerada junto com as longarinas, e ele é calculado para uma seção de um metro de largura, por isso todas as dimensões “*Width*” são de um metro.

Para o método de Guyon-Massonet foram calculados os parâmetros iniciais utilizando as equações (6), (7), (8) e (9), com os quais puderam ser calculados os parâmetros de travejamento (θ) e α , utilizando as equações (10) e (11). Para esse método foram calculados 4 valores de θ e α , devido a variação do número de transversinas

intermediárias em cada caso.

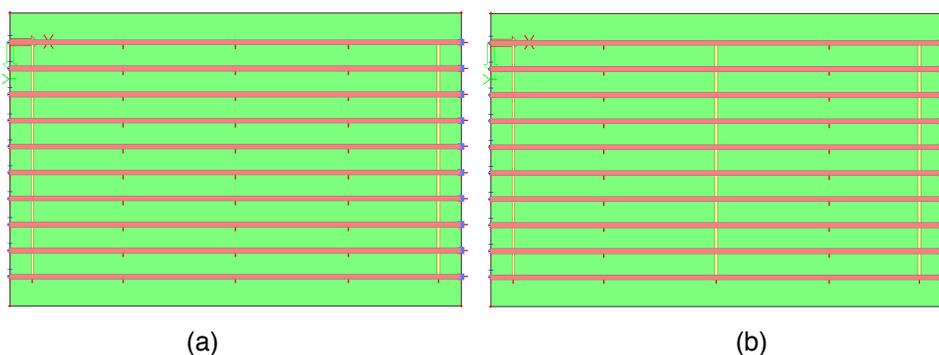
Para cada par de θ e α eram utilizadas as tabelas produzidas por Massonet, presentes na apostila de Ouézdou (2018). Como as tabelas não possuem todos os valores existentes de θ , os valores eram arredondados para o número superior mais próximo. Tendo sido selecionada a tabela correta, então utilizando a equação (12) eram calculados os coeficientes para o valor correto de α . No entanto, esses valores representavam os coeficientes calculados para placas, para obter os coeficientes semelhantes aos demais métodos foi necessário dividir os valores pela largura $2b$ da ponte e multiplicar pela largura de influência de cada longarina, para as longarinas externas o valor multiplicado era de 1,225 metro, enquanto para as demais era de 1,15 metro.

Para a modelagem em elementos finitos foi utilizado o *software* SCIA Engineer v.19.1. O SCIA Engineer é um *software* de análise e dimensionamento para estruturas capaz de fazer a análise de elementos finitos.

Para a modelagem foram utilizados elementos 1D e elementos 2D, ou seja, elementos unidimensionais e elementos bidimensionais. Os elementos 1D utilizados formaram as vigas da ponte, as longarinas e transversinas, já os elementos 2D formaram o tabuleiro da ponte. Para todos esses elementos foram atribuídos o material GL22h, mostrado na figura 4.

Foram feitas 4 modelagens da ponte, de modo a representar os 4 casos variando os números de transversinas intermediárias, como mostrado na figura 6.

Na figura 6 estão representados os diferentes elementos estruturais com cores diferentes, o tabuleiro com coloração verde, as longarinas com coloração vermelha e as transversinas com coloração amarelada.



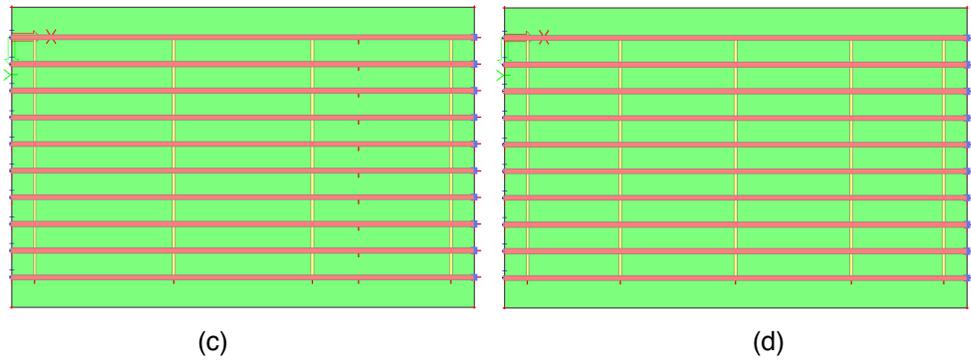


Figura 6. Vista inferior do tabuleiro (a) sem transversinas intermediárias, (b) com 1 transversina intermediária no centro do vão, (c) com 2 transversinas intermediárias equidistantes, (d) com 3 transversinas intermediárias equidistantes.

Fonte: autoria própria (2020).

As estruturas foram então carregadas com o trem tipo brasileiro TB-450, conforme recomendado pela norma NBR 7188 (2013), composto por 6 cargas concentradas de 75 kN cada, representando os eixos do trem tipo e circundado por uma carga uniformemente distribuída de 5 kN/m², como mostrado na figura 7.

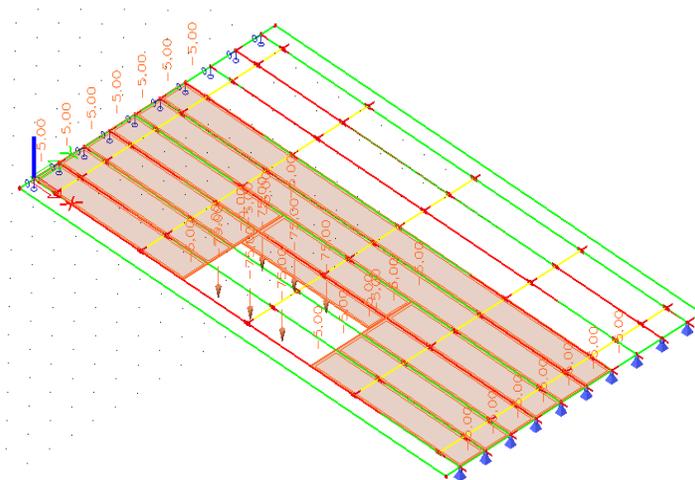


Figura 7. Modelo de elementos finitos carregado na posição mais crítica.

Fonte: autoria própria (2020).

3 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

Realizando os processos apresentados na metodologia deste estudo puderam ser obtidos os coeficientes de distribuição transversal de cargas dos métodos analíticos, representados na tabela 2.

	Engesser-Courbon	Leonhardt			Fauchart	Guyon-Massonet			
		0 T.I. ¹	1 ou 2 T.I.	3 T.I.		0 T.I.	1 T.I.	2 T.I.	3 T.I.
Borda esq.	0,4000	0,5102	0,4690	0,4554	0,5001	0,4599	0,3746	0,347	0,3208
V1	0,3455	0,4417	0,4126	0,4037	0,4243	0,3726	0,3151	0,2955	0,2765
V2	0,2909	0,3202	0,3123	0,3119	0,2881	0,2467	0,2271	0,219	0,2105
V3	0,2364	0,213	0,2215	0,2278	0,1723	0,1591	0,1635	0,1633	0,1623
V4	0,1818	0,1264	0,1443	0,1551	0,0903	0,0951	0,1123	0,1169	0,1207
V5	0,1273	0,0609	0,0818	0,0944	0,0393	0,0527	0,0737	0,0806	0,0868
V6	0,0727	0,0138	0,0324	0,0444	0,0113	0,0269	0,0463	0,0534	0,0602
V7	0,0182	-0,0188	-0,0066	0,0028	-0,0019	0,0125	0,0273	0,0329	0,0394
V8	-0,0364	-0,0416	-0,0385	-0,0330	-0,0070	0,0056	0,0142	0,0184	0,0230
V9	-0,0909	-0,0591	-0,0664	-0,0655	-0,0082	0,0030	0,0052	0,0071	0,0096
V10	-0,1455	-0,0747	-0,0928	-0,0968	-0,0081	0,0028	-0,0018	-0,0025	-0,0025
Borda dir.	-0,2055	-0,0835	-0,1078	-0,1145	-0,0080	0,0031	-0,0054	-0,0077	-0,0091

Tabela 2. Coeficientes de distribuição transversal para as vigas externas

Fonte: autoria própria (2020).

As figuras 8, 9, 10 e 11 ilustram a influência da distribuição transversal de cargas no tabuleiro de ponte estudado para cada um dos métodos analíticos.

¹ T.I. representa transversina intermediária

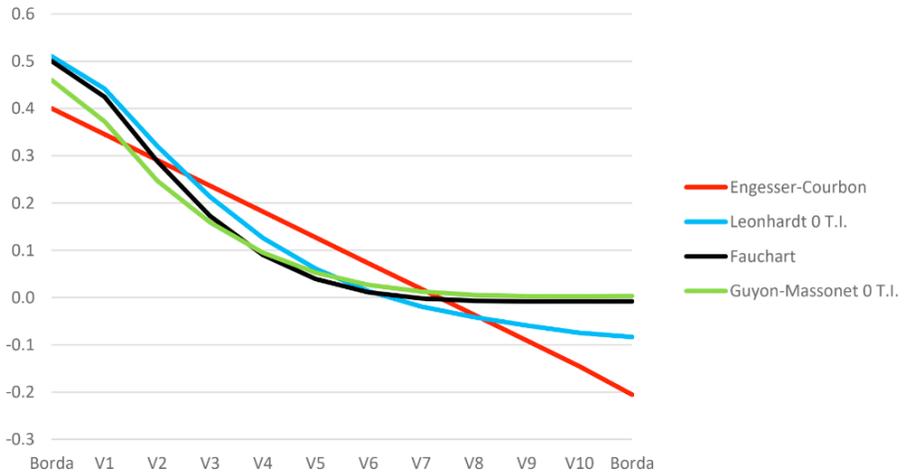


Figura 8. Coeficientes de distribuição transversal para ponte sem transversinas intermediárias.
 Fonte: autoria própria (2020).

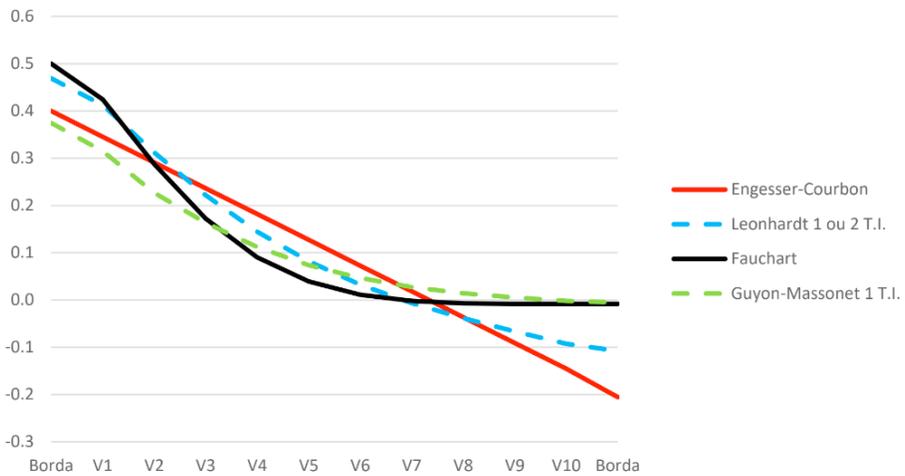


Figura 9. Coeficientes de distribuição transversal para ponte com 1 transversina intermediária no centro do vão.
 Fonte: autoria própria (2020).

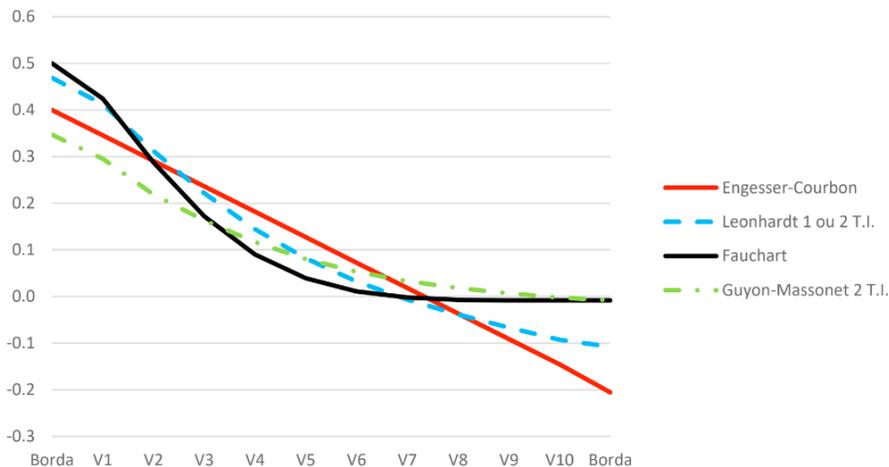


Figura 10. Coeficientes de distribuição transversal para ponte com 2 transversinas intermediárias equidistantes.

Fonte: autoria própria (2020).

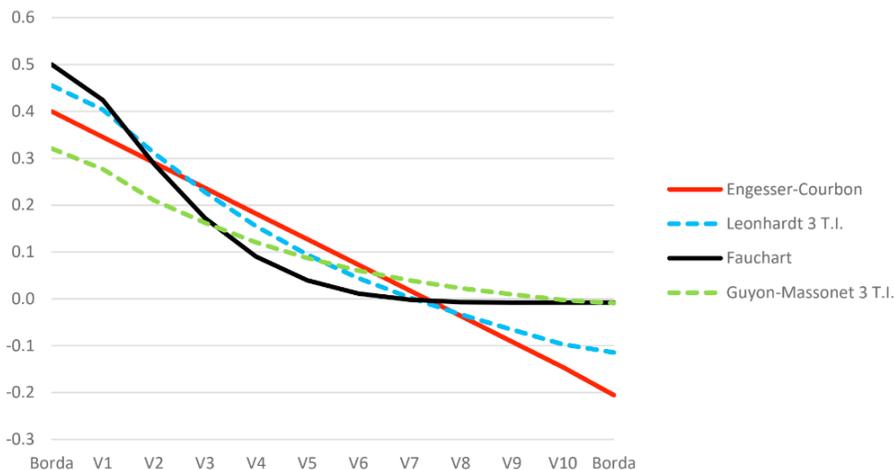


Figura 11. Coeficientes de distribuição transversal para ponte com 3 transversinas intermediárias equidistantes.

Fonte: autoria própria (2020).

O modelo de elementos finitos, ao contrário dos métodos analíticos, não retorna os coeficientes de redistribuição transversal, mas sim os valores de deslocamentos e esforços nos elementos estruturais. Para este estudo foram analisados os valores do deslocamento vertical u_z causados pela aplicação, exclusivamente, da carga móvel normatizada pela NBR 7188 (2013), aplicado na borda esquerda para proporcionar os maiores valores de

deslocamento nos modelos de ponte, apresentados nas figuras 12, 13, 14 e 15.

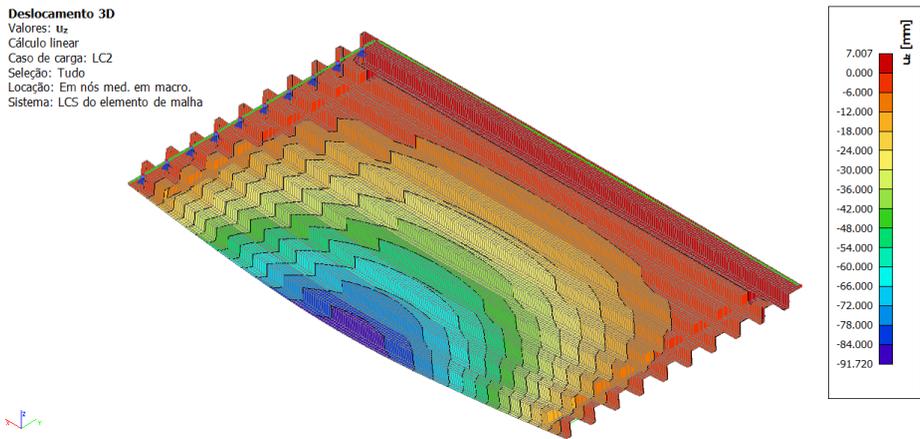


Figura 12. Estrutura deformada sem T.I. após aplicação do trem-tipo.

Fonte: autoria própria (2020).

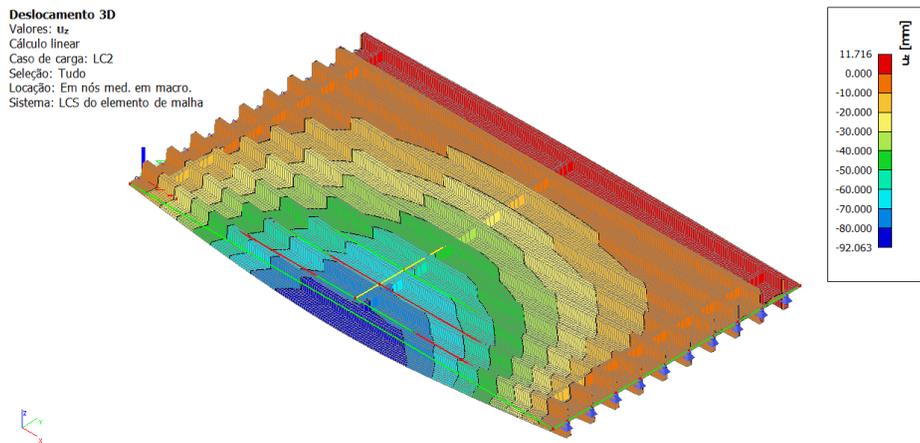


Figura 13. Estrutura deformada com 1 T.I. após aplicação do trem-tipo.

Fonte: autoria própria (2020).

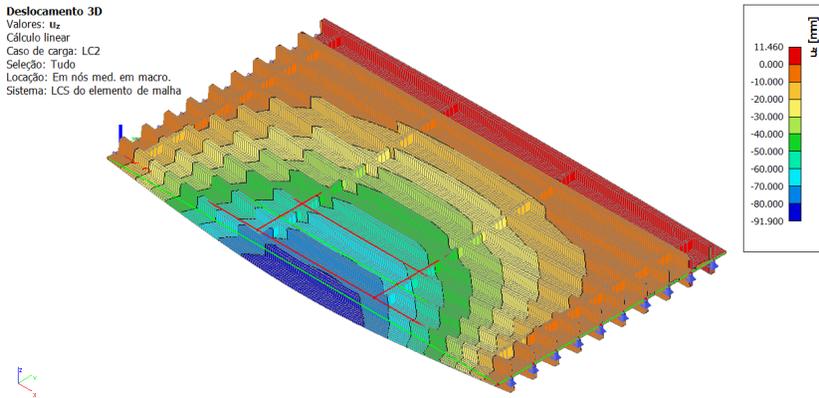


Figura 14. Estrutura deformada com 2 T.I. após aplicação do trem-tipo.

Fonte: autoria própria (2020).

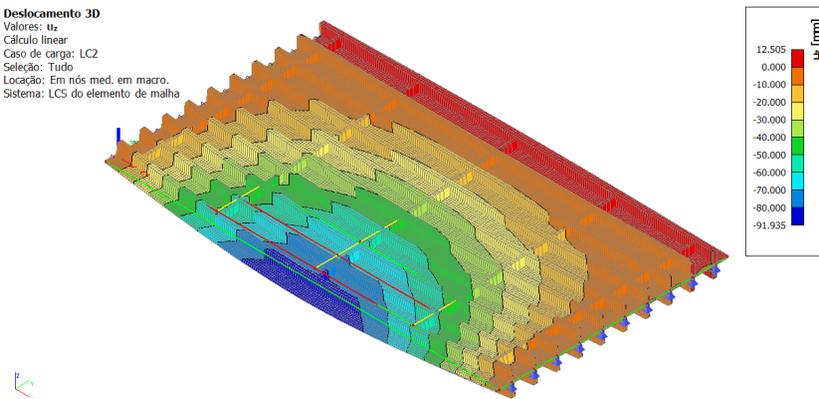


Figura 15. Estrutura deformada com 3 T.I. após aplicação do trem-tipo.

Fonte: autoria própria (2020).

Os valores dos deslocamentos máximos, obtidos das simulações das figuras 12, 13, 14 e 15, da longarina da borda esquerda são apresentados na tabela 3.

Caso	Deslocamento (mm)
Sem T.I.	87,571
1 T.I.	87,326
2 T.I.	87,258
3 T.I.	87,155

Tabela 3. Deslocamento máximo na longarina da borda esquerda.

Fonte: autoria própria (2020).

Foi escolhido um método analítico para ser comparado com o modelo de elementos finitos, como os valores obtidos pelo método de Engesser-Courbon para esse modelo de ponte não respeitava a condição imposta pela equação (2), foi utilizado o método de Leonhardt.

Para comparação dos resultados analíticos do método do Leonhardt e o resultado numérico em elementos finitos o veículo tipo é posicionado sobre a linha de influência obtida pelo método analítico, para obter os quinhões de parcela de carga na longarina externa do lado esquerdo, como mostrado na figura 16.

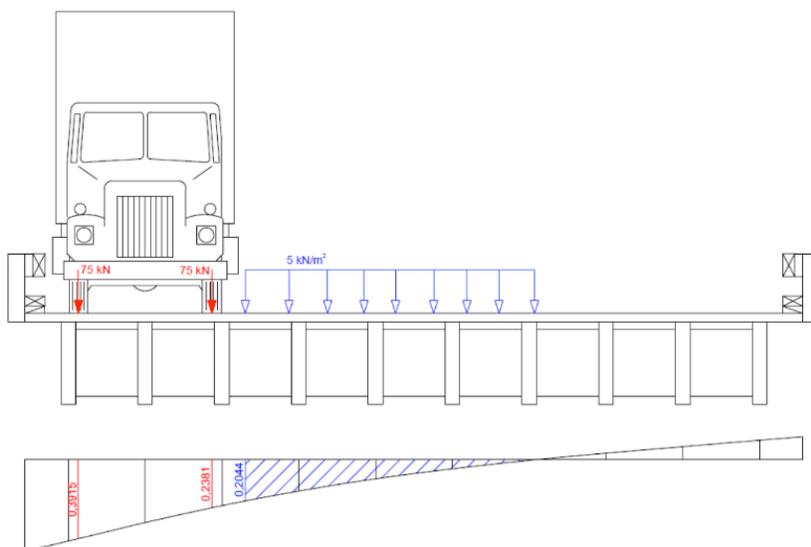


Figura 16. L.I. da V1 com TB-450 posicionado na região mais desfavorável.

Fonte: autoria própria (2020).

Obtidos os valores na linha de influência são calculados os carregamentos aplicados na longarina em estudo, nesse caso a longarina V1, conforme metodologia proposta por Júnior *et al.* (2018). De posse dos valores ajustados das cargas a longarina V1 foi analisada no *software* Ftool, para a obtenção do deslocamento máximo, como mostrado na figura 17.

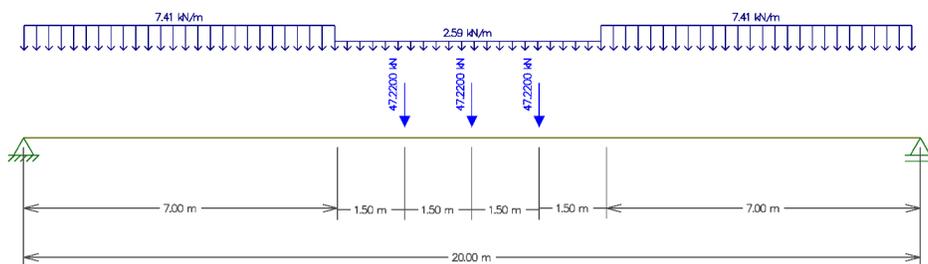


Figura 17. Posicionamento e valores da ação móvel sobre a longarina V1.

Fonte: autoria própria (2020).

Obtidos os valores das flechas para todos os casos do método de Leonhardt (sem transversinas; uma transversina; duas transversinas e três transversinas intermediárias), foi preenchida a tabela 4 para serem comparados os valores com os obtidos pelo MEF.

	Leonhardt (Ftool)	MEF	Diferença (%)
0 T.I.	94,560	87,571	-7,98%
1 T.I.	93,500	87,326	-7,07%
2 T.I.	93,500	87,258	-7,15%
3 T.I.	92,370	87,155	-5,98%

Tabela 4. Comparação do deslocamento máximo, em mm, da longarina de extremidade esquerda V1.

Fonte: autoria própria (2020).

Os valores apresentados na tabela 4 evidenciam que o modelo numérico em elementos finitos resulta em uma melhor distribuição de carga, quando comparado com o método analítico de Leonhardt. O método de Leonhardt considera que apenas as transversinas contribuem para a distribuição transversal de carga, como pode ser observado na equação 3. Já o modelo numérico em elementos finitos leva em consideração, além da rigidez das transversinas, também a rigidez da laje do tabuleiro, bem como a rigidez a torção das longarinas. Sendo assim a análise em elementos finitos resulta em um comportamento estrutural mais rígido que proporciona uma melhor distribuição de carga.

4 | CONCLUSÕES

Ao analisar os dados obtidos, verificamos que os métodos analíticos apresentam resultados com valores próximos, e conforme são aumentados os números de transversinas

na ponte os métodos tendem a se aproximar dos valores de Engesser-Courbon, devido ao aumento do número de transversinas resultar em um aumento da rigidez transversal do tabuleiro, aproximando-se da rigidez infinita caracterizada pelo método Engesser-Courbon.

No deslocamento do modelo em elementos finitos pode-se perceber a mesma tendência, ao ser aumentado o número de transversinas o deslocamento foi reduzido, implicando que houve uma melhor distribuição dos carregamentos por entre as longarinas, de modo que se fosse aumentado o número de maneira suficiente a ponte poderia adotar o comportamento de um corpo rígido.

A diferença entre os deslocamentos do modelo de elementos finitos comparados com o de Leonhardt foi de aproximadamente 8 %, podendo essa diferença ser causado devido as simplificações do método analítico, como por exemplo a desconsideração da rigidez a torção das longarinas, bem como a rigidez da laje do tabuleiro, enquanto o modelo numérico em elementos finitos leva em consideração essas contribuições.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7188**: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BAIERLE, F. A. **Contribuições a análise de pontes empregando o método dos elementos finitos**. 2016. 93p. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil – Universidade de Santa Cruz do Sul. Santa Cruz do Sul, 2016.

BESSA, F.C; DALA COSTA, B. P. **Concepção e Dimensionamento de Pontes em Madeira Roliça para Estradas Vicinais na Região Sudoeste do Paraná**. 2014. 96 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

CALIL JUNIOR, C., DIAS, A. A., GOÉS, J. L. N., CHEUNG, A. B., STAMATO, G. C., PIGOZZO, J. C., OKIMOTO, S. F., LOGSDON, N. B., BRAZOLIN, S., LANA, E. L., **Manual de projeto e construção de pontes de madeira**. São Carlos: Suprema, 252p. 2006.

FAUSTO, T. B. A. **Análise numérica de elementos estruturais de madeira-laminada-colada**. 2019. 73p. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2019.

JÚNIOR, M.A.L.L.; SILVA, B.M.N.B.; MATA, R.C. Análise comparativa entre trem-tipo da ABNT NBR 7188 :2013 com tipologias de caminhões licenciados pelo DNIT, no comportamento mecânico de pontes sobre duas longarinas.

KAESTNER, C. L. **Dimensionamento de longarinas protendidas com a consideração das etapas construtivas**. 2015. 182 p. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

LEONHARDT, F. **Construções de concreto**: Princípios básicos da construção de pontes de concreto, vol. 6. Rio de Janeiro: Interciência, 1979.

MASSONET, C. **Méthode de calcul des ponts à poutres multiples tenant compte de leur résistance à la torsion**, 1950. *International Association for Bridge and Structural Engineering publications*, vol. 10. Zurique, 1950.

MEDINO, U.A. **Análise comparativa entre os modelos analíticos de distribuição de cargas em tabuleiros de pontes com longarinas retas de Engesser-Courbon e Guyon-Massonet com o modelo das reações de apoio proposto**. 2016. 137 p. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2016.

OLIVEIRA, C. J.; FIGUEIREDO, D.; FRANZKE, P. D.; OLIVEIRA, L. O. S. Distribuição de cargas na seção transversal de pontes com vigamento múltiplo. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO*, 59., 2017, Bento Gonçalves. **Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto**. Bento Gonçalves, 2017.

OUÉZDOU, M. B. **Cours d'ouvrages d'art: Tome 2 – Dimensionnement**. *Universite Tunis El Manar, École Nationale d'Ingénieurs de Tunis - Département de Génie Civil*, 2018.

RITTER, M. A. **Timber Bridges: Design, Construction, Inspection, and Maintenance**. 944 p. Washington, DC, 1990.

STEFEL, C.; MORO, D. **Dimensionamento de uma ponte de madeira para regiões rurais**. 2013. 63 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Produção Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

WACKER, J. P.; SMITH, M. S. **Standard plans for timber bridge superstructures**. *General Technical Report FPL-GTR-125*. 53 p. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2001.

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 04/01/2021

Giovanna de Souza Florenzano

AEDB – Associação Educacional Dom Bosco
Resende- RJ

Júlio César Brasil Júnior

AEDB – Associação Educacional Dom Bosco
Resende- RJ

Hugo Nascimento Barroso

AEDB – Associação Educacional Dom Bosco
Resende- RJ

Mariana Mattos dos Reis

AEDB – Associação Educacional Dom Bosco
Resende- RJ

Ylthar Ramos

AEDB – Associação Educacional Dom Bosco
Resende- RJ

RESUMO: No decorrer dos anos, foi constatado um grande número de acidentes causados por erros de engenheiros, não só em construção civil, mas em todas as outras áreas da engenharia, ao redor do mundo, tanto em seu planejamento, quanto durante a fase de execução e o seu uso. A divulgação e disseminação pelo meio técnico e acadêmico são de extrema importância, pois é algo que pode servir de aprendizado para construções e projetos futuros com informações valiosas para o progresso da engenharia. O artigo abordará algumas situações de acidentes

causados por falta de uma análise correta e erros de cálculo na engenharia com os seus momentos específicos em que ocorreram além de propor uma nova abordagem para a maneira de se formar um engenheiro na atualidade visando assim um método de melhoria continua.

PALAVRAS-CHAVE: Acidentes – Engenharia Civil - Erros de Cálculo.

MISCALCULATIONS IN ENGINEERING

ABSTRACT: Over the years, a great number of accidents caused by errors of engineers, not only in construction, but in all other engineering areas, around the world, both in their planning and in the execution and its use. Disclosure and dissemination through the technical and academic environment are of the utmost importance, as it can serve as learning tool for future projects and constructions with valuable information for engineering progress. The article will address some accident situations caused by lack of a correct analysis and engineering miscalculations with their specific moments in which they occurred *in addition to proposing a new approach to the way of forming an engineer today aiming at a method of continuous improvement.*

KEYWORDS: Accidents – Civil Engineering - Miscalculations.

1 | INTRODUÇÃO

O cálculo é um dos ramos mais importantes da matemática e da engenharia, desenvolvido à partir da álgebra e da geometria, dedicando-se aos estudos das taxas de variação

de grandezas e a acumulação de quantidades. Desenvolvido por Isaac Newton e Gottfried Wilhelm Leibniz com a finalidade de ser uma ferramenta que auxilie em várias áreas das ciências exatas, seja na matemática, química, física clássica, moderna e economia; e são divididas em três bases: cálculo de limites, cálculo de derivadas das funções e integrais. É fundamental na formação dos engenheiros, seja qual for o seu campo. É usada na construção de edifícios, estradas, túneis, metros, barragens, portos, aeroportos, fabricas, desenvolvimento de maquinas, entre outros.

Por mais que sejam evitados ao máximo, erros de cálculo são mais frequentes na engenharia do que se esperam. É uma das profissões com mais responsabilidade, pois um simples erro pode fazer com que um projeto de anos venha ao desabamento, a cada erro inúmeras vidas podem ser perdidas, e é por isso que vários engenheiros trabalham em um projeto para que ele não venha a falhar, seja na execução do projeto, ou no momento em que são feitos os cálculos. erros são inadmissíveis.

2 | METODOLOGIA

Neste estudo iremos apresentar alguns erros de cálculo que aconteceram no setor da engenharia, retratando alguns casos que ocorreram e seus impactos causados, mostrando também como poderiam ter sido evitados, passaram por um processo experimental onde: em um primeiro momento houve uma aula de Metodologia

A partir de uma pesquisa exploratória de perfil qualitativa onde foi aceito como premissa que o método de ensino tradicional, ou seja, aulas expositivas somente, é de certa forma menos eficaz que o método cooperativo. Portanto partimos primariamente para um estudo da qualidade de ensino e em segundo plano uma pesquisa detalhando a *pedagogia Freinet* (2009) ou pedagogia cooperativa, para a análise teórica. Primeiramente foi desenvolvido um questionário que consiste em avaliar o conhecimento de cálculo integral e diferencial, dos alunos da FER (Faculdade de Engenharia de Resende) onde os participantes, cientes do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e, após a realização do mesmo esses dados foram analisados e logo após foi notado uma taxa de erros alta, portando como próxima etapa de nossa pesquisa será, abordar os alunos inicialmente com a pedagogia cooperativa, introduzi-los ao processo, e então aplicar um novo questionário para assim obter uma possível comprovação da premissa inicial e assim portanto melhorar não somente a qualidade de ensino mas também, a capacidade de aprendizagem dos alunos de engenharia.

3 | DESENVOLVIMENTO

Cálculo, desenvolvido em meados do século XVII simultaneamente por Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) e por Isaac Newton (1643-1727), em trabalhos independentes.

Mesmo com toda a sua eficácia, o cálculo continua passível ao erro humano, levando isso a diversos acidentes e catástrofes registrados.

O ser humano, incapaz de aproximar-se da perfeição, assemelha-se a uma máquina capaz de trazer à realidade as maravilhas da engenharia. A necessidade dos cálculos na engenharia, a natureza dessa profissão onde se resume em construir os pilares da vida em sociedade e além de ser a vanguarda evolutiva da mesma, a diversidade de cálculos a serem utilizados é: estrutural; numéricos (séries de MacLaurin e aritmética do ponto flutuante, por exemplo.); físicos; mecânicos; estatísticos e probabilísticos.

Com isso, os erros na engenharia, sejam eles pequenos ou grandiosos, acabam infelizmente fazendo parte do mundo em que vivemos. Dentre esses, casos como: *Tacoma Narrows Bridge* no estreito de Tacoma em Washington no ano de 1940; *Hyatt Regency Hotel* em Kansas City e o foguete Ariane 5. Nos dois primeiros casos citados, o erro principal relatado devia-se aos cálculos estruturais, dilatação, tensões e etc. Já em relação ao foguete, um erro de cálculo numérico (*overflow*) foi o grande responsável pelo desastre.

Uma solução que pode ser aplicada de forma simples a fim de evitar tais casos, porém eficaz, seria a efetivação de um sistema onde o time de projetos fiscalize mutuamente as conclusões matemáticas de seus companheiros com isso a colaboração do time aumentaria a redução de erros além de eliminar custos seja em quais áreas sejam aplicadas.

3.1 Tacoma Narrows Bridge

Um caso emblemático em todo o mundo, principalmente na engenharia, foi o da ponte de Tacoma (Figura 1), intrigando cientistas e engenheiros que nas equações diferenciais, procuram qual seria a resposta para o acidente que ocorreu no verão de 1940.

Situada no condado de Pierce (Washington, EUA), a ponte tinha um modelo de pênsil com dois pilares, que se caracterizava por possuir um suporte simples de duas vigas em I, paralelas, composta por uma pequena estrutura interna, possuindo um suporte de 2,4 metros de espessura. Durante as correntes de vento não tão intensas, os engenheiros perceberam que a estrutura da ponte tinha a tendência de oscilar transversalmente, levando a ensaios para se reduzir as vibrações, porém nenhum teve plena eficácia.

Foi no dia 07 de novembro de 1940, as onze horas que os primeiros pedaços da ponte começam a cair devido a fortes rajadas de vento que atingiam o local, em seguida, foram os cabos de aço que começaram a ser arrancados, causando uma queda de uma seção estimada em 600 metros. Após dez minutos o restante da estrutura da ponte cai sobre a enseada de Puget Sound. A única vítima fatal do acidente foi um cão de um repórter que estava no local.

Dois fatores foram de grande importância para a fragmentação da estrutura do vão (Figura 2): a falta de rigidez transversal e à torção e o perfil aerodinâmico. Após o ocorrido, engenheiros e cientistas entraram em uma busca para que os fenômenos ondulatórios fossem mais bem entendidos, culminando assim em um grande avanço no campo das

engenharias, mais precisamente à aerodinâmica de estruturas.

A ressonância é um fenômeno linear, como podemos perceber na equação diferencial (Equação 1):

Equação 1: Equação diferencial da ressonância

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2x + F_0 \sin \gamma t, \quad x(0) = 0, \quad x'(0) = 0$$

Para haver ressonância, é necessário que o sistema seja livre de amortecimento (fazendo $\lambda = 0$ na equação abaixo) (Equação 2):

Equação 2: Equação diferencial da ressonância

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\lambda \frac{dx}{dt} + \omega^2x = F(t)$$

Além do fenômeno da ressonância, outros fatores contribuíram para a queda da ponte de Tacoma.

Uma explicação contundente parece vir dos modelos apresentados por McKenna, (et al) (1967), *Large-Amplitude Periodic Oscillations in Suspension Bridges: Some New Connections with Nonlinear Analysis*, Lazer e McKenna teorizam que os fatores principais que ocasionaram a danificação e consequente colapso da ponte *Tacoma Narrows* foram os *efeitos não lineares*. Em termos gerais, seriam responsáveis as interações não lineares entre a ponte e as forças externas (gerando vórtices, causados pela ação dos ventos, como previa von Kármán).

Lazer-McKenna apresentou um modelo onde explica que quando cabos verticais (na teoria linear, os cabos atuam como uma mola elástica) estão sob efeito da tensão, agem exatamente desta maneira e a equação diferencial é linear.

Os cabos de aço não estarão a todo o momento sob tensão em oscilações provocadas por forças externas, havendo apenas a força da gravidade atuando no sistema. De acordo com Lazer-McKenna a não linearidade dá-se ao fato de que cabos diferentes podem estar sob tensão em diferentes momentos, acarretando consequentemente em oscilações de grandes amplitudes, havendo atuação de forças externas moderadas.

3.2 Hyatt Regency Hotel

Com passarelas compostas por estruturas metálicas, contendo madeira para revestimento e rampa de concreto para ligação com o piso de blocos. A mesma era sustentada por três vigas transversinas de seção retangular obtidas através da soldagem de duas peças de Perfil C e através das transversinas as passarelas eram por tirantes de aço ao teto.

A tragédia ocorreu quando aproximadamente 2000 pessoas estavam reunidas para

uma competição de dança, incluindo uma emissora de televisão local, KMBC TV. Por volta de 19 horas, as passarelas do quarto e segundo andar entraram em colapso, caindo no chão átrio do hotel.

Com ajudas das imagens obtidas no dia do acidente, foi determinado o número de pessoas que estavam na passarela e com cálculos, o valor de carga que a estrutura estava submetida. Foram estabelecidas, de acordo com o projeto original, condições de escoramento idênticas para as três passarelas, porém com análise e realização de cálculos, foi concluído que as passarelas no projeto suportariam 60% da carga mínima exigida pelo Kansas City Building Code. Com as alterações realizadas no projeto, as passarelas do segundo e quarto andar foram construídas suportando apenas 30% da carga mínima.

Foi concluído, após longas investigações, que a mudança do projeto dobrou a carga suportada pelas vigas e as conexões da passarela do quarto andar, um erro que jamais poderia ter sido concluído.

3.3 Foguete Ariane 5

Na França, dia 4 de junho de 1996, foi lançado o primeiro foguete não tripulado da série Ariane 5 (Figura 4), contudo seu lançamento não durou muito tempo. Menos de um minuto após sair do chão, o foguete se autodestruiu. A falha no lançamento foi causada por um erro no software de controle.

O erro de overflow ocorre quando se tem um valor atribuído a uma variável que é maior do que o maior valor que esta variável consegue representar. Havendo um sistema decimal que apresenta os valores de 0 a 9, se tentássemos atribuir o resultado da operação $5+5$ em uma variável deste tipo, o resultado seria um overflow, resultando falhas na execução de uma programação.

A anomalia interna de *software* do SRI ocorreu durante a execução de uma conversão de dados de um número de 64 *bits* em ponto flutuante para um inteiro de 16 *bits* com sinal. O valor do número em ponto flutuante era maior do que poderia ser representado pelo inteiro de 16 *bits* com sinal. O resultado foi um operando inválido. A instrução de conversão de dados (em código ADA) não estava protegida contra erros de operando, embora outras conversões de variáveis equivalentes no mesmo segmento de código estivessem protegidas.

O erro ocorreu num segmento do *software* que controla apenas o alinhamento da plataforma inercial. Os resultados fornecidos por este segmento do código são relevantes apenas antes da decolagem. Após a decolagem esta função não serve para nada. A função de alinhamento opera por 50 segundos após o início do modo de voo dos SRIs (3 segundos antes da decolagem para o Ariane 5). Consequentemente, após a decolagem a função continua atuando por aproximadamente 40 segundos de voo. Esta sequência temporal é baseada num requisito do Ariane 4 que não faz parte da especificação do Ariane 5.

O erro de operando ocorreu devido a um valor inesperadamente elevado de uma

função de alinhamento interno, denominada BH (horizontal *bias*), que está relacionada com a componente horizontal da velocidade monitorada pela plataforma. Este valor é calculado como um indicador de precisão de alinhamento ao longo do tempo. O valor de BH foi muito maior do que o previsto porque o segmento inicial da trajetória do Ariane 5 difere da trajetória do Ariane 4 e resulta em valores consideravelmente altos para a componente horizontal da velocidade.

Os eventos internos do SRI que originaram a falha foram reproduzidos por simulação computacional. Além disso, ambos os SRIs foram recuperados durante a investigação da comissão e o contexto da falha foi determinado com precisão por meio da leitura dos dados na memória. Tendo a comissão examinado o código do software, concluiu que este é consistente com o cenário da falha.]. (trecho retirado do boletim da sbmac).

4 | CONCLUSÃO

Portanto a partir desse breve estudo com os erros abordados, partimos como possível solução o ensino em conjunto utilizando os princípios da pedagogia cooperativa, assim como visto em. *Pedagogia Freinet*. (2009), o estudante, na posição de construtor do próprio conhecimento podendo assim melhorar a eficiência do ensino. Com isso, a partir de estudos futuros, será possível comprovar uma real possibilidade de melhora na atuação das equipes de engenharia hoje existentes, entretanto sendo principalmente focado em ser uma possibilidade de melhora no atual sistema de ensino para assim então gerarmos futuros engenheiros mais capazes.

REFERÊNCIAS

McKenna, P. Joseph e Walter W., Nonlinear oscillations in a suspension bridge, Arch. Rational Mech. Anal., 98 (1987), pp. 167-177.

Alan C. Lazer e Patrick J. McKenna. Large-Amplitude Periodic Oscillations in Suspension Bridges: Some New Connections with Nonlinear Analysis.

Amann, O. H., T. von Karman, e Woodruff, G. B. The Failure of the Tacoma Narrows Bridge. Federal Works Agency, 1941.

von Karman, T. *The Wind and Beyond*, Theodore von Karman, Pioneer in Aviation and Pathfinder in Space, Boston: Little, Brown, 1967.

Cavalcanti. Ponte Tacoma Narrows, 1940 – Um estudo dos efeitos não-lineares.

Henry Petroski. To Engineer is Human: The Role of Failure in Successful Design, Vintage Books, 1992.

Boletim SBMAC. Versão condensada do relatório sobre a falha no primeiro lançamento do Ariane 5, em parte baseada no texto do SIAM NEWS, V29 N. 8, out/96.

IMBERNÓN, Francisco. Pedagogia Freinet. Penso Editora, 2009

CAPÍTULO 4

PERCEPCIÓN DE LOS ALUMNOS SOBRE LA UTILIZACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA EN LA ASIGNATURA DE DISEÑO DE HORMIGÓN REFORZADO

Data de aceite: 01/04/2021

Gláucia Nolasco de Almeida Mello

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Belo Horizonte – MG

RESUMEN: Para el Ingeniero Civil, una de sus principales actividades es el desarrollo de diseño y, de esta manera, su implicación con dibujos y representación de estructuras es intensa. Así, la habilidad de visualización espacial y rotación mental es especialmente importante para ese profesional. De esa manera, la motivación general de esta investigación fue planear y desarrollar actividades utilizándose aplicación para móviles con los recursos de la realidad aumentada, para las disciplinas de dibujos de hormigón reforzado en el curso de Ingeniería Civil. Se desarrolló cuatro actividades utilizándose los recursos de realidad aumentada con la aplicación Sketchfab. Treinta y ocho alumnos hicieron las actividades y respondieron a un cuestionario que fue utilizado como instrumento para evaluar la percepción de los alumnos acerca de la utilidad, facilidad de uso, motivación e intención de uso de los recursos para el aprendizaje de los contenidos de la asignatura. Casi todos los alumnos creen que los recursos empleados son muy relevantes para el aprendizaje, hacen el aprendizaje más divertido y facilitan la visualización de los detalles de las estructuras. En ese contexto, se concluye que, mientras haga mucho que investigar aun, la RA es un recurso importante para mejorar

la habilidad de visualización espacial de los estudiantes de ingeniería y por consecuencia el desempeño de estructuras.

PALABRAS-CLAVE: Diseño estructural. Hormigón reforzado. Visualización espacial. Realidad aumentada.

STUDENTS' PERCEPTION ABOUT THE USE OF AUGMENTED REALITY IN REINFORCED CONCRETE DESIGN COURSE

ABSTRACT: The design is one of the main activities of Civil Engineer, so his involvement with drawings and representation of structures is intense. In this way, the spatial visualization competence and mental rotation is especially important for that professional. The motivation of this research was to plan and develop activities using a mobile application with augmented reality resources, for the disciplines of reinforced concrete design in the Civil Engineering course. Four activities were developed using the augmented reality resources with the Sketchfab platform. Thirty-eight students did the activities and answered a questionnaire that was used as an instrument to assess the students' perception of the usefulness, ease of use, motivation, and intention to use the resources for learning the content. Almost all students believe that the resources used are truly relevant to learning, make learning more fun and facilitate the visualization of the details of the structures. In this context, it was concluded that, while there is still a lot of research to be done, augmented reality is an important resource to improve the spatial

visualization skill of engineering students and consequently the performance of structures.

KEYWORDS: Structural design. Reinforced concrete. Spatial visualization. Augmented reality.

1 | INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO

Las edificaciones de estructuras de hormigón, acero, madera o de otro material, con sus arreglos complejos de los elementos estructurares, son comúnmente representados en un conjunto de dibujos en dos dimensiones. En los dibujos son indicadas la cantidad, la longitud y el diámetro de los aceros y, también, sus posiciones dentro de los elementos estructurales, o sea, toda la información necesaria para la ejecución exitosa de la estructura. En las universidades se han utilizado los dibujos y las imágenes estáticas, bidimensional (2D) o tridimensional (3D), para transmitir la complejidad de estos arreglos y sus modos de interacción. De acuerdo con Fogarty, McCormick y El-Tawil (2018), la representación 2D requiere que los estudiantes construyan una imagen del elemento estructural o conjunto de varios elementos con información y experiencia limitadas. Además, combinado eso con la falta de énfasis en dibujos bidimensionales de las estructuras tridimensionales en los cursos ingeniería civil pueden obstaculizar la capacidad de los estudiantes de visualización espacial de los arreglos en dos dimensiones. Visualizar arreglos espaciales y complejos puede ser un desafío para algunas personas aún más cuando hay la deformación o el movimiento de estos arreglos en varios escenarios de carga u otros estímulos externos. De acuerdo con Maier (1994 apud SORBY, 2001), para profesiones tecnológicas como por ejemplo la ingeniería, la habilidad de visualización espacial (HVE) y rotación mental es especialmente importante.

1.1 Habilidad de Visualización Espacial (HVE)

Lin (2016) ha presentado algunas pruebas para evaluar la HVE de los estudiantes. En ese conjunto de pruebas se encuentra la de la Universidad de Purdue - *Purdue Spatial Visualization Test* (PSVT), que fue utilizada por Sorby y Veurink (2012) para evaluar la capacidad de visualización espacial de estudiantes estadounidenses y de otras partes del mundo. En la investigación de estos autores, ellos concluyen que las diferencias culturales en la educación preuniversitaria entre los estudiantes estadounidenses y particularmente de aquellos países de los cuales son reclutados a la mayoría de los estudiantes internacionales en Estados Unidos, son probablemente un factor importante que caracterizan las habilidades espaciales poco desarrolladas. Segil et al. (2017) también investigaron la capacidad de visualización espacial de estudiantes de varias partes del mundo en la universidad estadounidense. Los autores (SEGIL et al., 2017) han propuesto un *workshop* para los estudiantes que no han obtenido la media necesaria en la prueba PSVT y, ellos concluyeron que el entrenamiento fue efectivo, pero no suficiente.

Con la finalidad de mejorar HVE en el alumno, Mello, Maia y Calixto (2016) han planeado y desarrollado un sitio en la internet para la enseñanza de proyectos de hormigón

reforzado. Entre otras actividades el sitio tenía una aplicación web para calcular elementos estructurales (vigas y columnas) de hormigón reforzado. Por medio de la aplicación los alumnos podrían interactuar con el programa informático y determinar la rotación de la estructura. La aplicación fue desarrollada en lenguaje de programación Java, con recursos Java 3D. Fogarty, McCormick y El-Tawil (2018) han investigado el uso de herramientas de realidad virtual para ayudar a los estudiantes a comprender lo complejo del concepto de pandeo en estructuras de ingeniería. Este estudio de métodos mixtos analiza los exámenes previos y posteriores que cubren temas que requieren habilidades de visualización espacial, así como también encuestas y entrevistas a los estudiantes que usan las herramientas de realidad virtual. Los resultados cuantitativos indican que los estudiantes pueden identificar y visualizar los modos de pandeo de forma más precisa después de la experiencia de realidad virtual. Cualitativamente, los estudiantes expresan una mejor comprensión, mayor entusiasmo por el tema y mayor deseo de que otros temas sean presentados usando herramientas de realidad virtual.

1.2 Realidad Aumentada

Segundo Azuma (1997), señala que la realidad aumentada es cualquier sistema que tenga las tres siguientes características: combina el mundo real y virtual, es interactivo en tiempo real y está registrado en tres dimensiones. Realidad aumentada (RA) es un campo de investigación en ciencias de la computación que combina realidad y datos digitales, esto es, emplea visión por computadora, procesamiento de imágenes y técnicas gráficas para fusionar contenido digital en el mundo real. Cabero y Barroso (2016) en la presentación de las posibilidades de utilización de RA en la educación mostraron algunas ventajas del uso de ese recurso: (1) ayudan en la adquisición del conocimiento que se vuelve esencial para relacionar y comprender los conceptos aprendidos por medio de la interacción con los recursos de RA con el entorno real; (2) promueven un aprendizaje más personalizado de modo que cada alumno pueda progresar al ritmo marcado por sus propias capacidades e intereses y; (3) propician a los estudiantes un mayor nivel de interacción y exploración tanto sobre información como sobre objetos.

1.3 Modelo TAM para Evaluación de la Percepción del Alumno

El modelo de aceptación de tecnología (*Technology Acceptation Model* - TAM) fue adaptado de la teoría de la acción razonada (*Theory of Reasoned Action* - TRA) por Davis en 1986 (ABDULLAH y WARD, 2016) para explicar el comportamiento de una persona para la adopción de tecnología (DAVIS, 1989). En el modelo TAM, se proponen algunas variables para delinear el impacto de los factores externos en las dos percepciones principales del usuario en relación con el uso de la tecnología: (1) la facilidad de uso percibida y (2) la utilidad percibida. Según Davis (1989), el primero influye directamente en el segundo y ambos influyen en las actitudes positivas o negativas de los usuarios

con respecto al uso de la tecnología. La actitud hacia el uso de la tecnología influye en la intención de comportamiento de usar la tecnología. Y, la intención de comportamiento de usar la tecnología determina el uso real (DAVIS, 1989; ABDULLAH y WARD, 2016). La Figura 1 muestra el esquema del modelo TAM, según Davis (1989).

El modelo TAM propone que sean identificadas las diferentes variables externas que pueden incidir en la utilidad y la facilidad de uso percibidas por los usuarios de tecnología. De acuerdo con Cabero y Pérez (2018), aún que diferentes estudios han sugerido nuevas propuestas y el modelo ha evolucionado a lo largo del tiempo, él permanece esencialmente compuesto de un conjunto simple de variables identificadas, como en la formulación original, que se presentan como robustas y confiables.

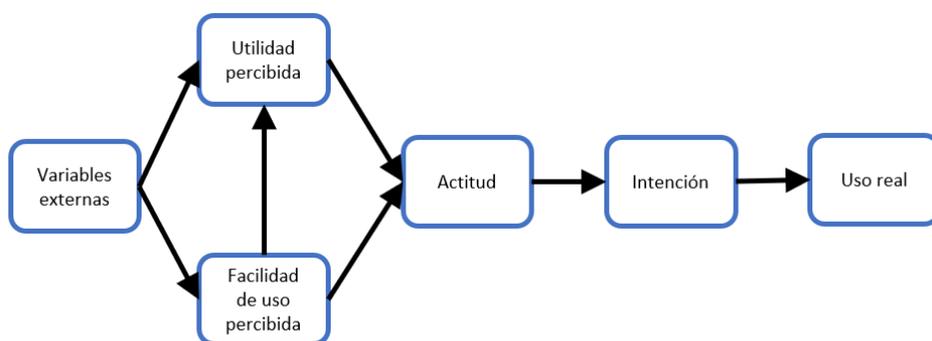


Figura 1 – Modelo TAM

Fuente: Adaptado de Al-Emran, Mezhuyev y Kamaludin (2018)

1.4 Objetivos

Aunque los investigadores han evidenciado los factores principales que comprometen el proceso de enseñanza y aprendizaje in ingeniería (MOLYNEAUX et al. 2007; MELLO, 2016), en especial la dificultad que tienen los estudiantes de ingeniería en la visualización espacial (SORBY, 2001; MELLO, MAIA y CALIXTO, 2016; FOGARTY, MCCORMICK y EL-TAWIL; 2018), hay mucho que hacer para mejorar la HVE de los estudiantes en la enseñanza de ingeniería de estructuras. En este escenario, la motivación general de esta investigación es planear y desarrollar actividades utilizándose aplicación para móviles con los recursos de la realidad aumentada, para las disciplinas de hormigón reforzado en el curso de Ingeniería Civil.

2 | METODOLOGÍA

El presente proyecto es una investigación descriptiva con enfoque cualitativo para

validar la metodología y las herramientas elegidas para las actividades desarrolladas con el objetivo de establecer si el uso de la RA motiva y ayuda el aprendizaje del alumno en las asignaturas de hormigón reforzado.

Fue elegida la asignatura de Expresión Gráfica en el cuarto año de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica de Minas Gerais en Brasil. En esa asignatura los alumnos no solo deben interpretar los dibujos hechos como también deben representar, en dibujos 2D, toda la estructura de hormigón reforzado ya calculada. Fueran desarrollados cuatro modelos 3D para RA por medio de Sketchup (<https://www.sketchup.com>) y, las cuatro diferentes actividades planeadas fueran realizadas utilizándose la aplicación Sketchfab (<https://sketchfab.com/feed>) para RA. Los temas contemplados con los contenidos en RA son dibujos de losas y vigas de hormigón reforzado, con enfoque en los detalles de dibujos para las barras de acero que son utilizadas para refuerzo del hormigón.

En las clases prácticas realizadas en el laboratorio de informática, se utilizaron los modelos tridimensionales disponibles en la plataforma Sketchfab web. En ese modelo había instrucciones adicionales para realizar las tareas solicitadas, por ejemplo, relacionar el refuerzo representado en el proyecto 2D con el correspondiente en el modelo 3D. Estas actividades se realizaron en el laboratorio accediéndose la plataforma Sketchfab. Las Figuras 2 y 3 presentan el modelo 3D para una viga. El modelo representado en la Figura 2 se accede a través del teléfono móvil. Por medio de la plataforma web se accede el modelo de la Figura 3.



Figura 2 - Modelo 3D en la aplicación Sketchfab para teléfono móvil

Fuente: Elaboración propia

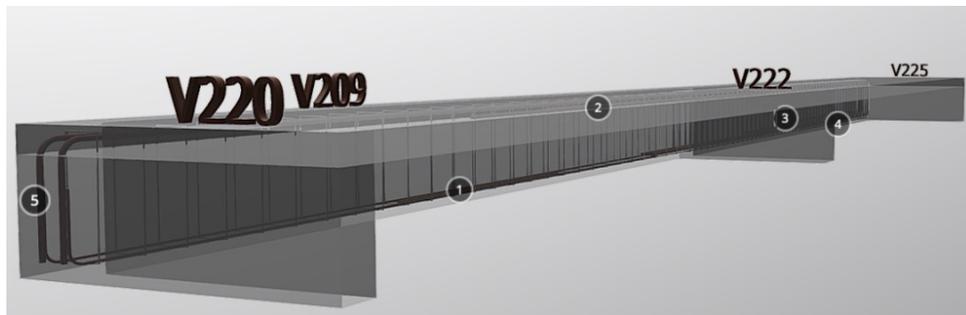


Figura 3 - Modelo 3D en la plataforma web Sketchfab

Fuente: Elaboración propia

Treinta y ocho alumnos respondieron a un cuestionario que mezcla tres preguntas para caracterización del alumno y veintitrés de escala Likert con 5 opciones. Así que el alumno debería elegir la opción 5 si estuviera totalmente de acuerdo con la afirmación y la 1 si estuviera totalmente en desacuerdo con la misma.

Las veintitrés cuestiones de escala Likert fueron clasificadas de la siguiente manera: nivel de conocimiento del alumno acerca de los tópicos (2); experiencia del alumno con aplicaciones y recursos visuales para aprendizaje de ingeniería de estructuras (3); utilidad de los recursos y herramientas percibida por el alumno (7); facilidad de uso de los recursos y herramientas percibida por el alumno (6); y disfrute percibido e intención de utilizar nuevamente los recursos y herramientas (5).

3 | RESULTADOS

De todos los treinta y ocho alumnos respondientes 24 (63,2%) son de género masculino y 14 (36,8%) de género femenino; 27 alumnos (71,1%) tienen de 21 a 25 años y 11 (28,9%) tienen más que 25 años. La mayoría (60,5%) de los alumnos ya tuvieron contacto con actividades de dibujos de estructura por medio del trabajo de aprendizaje o de técnico en edificaciones. La Tabla 1 muestra las ocurrencias de las 5 opciones de la escala Linkert para las afirmaciones sobre utilidad percibida (Q6 hasta Q11 y Q23) y disfrute percibido e intención de utilizarla (Q18 hasta Q22).

Afirmación		Escala Linkert				
		5	4	3	2	1
(utilidad percibida)						
Q6	Los modelos 3D ayudan en la visualización de los detalles de las armaduras de las estructuras de hormigón reforzado.	33	3	0	0	2
Q7	Creo que es muy relevante la utilización de recursos visuales 3D para el aprendizaje de diseños de estructuras.	34	1	2	0	1
Q8	La utilización de RA favorece la visualización de las armaduras de los elementos estructurales de hormigón.	31	4	2	0	1
Q9	Creo que es muy relevante la utilización de aplicaciones para la enseñanza de diseños de estructuras de hormigón.	32	3	2	0	1
Q10	La utilización de la herramienta RA influyó positivamente en mi aprendizaje.	28	4	5	0	1
Q11	Los modelos 3D son adecuados para la presentación del contenido de la asignatura.	31	6	0	0	1
Q23	Las herramientas RA podrían ser utilizadas en otras asignaturas.	30	7	0	0	1
(disfrute percibido e intención de utilizar los recursos)						
Q18	Es divertido utilizar la herramienta de RA.	25	9	1	2	1
Q19	Me sentí más motivado con las actividades RA.	20	15	1	1	1
Q20	El uso de la herramienta RA hace que el aprendizaje sea más interesante.	28	7	1	1	1
Q21	No me he aburrido utilizando la herramienta.	23	9	4	0	2
Q22	Me gustaría utilizar la herramienta en el futuro.	29	6	2	0	1

Tabla 1 - Resultado de las cuestiones de escala de Likert

Fuente: Elaboración propia

El Gráfico 1 presenta los resultados, en porcentajes, para las cuestiones sobre la utilidad de los recursos y herramientas percibida por el alumno. En el Gráfico 2 se tienen los porcentajes de los resultados de las cuestiones sobre el disfrute percibido y la intención de utilizar los recursos y herramientas nuevamente.

Para las afirmaciones del grupo de utilidad percibida (Gráfico 1), más de noventa por ciento de los alumnos eligieron las opciones 4 o 5, con excepción de la Q10 (84,2%), lo que indica una gran utilidad de los recursos percibida por ellos. Lo mismo ocurrió con las respuestas a las cuestiones del grupo de disfrute percibido e intención de utilizar los recursos donde más de 80% de los alumnos concordaron con las afirmaciones.

A los alumnos, no solo les gustó las actividades, sino que también se sintieron motivados con la utilización de RA para el aprendizaje de los contenidos de esa asignatura. Eso se ve en las respuestas de los dos grupos de afirmaciones. Además, a los 92,1% de los alumnos les gustaría utilizar la herramienta nuevamente (Q22). También casi todos ellos (97,4%) recomendaron el empleo de RA en otras asignaturas del curso (Q23), lo que

confirma la relevancia de los modelos 3D para motivar el aprendizaje de ingeniería civil, y de la tecnología aquí empedada.

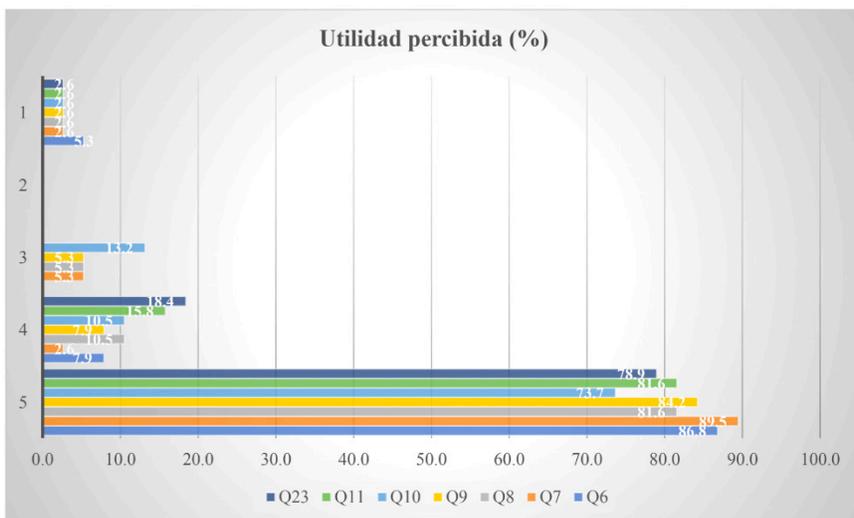


Gráfico 1 - Resultado de las cuestiones de escala de Likert

Fuente: Elaboración propia

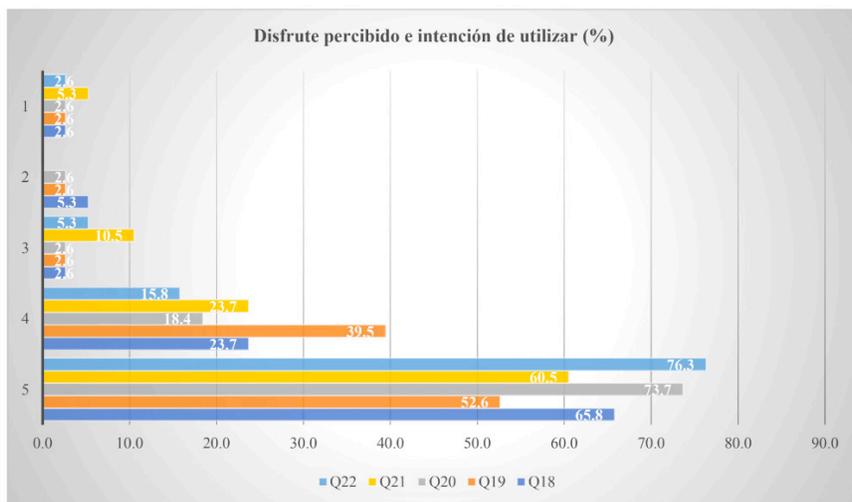


Gráfico 2 - Resultado de las cuestiones de escala de Likert

Fuente: Elaboración propia

4 | CONSIDERACIONES FINALES

Basándose en las respuestas de los alumnos, se cree que es positiva y relevante la utilización de recursos 3D por medio de RA, para mejorar la habilidad de visualización espacial (HVE) y por consecuencia el desempeño del alumno. Pero eso fue un estudio preliminar para probar el uso de RA en las asignaturas de estructuras de hormigón. La propuesta fue planear cuatro actividades con los recursos de RA y evaluar la percepción del alumno sobre la utilidad de los recursos y herramientas, la facilidad de uso de ellos y el disfrute e intensidad de utilizar los recursos nuevamente. Los resultados permitirán las adaptaciones necesarias para el empleo del recurso en otras clases y asignaturas. El estudio puso de manifiesto que, con la plataforma utilizada, Sketchfab, se lleva mucho tiempo para procesar modelos con gran cantidad de objetos cuando se usa el teléfono móvil. Aunque se haya confirmado la declaración de Meža, Turk y Dolenc (2015) sobre una de las principales barreras para el uso de RA con fines educativos: el tamaño de los modelos 3D, la aplicación elegida se presenta adecuada para los modelos más simples como los que fue presentados a los alumnos y que son suficientes para comprensión del contenido elegido.

También se obtuvo la necesidad de contar con la disponibilidad de los dispositivos adecuados para poder llevar a cabo la experiencia. Mismo con la limitación de disponibilidad de dispositivos adecuados, ni todos los alumnos tenían el móvil con la configuración necesaria, se puede ver en el análisis de los resultados del cuestionario, que el uso de RA para la visualización tridimensional es motivador para los estudiantes, ya que facilitan la comprensión de la distribución del refuerzo dentro de los elementos estructurales, permitiendo la realización de las actividades de una manera más divertida.

Esta investigación pone de manifiesto, y coincide con los resultados obtenidos por otros autores (BARROSO, CABERO y MORENO, 2016; MARÍN, 2017; BARROSO, CABERO y GUTIÉRREZ, 2018; MARTÍNEZ y FERNÁNDEZ, 2018; CABERO y ROIG, 2019), donde fue utilizada con estudiantes universitarios de diferentes disciplinas, desde Medicina a Bellas Artes y Ciencias de la Educación. Por tanto, podemos señalar que el grado de aceptación de esta tecnología por los estudiantes, es bastante significativo, lo que nos lleva a su recomendación para la formación.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente a la directoría y demás miembros del Secretariado de Recursos Audiovisuales y Nuevas Tecnologías de la Universidad de Sevilla (España) quienes han compartido sus experiencias y a la PUC Minas por el apoyo para estadía de la profesora Gláucia en Sevilla (2018-2019).

REFERENCIAS

- ABDULLAH, F.; WARD, R. Developing a General Extended Technology Acceptance Model for E-Learning (GETAMEL) by analysing commonly used external factors. **Computers in Human Behavior**, v.56, p. 238-256, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.11.036>
- AL-EMRAN, M.; MEZHUYEV, V.; KAMALUDIN, A. Technology Acceptance Model in M-learning context: A systematic review. **Computers & Education**, v.125, p. 389-412, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.008>
- AZUMA, R.T. A survey of augmented reality. **Presence-Teleoperators and Virtual Environments**, v.6, n.4, p. 355-385, 1997.
- BARROSO, J.; CABERO, J.; MORENO, A.M. La utilización de objetos de aprendizaje en realidad aumentada en la enseñanza de la Medicina. **Innoeduca International Journal of Technology and Educational Innovation**, v.2, n.2, p. 77-83, 2016.
- BARROSO, J.; CABERO, J.; GUTIÉRREZ, J.J. La producción de objetos de aprendizaje en realidad aumentada por estudiantes universitarios grado de aceptación de esta tecnología y motivación para su uso. **Revista Mexicana de Investigación Educativa**, v.23, n.79, p.1261-1283, 2018.
- CABERO, J.; BARROSO, J. The educational possibilities of Augmented Reality. **New Approaches in Educational Research**, v.5, n.1, p. 44-50, 2016. <https://doi.org/10.7821/naer.2016.1.140>
- CABERO, J.; PÉREZ, J. L. Validación del modelo TAM de adopción de la Realidad Aumentada mediante ecuaciones estructurales. **Estudios sobre Educación**, v.34, p. 129-153, 2018. <https://doi.org/10.15581/004.34.129-153>
- CABERO, J.; ROIG, R. The Motivation of Technological Scenarios in Augmented Reality (AR): Results of Dierent Experiments. **Applied Sciences**, v.9, 2019. <https://doi.org/10.3390/app9142907>
- DAVIS, F. D. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. **MIS Quarterly**, v.13, p. 319-340, 1989.
- FOGARTY, J.; MCCORMICK, J.; EL-TAWIL S. Improving Student Understanding of Complex Spatial Arrangements with Virtual Reality. **Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice**, v.144, n.2, p. 1-10, 2018. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000349](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000349)
- LIN, H. Influence of design training and spatial solution strategies on spatial ability performance. **International Journal of Technology & Design Education**, v.26, p. 123-131, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10798-015-9302-7>
- MARÍN, V. The augmented reality in the educational sphere of student of degree in chilhood education. Case Study. **Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación**, v.51, p. 7-19, 2017. <http://dx.doi.org/10.12795/pixelbit.2017.i51.01>
- MARTÍNEZ, S.; FERNÁNDEZ, B. Objetos de Realidad Aumentada: percepciones del alumnado de Pedagogía. **Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación**, v.53, p. 207-220, 2018. <http://dx.doi.org/10.12795/pixelbit.2018.i53.14>

MELLO, G. N. A. Teachers' perspective about factors that prevent success in teaching and learning process in higher education of engineering in Brazil. **Problems of Education in the 21st Century**, v.74, p. 61-70, 2016. Disponível em: <http://bit.ly/350Os5X>. Acesso em: 25 jul. 2020.

MELLO, G. N. A.; MAIA, E.V.; CALIXTO, J. M. F. CONCWEB: hybrid learning tool for reinforced concrete design. **ETD-Educação Temática Digital**, v.18, n.1, p. 156-177, 2016. <https://doi.org/10.20396/etd.v18i1.8638248>

MEŽA, S.; TURK, Ž.; DOLENC, M. Measuring potential of augmented reality in civil engineering. **Advances in Engineering Software**, v.90, p. 1-10, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2015.06.005>

MOLYNEAUX, T. et al. An evaluation of the learning of structural engineering concepts during the first two years of a project-based engineering degree. **European Journal of Engineering Education**, v.32, n.1, p. 01-08, 2007. Disponível em: <http://bit.ly/2YH0krD>. Acesso em: 25 jul. 2020.

SEGIL, J. L. et al. Investigation of spatial visualization skills across world regions. **Frontiers in Education Conference**, p. 18-21, 2017. Disponível em: <http://bit.ly/2P5ORP9>. Acesso em: 25 jul. 2020.

SORBY, S. A. A course in spatial visualization and its impact on the retention of female engineering students. **Journal of Women and Minorities in Science and Engineering**, v.7, p. 153-172, 2001.

SORBY, S. A.; VEURINK, N. Spatial skills among minority and international engineering students. **American Society for Engineering Education**, v.25, 2012. Disponível em: <http://bit.ly/2PwLMqf>. Acesso em: 25 jul. 2020.

CAPÍTULO 5

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE COLMOS DE BAMBÚ DAS ESPÉCIES *BAMBUSA TULDOIDES* E *PHYLLOSTACHYS AUREA*

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 05/01/2021

Ana Claudia Dal Prá Vasata

Centro Universitário de Pato Branco
Pato Branco – PR
<http://lattes.cnpq.br/3282909010193166>

Leonardo Müller Portes

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Pato Branco – PR
<http://lattes.cnpq.br/57488728914208>

Alana Karolyne Dametto dos Santos

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Pato Branco – PR
<http://lattes.cnpq.br/0121983549462022>

Ana Caroline Cadourin

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Pato Branco – PR
<http://lattes.cnpq.br/8470162586648142>

Leonardo Pirola dos Santos

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Pato Branco – PR
<http://lattes.cnpq.br/7035568350425591>

Paôla Regina Dalcanal

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Pato Branco – PR
<http://lattes.cnpq.br/3200777546844878>

Paulo Rogerio Novak

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Pato Branco – PR
<http://lattes.cnpq.br/7766888778491590>

Fabiano Ostapiv

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Pato Branco – PR
<http://lattes.cnpq.br/8385686899868293>

RESUMO: Para reduzir o impacto ambiental da construção civil, têm-se pesquisado materiais não convencionais e renováveis, como o bambu. Este estudo tem como objetivo a caracterização física e mecânica de colmos de bambu das espécies *Bambusa tuldoides* (BT) e *Phyllostachys aurea* (PA). Realizaram-se os ensaios de compressão e tração paralelos às fibras e flexão estática embasados em normas internacionais e trabalhos acadêmicos. Para a espécie BT obtiveram-se os valores médios de resistência à compressão de 72,31 MPa e à tração de 319,18 MPa. Os módulos de elasticidade médios desta espécie foram de 4,31 GPa à compressão, 4,6 GPa à tração e 13,61 GPa à flexão. A espécie PA apresentou o valor médio de resistência à compressão de 80,47 MPa e 210,67 MPa para tração. Os módulos de elasticidade médios da espécie foram: 3,89 GPa à compressão; 4,57 GPa à tração e 9,96 GPa para flexão. Para ambas espécies, o teor de umidade ficou próximo de 12%, exceto no ensaio de flexão. Com isso, conclui-se que a espécie PA se destaca apenas na compressão, sendo superada pela BT nas

demais propriedades, e que a resistência à tração é superior à de compressão em ambas espécies.

PALAVRAS-CHAVE: Resistência à compressão. Resistência à tração. Módulo de elasticidade.

PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF BAMBOO SPECIES *BAMBUSA TULDOIDES AND PHYLLOSTACHYS AUREA*

ABSTRACT: The unconventional and renewable materials research, such as bamboo, is an alternative to reduce the negative environmental impact of civil construction. This study aims the physical and mechanical characterization of bamboo culms of the species *Bambusa tuldoides* (BT) and *Phyllostachys aurea* (PA). It were done compression and tension tests parallel to the fibers and static bending based on international standards and academic works. The values of mean compressive strength and tensile strength, obtained for BT species, were equal to 72.31 MPa and 319.18 MPa, respectively. The average modules of elasticity of this species were 4.31 GPa to compression, 4.6 GPa to tensile and 13.61 GPa to bending. The PA species had an average compressive strength of 80.47 MPa and 210.67 MPa for tensile. The average elasticity modules of the species were 3.89 GPa to compression; 4.57 GPa for tensile and 9.96 GPa for bending. For both species, the moisture content was close to 12%, except in the bending test. It is concluded that the PA species stands out only in compression, being surpassed by BT in the other properties, and that the tensile strength is superior to that of compression one in both species.

KEYWORDS: Compressive Strength. Tensile Strength. Modulus of Elasticity.

1 | INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é um dos principais responsáveis pelo crescimento econômico e social no mundo. Por isso, está ligado diretamente ao alto consumo de energia e matéria-prima nos processos de produção, bem como na excedente geração de resíduos sólidos. Estes resíduos de construção e demolição, segundo o panorama realizado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2020) representam, no Brasil, cerca de 44,5 milhões, podendo ser quantificado em torno de 213,5 kg/habitante por ano. Nesse âmbito, Silva et al. (2017) estudou a quantidade de resíduos sólidos que um edifício residencial de alto padrão com área de 13.194,09 m² é capaz de gerar, sendo de 3.101,1 toneladas, o equivalente a 569 caçambas, apenas para a execução deste empreendimento. Cardoso (2017) relata que a construção civil é destaque na geração de resíduos sólidos no Brasil, responsável por produzir 50% dos resíduos no país. Nesse contexto, a busca por alternativas para atenuar o impacto causado pelo setor torna-se imprescindível, sendo uma delas a possibilidade do uso de materiais não-convencionais e recursos renováveis, como o bambu.

O bambu é uma planta da família das gramíneas (*Poaceae* ou *Gramineae*) e subfamília *Bambusoidea*, com aproximadamente 1300 espécies espalhadas pelo mundo, sendo predominantemente encontradas nos continentes da América e Ásia. Na América

do Sul, o Brasil se destaca pela quantidade de espécies, apresentando cerca de 250 tipos. Suas propriedades físicas e mecânicas se assemelham às encontradas em materiais convencionais da construção civil, como o aço e a madeira, devido aos seus atributos de durabilidade e resistência, (FILGUEIRAS E VIANA, 2017).

Como material para a construção civil, Carbonari et al. (2017) cita que na América do Sul, países como a Colômbia, Venezuela e Peru são grandes investidores da planta no setor construtivo. No Brasil, há uma carência de parâmetros representativos no meio técnico para favorecer o uso adequado do bambu nas construções.

Com esse panorama, a utilização do bambu mostra-se como uma boa alternativa, mas necessita do investimento em conhecimento técnico e amparo normativo. O objetivo desta pesquisa é contribuir para esse conhecimento técnico, estudando o comportamento dos colmos de bambu por meio da sua caracterização física e mecânica. Esse trabalho faz parte da dissertação “Análise das propriedades estáticas e dinâmicas das espécies de bambu *Bambusa tuldoides* e *Phyllostachys aurea*”, (VASATA, 2020).

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

As espécies utilizadas neste estudo foram a *Bambusa tuldoides* (BT) e a *Phyllostachys aurea* (PA), que são comuns na região do Sudoeste do Paraná. Como as propriedades dos bambus variam ao longo do seu comprimento, os colmos são divididos em três regiões distintas, base, meio e topo. Para esta pesquisa, analisaram-se apenas a base e o meio, marcados nas amostras com B (base) ou M (meio).

Os colmos do bambu da espécie BT foram coletados no município de Campo Largo - PR, no mês de outubro de 2018, e os da espécie PA no município de Pato Branco - PR, em novembro de 2018. Os colmos de ambas as espécies foram armazenados em local seco, sem luminosidade e livres de contato com o solo, protegidos da chuva e sol, até atingirem um teor de umidade próximo à 12%, conforme especifica a norma internacional ISO DIS - 22157 (2019) – *Determination of physical and mechanical properties of bamboo*, que também serviu de base para os ensaios de caracterização deste trabalho (ISO DIS - 22157, 2019).

O número mínimo de amostras para ensaios estáticos deve ser de 12 por espécie, categoria (base e meio) e teste, conforme a ISO DIS – 22157 (2019). Então, para cada ensaio foram utilizadas 24 amostras de cada espécie, sendo 12 amostras para base e 12 amostras para meio. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais do Departamento de Engenharia Civil da UTFPR-PB, na máquina universal INSTRON/EMIC, modelo 23300. Após a execução de cada ensaio, as amostras foram preparadas para a determinação do teor de umidade, *moisture content*, (MC), seguindo a orientação da norma internacional.

O ensaio de compressão paralelo às fibras foi realizado conforme a ISO DIS - 22157

(2019), com as amostras feitas das partes entre nós e com comprimento igual ao diâmetro externo do colmo, como mostrado na Figura 1.

Com os dados obtidos pelo programa Tesc[®], foram elaborados os diagramas de tensão-deformação de cada amostra, para assim obter o módulo de elasticidade à compressão (E_c), por meio da Lei de Hooke, na região contida entre 20% a 80% da carga máxima (F_{ult}), na qual a amostra falha. A tensão última de compressão (σ_c) foi calculada pela Equação (1):

$$\sigma_c = F_{ult} / A \quad (1)$$

em que: F_{ult} é a carga máxima e A é a área da seção transversal da amostra.

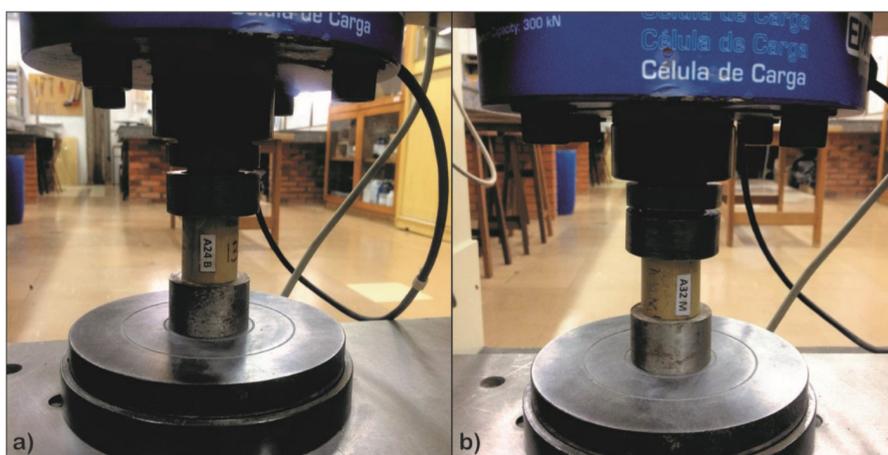


Figura 1 – Execução do ensaio de compressão paralelo às fibras em amostras: a) Base do colmo; b) Meio do meio.

Fonte: Vasata (2020)

O ensaio de tração paralela às fibras foi adaptado do estudo de Chamorro (2011), no qual foram coladas, com cola epóxi, chapas de alumínio de 2,5 mm de espessura nas bordas das amostras em contato com as garras da máquina de ensaio, evitando-se o esmagamento e escorregamento (Figura 2). Os corpos de prova possuíam um comprimento total de 200 mm, onde 50 mm correspondiam às extremidades em contato com as garras, outros 50 mm pertenciam à zona de estricção (onde ocorre o rompimento) e 25 mm às zonas de transição, onde a seção transversal do corpo de prova varia. A largura das extremidades em contato com a garra da máquina era de 10 mm e para a zona de estricção aproximadamente 5 mm.

A execução do ensaio ocorreu conforme a ISO DIS - 22157 (2019), como mostra a Figura 3, e as amostras que romperam fora da zona de estricção foram descartadas como

orientado pela norma internacional, sendo substituídas por uma nova amostra idêntica. Com os dados obtidos, de forma análoga ao ensaio de compressão, foi possível obter o módulo de elasticidade à tração (E_T) e calcular a tensão última de tração (σ_T).

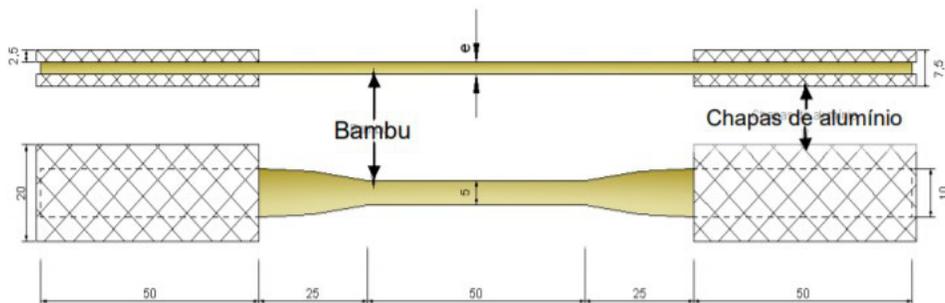


Figura 2 – Esquema dos corpos de prova para o ensaio de tração, em mm

Fonte: Chamorro (2011)

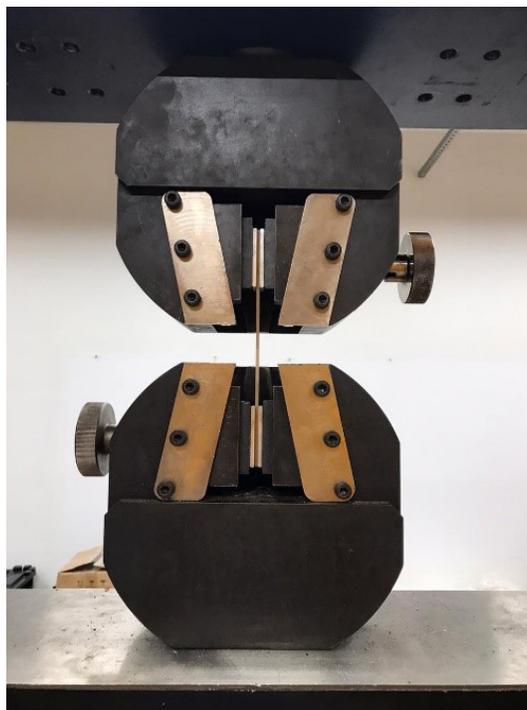


Figura 3 – Execução do ensaio de tração paralela às fibras

Fonte: Vasata (2020)

O ensaio de flexão estática foi adaptado de Armandei et al. (2015), pois o equipamento usual para a realização do ensaio em condição de viga biapoiada, como é orientado pela norma internacional, estava danificado. Dessa forma, foi utilizado um sistema em balanço, engastado em uma das extremidades por uma garra metálica, com o carregamento aplicado na extremidade livre como carga concentrada (Figura 4). Os colmos utilizados possuíam de 2 a 3 nós e foram cortados ao meio no sentido do eixo longitudinal, separados em fatias internas e externas, as quais possuíam um comprimento total de 100 cm, sendo 30 cm engastados e 70 cm de vão livre. Para o ensaio de flexão estática, foram necessárias 12 amostras por fatia do colmo para cada espécie, identificadas como fatia interna (FI) e fatia externa (FE), totalizando 96 corpos de prova.



Figura 4 – Esquema para ensaio à flexão: a) vista superior b) vista lateral

Fonte: O autor (2020)

Com os dados obtidos, foi possível construir os gráficos que relacionam carga-deslocamento, e assim definir o módulo de elasticidade à flexão (E_f) utilizando-se a Equação (2):

$$E_f = P L^3 / 3 \delta I \quad (2)$$

em que: L representa o comprimento do vão livre da amostra (mm); a relação P/δ é a tangente da curva carga-deslocamento (N/mm) e I é o momento de inércia da seção transversal (mm^4), obtido por meio do Teorema dos Eixos Paralelos considerando uma seção de semicírculo vazado.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores médios de teor de umidade (MC), tensão última (σ_c) e módulo de elasticidade (E_c) do ensaio de compressão paralela às fibras, para as espécies BT e PA, base (B) e meio (M), podem ser observados na Tabela 1. E, nas Figuras 5 e 6 podem ser observados os diagramas tensão x deformação ($\sigma \times \epsilon$) desses ensaios.

Amostra	MC (%)	σ_c (MPa)	E_c (GPa)
BTB	13,45	71,39	4,21
BTM	13,97	73,22	4,41
PAB	13,81	78,75	3,74
PAM	13,71	82,18	4,03

Tabela 1 – Valores médios das propriedades físicas e mecânicas no ensaio de compressão

Fonte: Vasata (2020)

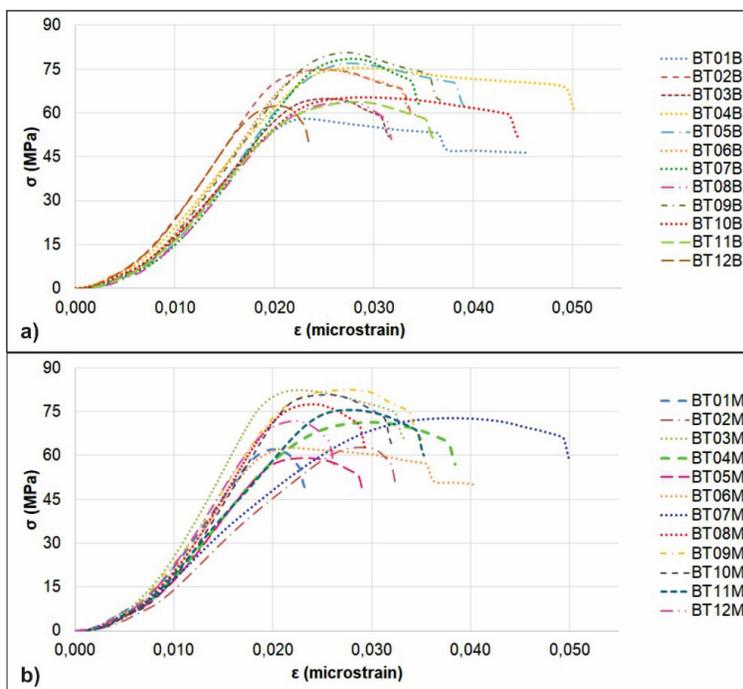


Figura 5 – Diagrama tensão x deformação ($\sigma \times \epsilon$) do ensaio de compressão da espécie *Bambusa tuldooides*: a) Base do colmo b) Meio do colmo

Fonte: Vasata (2020)

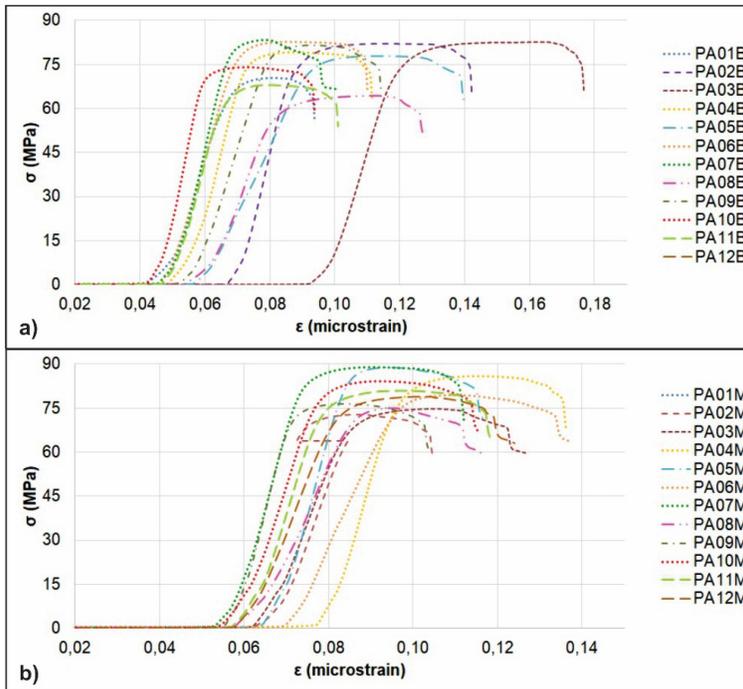


Figura 6 – Diagrama tensão x deformação ($\sigma \times \epsilon$) do ensaio de compressão da espécie *Phyllostachys aurea*: a) Base do colmo b) Meio do colmo

Fonte: Vasata (2020)

De forma análoga, os resultados de teor de umidade (MC), tensão última (σ_T) e módulo de elasticidade (E_T) das amostras do ensaio de tração paralela às fibras, para ambas as espécies e partes do colmo, encontram-se na Tabela 2. Os gráficos tensão x deformação são apresentados nas Figuras 7 e 8.

Amostra	MC (%)	σ_T (MPa)	E_T (GPa)
BTB	12,91	288,30	3,83
BTM	13,37	350,05	5,37
PAB	13,01	215,64	3,61
PAM	12,87	205,69	5,52

Tabela 2 – Valores médios das propriedades físicas e mecânicas no ensaio de tração

Fonte: Vasata (2020)

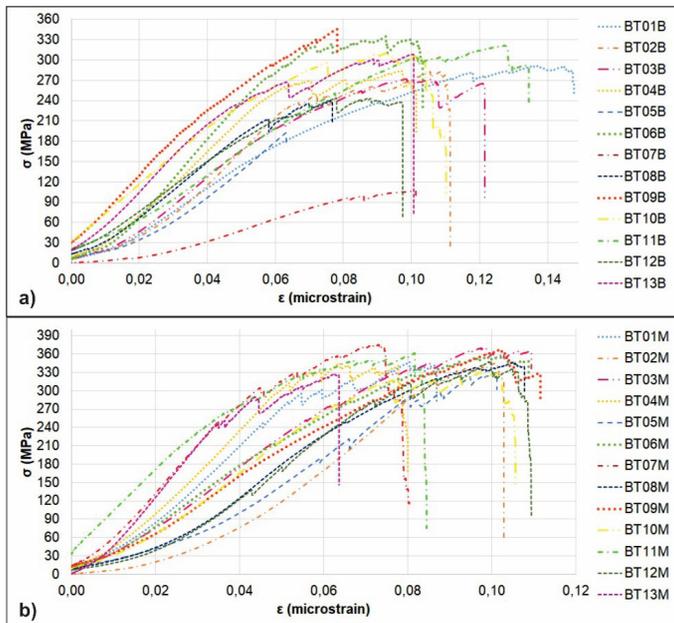


Figura 7 – Diagrama tensão x deformação ($\sigma \times \epsilon$) do ensaio de tração da espécie *Bambusa tuldooides*: a) Base do colmo; b) Meio do colmo

Fonte: Vasata (2020)

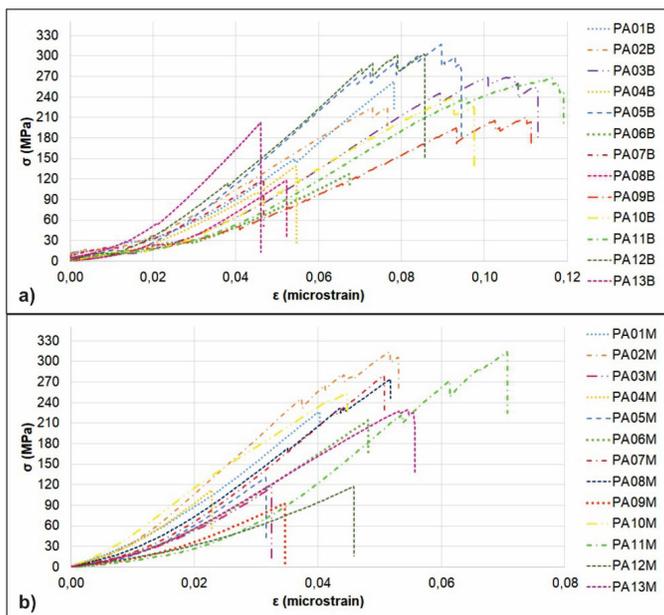


Figura 8 – Diagrama tensão x deformação ($\sigma \times \epsilon$) do ensaio de tração da espécie *Phyllostachys aurea*: a) Base do colmo; b) Meio do colmo

Fonte: Vasata (2020)

É possível perceber uma queda abrupta no fim de cada curva, que representa o momento da ruptura das amostras. Nota-se que, tanto no ensaio de compressão quanto no de tração, os valores de umidade ficaram próximos à 12%, valor recomendado pela ISO DIS - 22157 (2019).

A Tabela 3 mostra os valores médios encontrados no ensaio de flexão estática para teor de umidade (MC), momento de inércia (I) e módulo de elasticidade à flexão (E_f) das amostras.

Amostra	MC (%)	I (mm⁴)	E_f (GPa)
BTBFI	12,75	18.311,56	16,42
BTBFE	14,11	18.631,47	14,58
Media BTB	-	-	15,50
BTMFI	15,51	16.411,03	13,62
BTMFE	14,65	18.225,00	9,82
Media BTM	-	-	11,72
PABFI	13,19	28.014,22	10,08
PABFE	14,83	27.037,73	10,63
Media PAB	-	-	10,36
PAMFI	15,02	25.634,62	10,04
PAMFE	15,61	25.906,02	9,06
Media PAM	-	-	9,55

Tabela 3 – Valores médios das propriedades físicas e mecânicas no ensaio de flexão para as fatias internas (FI) e externas (FE) das amostras, bem como o módulo de elasticidade à flexão médio das mesmas.

Fonte: Vasata (2020)

Neste ensaio, diferente dos demais, foram obtidos valores mais altos de umidade do que o recomendado pela norma internacional. Isso ocorreu devido ao ensaio ter sido feito em uma época chuvosa durante o inverno, o que pode ter influenciado nos resultados finais.

4 | CONCLUSÕES

Com esta pesquisa, determinaram-se algumas propriedades físicas e mecânicas dos bambus das espécies *Bambusa tuldoides* (BT) e *Phyllostachys aurea* (PA), utilizando-se a norma internacional ISO DIS - 22157 (2019) e de outros estudos.

Para a espécie BT, a partir dos resultados dos ensaios de resistência à tração e compressão, pode-se concluir que a parte intermediária do colmo é mais resistente a esses esforços que a base. Já para a espécie PA, o mesmo comportamento não é notado. Apesar da resistência à compressão na parte intermediária ser maior, no ensaio à tração a parte

basal se destacou, não mostrando um padrão de comportamento.

Comparando-se as duas espécies, no geral a espécie BT tem os maiores módulos de elasticidade para os três esforços abordados, destacando-se principalmente naquele que se refere ao esforço de flexão. Com isso, conclui-se que a mesma possui menor capacidade de deformação que a PA. O único ensaio em que a espécie PA se destaca é o de resistência à compressão, sendo superada pela espécie BT nas outras caracterizações.

Esta pesquisa contribui para a disseminação das características e propriedades do bambu no meio técnico, ajudando na viabilização da utilização de materiais não-convencionais, como alternativa na construção civil.

É importante destacar a necessidade de uma norma nacional que forneça a padronização do modo de caracterização dos colmos de bambu, bem como as suas condições de utilização em projetos estruturais, proporcionando o seu uso adequado e correto nas construções.

REFERÊNCIAS

ARMANDEI, M.; DARWISH, I. F.; GHAVAMI, K. **Experimental study on variation of mechanical properties of a cantilever beam of bamboo**. *Construction and Building Materials*, Elsevier, v. 101, p. 784–790, 2015.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: IPEA, 2020.

CARBONARI, G. et al. **Bambu—o aço vegetal**. *Mix Sustentável*, v. 3, n. 1, p. 17–25, 2017.

CARDOSO, L. M. Tudo sobre os resíduos sólidos da construção civil. **Sienge plataforma**, 29, set., 2017. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/residuos-solidos-da-construcao-civil/>> Acesso em: 29 dez. 2020.

CHAMORRO, L. J. C. **Análise estrutural dinâmica de um pórtico plano de bambu da espécie *Phyllostachys aurea***. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2011.

FILGUEIRAS, T. S.; VIANA, P. L. **Bambus brasileiros: morfologia, taxonomia, distribuição e conservação**. *Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia*, 1 ed, p. 10-27, Rio de Janeiro: ICH, 2017.

Standard, ISO DIS - 22157: **Determination of physical and mechanical properties of bamboo**. Geneva, CH: [s.n.], 2019.

SILVA, W. C.; SANTOS, G. O.; ARAÚJO, W. E. L. **Resíduos sólidos da construção civil: caracterização, alternativas de reuso e retorno econômico**. Florianópolis, 2017.

VASATA, A. C. D. P. **Análise das propriedades estáticas e dinâmicas das espécies de bambu *Bambusa tuldoides* e *Phyllostachys aurea***. Orientador: Paulo Rogério Novak. 2020. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2020.

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 12/02/2021

Franciele Matos Silva

Faculdade ESAMC – Uberlândia
Uberlândia – MG
<http://lattes.cnpq.br/1825658494474999>

Danilo Belchior Costa Silva

Faculdade ESAMC – Uberlândia
Uberlândia – MG
<http://lattes.cnpq.br/4513992384883379>

Luiz Felipe Alves Barcelo

Faculdade ESAMC – Uberlândia
Uberlândia – MG
<http://lattes.cnpq.br/5342930259290748>

Edson Alves Figueira Júnior

Universidade Federal de Ouro Preto
Ouro Preto – MG
<http://lattes.cnpq.br/8104378559898715>

RESUMO: A Engenharia, naturalmente, busca sempre a melhora de produtos e serviços de forma cada vez mais econômica e, atualmente, sustentável. É o que ocorre na engenharia civil, que nos últimos anos tem recebido um número muito grande de novos materiais que visam substituir os materiais tradicionais com características parecidas e potencialmente mais sustentáveis e menos agressivas ao meio ambiente. Este é o caso do PEAD, produto muito utilizado como embalagens de produtos químicos de limpeza. O PEAD é um polímero

termoplástico, característica que lhe permite ser moldado quando aquecido sem perder sua estrutura química. Além disso, o PEAD, de acordo com alguns estudos, possui características que indicam que ele pode ser utilizado até mesmo como peça estrutural, levando-se em conta apenas a alta resistência à compressão registrada (MORAES et al, 2010). Outro material que vem sendo bastante utilizado na construção civil é a fibra de bambu, que em determinados casos pode até mesmo substituir o aço. A fibra de bambu vem sendo utilizada também como reforço do concreto, substituindo satisfatoriamente fibras sintéticas tradicionalmente utilizadas. Somando isso ao fato de que se trata de um material muito leve, a fibra de bambu foi escolhida como um possível reforço para o PEAD, diminuindo seu peso, mantendo ou até mesmo melhorando suas características físicas. A fibra de bambu foi extraída após a decomposição da lignina em solução de NaOH, estas foram desidratadas e cortadas em pequenos pedaços. O PEAD utilizado foi de embalagens descartadas, estas foram lavadas, cortadas e aquecidas junto à fibra de bambu a 170°C. Após retirar do forno, o material foi colocado em uma prensa. Após 8 horas a amostra foi retirada do molde. Sendo assim, a próxima etapa deste trabalho é submeter este material a teste de tração e compressão.

PALAVRAS-CHAVE: PEAD; Fibra de bambu; sustentável.

BAMBOO FIBER REINFORCED PEAD

ABSTRACT: Engineering, naturally, always seeks the improvement of products and services

in an increasingly economical and, currently, sustainable way. This is what happens in civil engineering, which in recent years has received a very large number of new materials aimed at replacing traditional materials with similar characteristics and potentially more sustainable and less aggressive to the environment. This is the case of HDPE, a product widely used as packaging for cleaning chemicals. HDPE is a thermoplastic polymer, a characteristic that allows it to be molded when heated without losing its chemical structure. In addition, HDPE, according to some studies, has characteristics that indicate that it can be used even as a structural part, taking into account only the high compression resistance registered (MORAES et al, 2010). Another material that has been widely used in civil construction is bamboo fiber, which in certain cases can even replace steel. Bamboo fiber has also been used as reinforcement for concrete, satisfactorily replacing synthetic fibers traditionally used. Adding this to the fact that it is a very light material, bamboo fiber has been chosen as a possible reinforcement for HDPE, reducing its weight, maintaining or even improving its physical characteristics. The bamboo fiber was extracted after the decomposition of the lignin in NaOH solution, these were dehydrated and cut into small pieces. The HDPE used was from discarded packages, these were washed, cut and heated next to the bamboo fiber at 170°C. After removing from the oven, the material was placed in a press. After 8 hours the sample was removed from the mold. So the next step of this work is to submit this material to tension and compression testing.

KEYWORDS: HDPE; Bamboo fiber; sustainable.

1 | INTRODUÇÃO

Com o objetivo de mitigar impactos ambientais causados por olarias, foi desenvolvido o projeto de reciclagem de PEAD, o qual apresenta um ótimo comportamento quando submetido a forças de compressão, peso baixo, principalmente, quando comparado a tijolos convencionais e a utilização das fibras de bambu se justifica pelo fato de melhorar a capacidade de resistência à tração, ser um produto sustentável e de fácil aquisição.

De acordo com a Resolução CONAMA 1/86, art 1º:

“considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- I A saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II As atividades sociais e econômicas;
- III A biota;
- IV As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V A qualidade dos recursos ambientais;”

Quando se cita sobre os impactos gerados pelas olarias, cabe ressaltar que para a implantação de tal empreendimento é necessário fazer a supressão da cobertura vegetal da região, deixando, portanto, a camada fértil do solo enfraquecido, bem como o lençol

freático susceptível a contaminações seja pelo próprio processo de extração de matéria-prima em que há a possibilidade de derramamento de óleos das máquinas. Além disso, com a queima de tijolos é gerado fumaças que são liberadas no ar sem nenhum tratamento contribuindo para a degradação do meio ambiente, especificamente, da atmosfera.

Segundo um estudo do WWF, em 2016 a quantidade de plástico produzido, em média, por pessoa do planeta foi 53kg, o equivalente a 400 milhões de toneladas de plástico em um único ano. Desse total, 37% foram descartados sem nenhuma gestão de resíduos, aproximadamente 148 milhões de toneladas. No Brasil, apenas 1,28% do que é produzido, 145 mil toneladas aproximadamente, são reciclados. Em uma pesquisa realizada pela UFPA (Universidade Federal do Pará) encontrou-se a presença de plástico no organismo de 98% dos peixes analisados. Além disso, o artigo “Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta” divulgou recentemente um estudo em que mostra que 4 a cada 6 placentas humanas apresentaram a presença de micro plásticos, sendo que a análise foi feita em apenas 4% da placenta.

O bambu é considerado o “aço verde” da construção civil, pois suas características quanto à resistência à tração e à compressão são bastante semelhantes às do aço. Outra vantagem do bambu está na sua produção, alcançando até 30 anos sem necessitar de replantio. Além disso, o crescimento do bambu é extremamente rápido, sendo que algumas espécies chegam a crescer até 20 cm por dia. Algumas vantagens do uso de fibras vegetais em substituição às fibras sintéticas são, baixo custo, renováveis, além do menor risco à saúde em caso de inalação, como apresentado na tabela 1.

Comparação entre fibras naturais e fibras de vidro		
	Fibras naturais	Fibras de vidro
Densidade	Baixo	Dobro das fibras naturais
Custo	Baixo	Baixo, porém superior a fibras naturais
Renovável	Sim	Não
Reciclável	Sim	Não
Consumo de energia	Baixo	Alta
CO2 neutro	Sim	Não
Abrasão para máquinas	Não	Sim
Risco à saúde quando inalado	Não	Sim
Eliminação	Biodegradável	Não biodegradável

Tabela 1 – Comparação entre fibras naturais e fibras de vidro

Adaptado de Fonte: Wambua et al, 2003

Devido à baixa taxa de reciclagem de plásticos, principalmente no Brasil e nos impactos causados para a produção de materiais cerâmicos, como tijolos, pensou-se na possibilidade de reciclagem do PEAD para utilizá-lo com finalidade estrutural juntamente com a fibra de bambu que oferece uma melhora nas características do material puro, além

de diminuir ainda mais a densidade do produto final, o que pode ser um ponto positivo quando utilizado em construções, apesar de o PEAD puro já ser significativamente mais leve que um bloco cerâmico.

2 | PEAD

O PEAD (polietileno de alta densidade) é um polímero muito utilizado para armazenamento de alimentos, embalagens, pallets de plásticos como alternativa para os paletes de madeira. O polietileno é um dos mais utilizados polímeros atualmente, sendo dividido em:

- PEBD – Polietileno de baixa densidade;
- PELBD – Polietileno linear de baixa densidade;
- PEUAPM – Polietileno de ultra- alto peso molecular;
- PEUBPM – Polietileno de ultra- baixo peso molecular;
- PEAD – Polietileno de alta densidade;

O polietileno assim como outros polímeros – PVC (cloreto de polivinila), PP (polipropileno), PET (polietileno tereftalato) – são considerados termoplásticos, ou seja, quando aquecidos não perdem a sua estrutura química.

O PEAD comparado a outros materiais em um ensaio de compressão, tabela 2, é observável que é um ótimo material substituto do tijolo no quesito resistência à compressão, sendo o PEAD aproximadamente 6x mais resistente que o tijolo.

Material	Tipo	Resistência à compressão (Mpa)
Polímero	100% PEAD	14,50
Polímero	100% PP	7,45
Polímero	50% PEAD/ 50%PP	9,37
Tijolo	30 x 20 x 11	2,40
Telha		
Concreto	Fck = 20 Mpa	20
Aço	CA - 50	500
Madeira	Angelim - vermelho	66,5

Tabela 2 - Comparação PEAD e outros materiais - Resistência à compressão

Fonte: MORAES, Sandra et al., 2010

3 | FIBRA DE BAMBU

Apesar de o bambu ser muito utilizado em vários países para a função estrutural e possuírem normas que regulamentam o uso, no Brasil ainda não há norma regulamentar

para o uso de bambu na construção civil.

Segundo a FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nation, para a produção de fibras naturais, especificamente de juta, é necessário apenas 10% da energia que se utiliza para produzir fibras sintéticas. Caso que pode ser observado na tabela 1, onde é apresentado algumas características para a produção de fibras naturais e fibras sintéticas. Além disso, estudos com fibras naturais mostraram várias outras vantagens como melhora no isolamento acústico e térmico quando comparados à lã de vidro e gesso, respectivamente.

Em um estudo realizado por KABIR (2014), gráfico 1, em que se utilizou fibra de bambu para reforço de PVC, obteve-se o resultado de que a resistência à tração aumentou de acordo com o aumento de fibras de bambu e esse aumento tornou-se mais significativo após 8% de fibras.

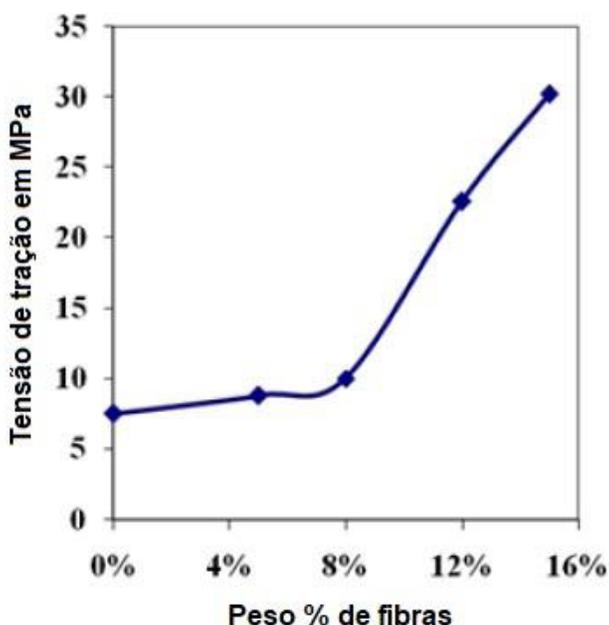


Gráfico 1 - Relação tração e porcentagem de fibra de bambu em um corpo de prova de PVC reforçado com fibra de bambu.

Adaptado de Fonte: Kabir et al., 2014

4 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: Bambu, NaOH, PEAD, estufa com controle de temperatura e uma prensa.

Bambus secos foram utilizados para extrair a fibra. Cortando-os entre nós e em

quatro partes longitudinais, figura 1. As peças obtidas foram colocadas em solução de 0,01% de NaOH por, aproximadamente, 36 horas, para a decomposição da lignina, figura 2. Após este período de imersão na solução de NaOH, os colmos de bambu foram lavados e levados a uma estufa à temperatura de 60°C por 24 horas, figura 3.



Figura 1 - Colmos de bambu sendo cortados longitudinalmente

Fonte: Autores



Figura 2 - Bambus cortados imersos em solução de 0,01% de NaOH

Fonte: Autores



Figura 3 - Bambus colocados na estufa por 24h a 60°C

Fonte: Autores

Na extração da fibra, as peças de bambu foram levadas ao fogo (forno artesanal) em uma solução de NaOH, novamente, por, aproximadamente 2 horas, tornando-se bastante maleáveis. As fibras foram extraídas com facilidade e, em seguida, deixou-se secar à temperatura ambiente por 8 horas. Após a secagem, foram cortadas em pequenos pedaços de 0,1 m, figura 4.



Figura 4 -Fibras de bambu extraídas

Fonte: Autores

O PEAD utilizado foi coletado de embalagens descartadas em EcoPontos na cidade de Uberlândia. Após a coleta, o material foi lavado, fragmentado e aquecido até se tornar maleável, figura 5 e 6. O PEAD foi levado junto às fibras de bambu ao forno à temperatura de 170°C por 50 minutos. Em seguida, os materiais foram retirados para mistura, retornando-os ao forno novamente por mais 30 minutos. Após a retirada dos materiais do forno, eles foram colocados em uma prensa artesanal, para uma melhor compactação do produto, figura 7.



Figura 5 - PEAD cortados em pedaços pequenos.

Fonte: Autores



Figura 6 - PEAD após colocado em forno

Fonte: Autores

A mistura permaneceu na prensa por volta de 8 horas para o resfriamento completo. Na figura 8 é possível ver o PEAD com a fibra de bambu já moldada e resfriados.

5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O material produzido apresentou uma menor massa específica quando comparado ao PEAD “puro”. Sendo a massa específica do PEAD em torno de 0,94 e 0,96 g/cm³, enquanto a do novo material foi de 0,91 g/cm³, resultando em uma redução de 4,2% na massa específica. Este resultado foi obtido numa mistura de 93% de PEAD e 7% de fibra de bambu moída. Na sequência, serão fabricadas novas peças com diferentes concentrações da fibra, procurando encontrar a máxima diminuição da massa específica da mistura sem que se perca uma quantidade significativa de suas propriedades físicas.



Figura 7 - Prensa utilizada no processo de moldagem do PEAD

Fonte: Autores



Figura 8 - PEAD após 8h na prensa

Fonte: Autores

6 | CONCLUSÃO

A adição da fibra de bambu torna o material mais leve, e segundo artigos pesquisados melhora as propriedades mecânicas do PEAD, tais valores serão obtidos em trabalhos futuros, visto que este material tem grande potencial sustentável por promover a reutilização do PEAD e possível substituição do aço em algumas aplicações. Cabe salientar que a introdução de materiais sustentáveis no mercado reduz os danos ambientais oriundos da fabricação de tijolos de barro, fabricação do aço e do descarte inadequado do PEAD contribuindo para que este material não termine seu ciclo em aterros ou no mar e retorno para os seres humanos na forma de micro plásticos.

REFERÊNCIAS

- Barbosa, Anderson de Paula. “**CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E PROPRIEDADES DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE BURITI.**” Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais) Rio de Janeiro. UENF, Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campo dos Goytacazes, dezembro de 2011.
- BRAGA, Débora; ARRANZ, Flávia; CAMINHOLA, Patrícia. **CONSTRUÇÕES DE BAMBU: Análise estrutural de um edifício de bambu.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia civil) - Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, [S. l.], 2011.
- CANDIAN, L. M. **Estudo do Polietileno de Alta Densidade Reciclado para uso em Elementos Estruturais.** 2007. 167f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Estrutural) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos
- DALBERG (New York, USA). **SOLUCIONAR A POLUIÇÃO PLÁSTICA: TRANSPARÊNCIA E RESPONSABILIZAÇÃO.** WWF, [s. l.], 30 mar. 2019. Disponível em: https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/51804/1552932397PLASTIC_REPORT_02-2019_Portugues_FINAL.pdf. Acesso em: 27 jan. 2021.
- FILHO, Getúlio; SILVA, Raimundo; NETO, José; BRITO, Charles; OLIVEIRA, Maria. **ENSAIO DE TRAÇÃO EM POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD) Vs. A LITERATURA COMERCIAL.** Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC’2017, [s. l.], 8 a 11 ago. 2017.
- KABIR, Humayun; GAFUR, Abdul; AHMED, Farid; BEGUM, Farhana; QADIR, Rakibul. **Investigation of Physical and Mechanical Properties of Bamboo Fiber and PVC Foam Sheet Composites.** Universal Journal of Materials Science, [s. l.], 2014. Disponível em: <https://www.hrpub.org/download/20150101/UJMS3-16203092.pdf>. Acesso em: 13 out. 2016
- MARÇAL, V. H. S. (2018). **Análise comparativa de Normas Técnicas Internacionais para o emprego do bambu – colmo em estruturas prediais.** Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 178p.
- MORAES, Sandra et al. **AValiação de Polímeros Termoplásticos Recicláveis como Materiais Componentes de Telhas e Tijolos.** Enciclopédia biosfera, [s. l.], 2010. Disponível em: http://web-resol.org/textos/avaliacao_de_polimeros.pdf. Acesso em: 27 jan. 2021.

PACHECO, Livia. **INFLUÊNCIA DA TAXA DE CARREGAMENTO NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO PEAD RECICLADO**. 2013. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) - PROGRAMA FRANCISCO EDUARDO MOURÃO SABOYA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA ESCOLA DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE, [S. l.].

RAGUSA, Antonio; SANTACROCE, Criselda; CATALANO, Piera; NOTARSTEFANO, Valentina; CORNEVALI, Oliana; PAPA, Fabrizio; RONGIOLETTI, Mauro; BAIOTTO, Federico; DRAGHI, Simonetta; D'AMORE, Elisabetta; RINALDO, Denise; MATTA, Maria; GIORGINO, Elisabetta. **Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta**. *Environment International*, [s. l.], 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412020322297>. Acesso em: 27 jan. 2021.

RESOLUÇÃO CONAMA N° 001, DE 23 DE JANEIRO DE 1986. **Resolução n° 001/86**, de 23 de janeiro de 1986. Artigo 1° - Para efeito desta Resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais. [S. l.], 17 fev. 1986. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>. Acesso em: 26 jan. 2021.

RIBEIRO, Danielle; TORRES, Naiara; PIKANÇO, Ana; SOUSA, David; RIBEIRO, Vanessa; BRASIL, Leandro; MONTAG, Luciano. **Contamination of stream fish by plastic waste in the Brazilian Amazon. Environmental Pollution**, [s. l.], 19 jul. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749120330517>. Acesso em: 27 jan. 2021.

Soares, Lucas Bruckner **Bambu: um biomaterial para a construção civil** / Lucas Bruckner Soares. – São Roque, 2014. 103 f.: il.;

Steffens, F., Steffens, H., & Oliveira, F. R. (2017). **Applications Of Natural Fibers On Architecture**. *Procedia Engineering*, 200, 317–324. doi:10.1016/j.proeng.2017.07.045

PRECONCEITO COM A MULHER NA ENGENHARIA CIVIL

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 05/02/2021

Jaqueline de Souza

Instituição de Ensino, Centro Universitário
Campo Real
Guarapuava – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/4578008565103680>

Raiany Ribeiro Teixeira

Instituição de Ensino, Centro Universitário
Campo Real
Campina do Simão – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/3570020867274753>

Bárbara Pegher Dala Costa

Instituição de Ensino, Centro Universitário
Campo Real
São João – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/7492257962722013>

Sandro Roberto Mazurechen

Instituição de Ensino, Centro Universitário
Campo Real
Guarapuava – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/7627820838376951>

RESUMO: Esta pesquisa procurou compreender a existência do preconceito com as mulheres na engenharia civil, a partir de um artigo original, que obteve resultados quantitativos com respostas de alunas e profissionais da área. Aplicou-se a metodologia de levantamento, utilizando um questionário, que foi aplicado usando uma plataforma on-line. Identificou-se com os

resultados obtidos, uma grande porcentagem de resultados positivos em questão ao preconceito com a mulher, considerando que sim, existe preconceito com as mulheres na área, como pôde-se observar a maioria do preconceito são por colegas e professores dentro da sala de aula, engenheiros e familiares.

PALAVRAS-CHAVE: Preconceito. Mulheres. Engenharia. Familiares. Profissionais.

PREJUDICE AGAINST WOMEN IN CIVIL ENGINEERING

ABSTRACT: This research sought to understand the existence of prejudice against women in civil engineering, based on an original article, which obtained quantitative results with responses from students and professionals in the field. The survey methodology was applied using a questionnaire which was applied using an online platform. It was identified with the obtained results, a great percentage of positive results in relation to the prejudice against the woman, believing so, there is prejudice against the women in the area, as it was possible to observe the majority of the prejudice are by colleagues and teachers within the classroom, engineers and family.

KEYWORDS: Prejudice. Women. Engineering. Family. Professionals.

1 | INTRODUÇÃO

A presença feminina na Engenharia Civil ainda é reduzida devido ao preconceito, por se acreditar que a profissão é masculina. Muitos ainda veem os empregos no setor da construção

civil como opções não tradicionais para as mulheres. Inúmeras explicações podem ser dadas para essa diferença, como a falta de orientação/incentivo para as mulheres e a dificuldade das mulheres em manter um equilíbrio entre o trabalho e a vida familiar.

Comprovar através de dados e pesquisas que o preconceito ainda está presente nesse meio é de extrema importância para expandir a mente e perceber que estamos em uma nova era, em que a mulher pode ser o que quiser provando sua capacidade como tal. Por isso, a pesquisa foi realizada com o intuito de entender se realmente as mulheres que cursam ou são engenheiras civis já sofreram ou sofrem preconceito, onde esse preconceito ocorreu e quem praticou.

Portanto, este trabalho tem como objetivo apresentar e discutir, se tem preconceito nesta área da engenharia, desde a inserção das mulheres neste campo de trabalho, até sua atuação no ramo. Partindo do pressuposto de que o entendimento dos fundamentos de qualquer processo implica sua trajetória, que se fez necessária uma breve análise da área de engenharia civil. Em virtude de responder às premissas expressas acima, a pesquisa também assume um caráter somatório, ou seja, quantitativa. Afinal, realmente as mulheres consideram que sofreram ou sofrem preconceito dentro da área de engenharia civil?

2 | DESENVOLVIMENTO

Segundo dados do IBGE de 2002, nas últimas décadas ocorreu um crescente número de mulheres ingressando no mercado de trabalho ou procurando por emprego. Por consequência, o número de mulheres nas engenharias também aumentou, demonstrando que essa área está passando por transformações, como explica Lombardi (2006). Atualmente é perceptível uma presença significativa das mulheres neste campo, alterando a questão da divisão sexual do trabalho na engenharia, no aumento da participação das mulheres em várias especialidades, nas áreas de trabalho e na área profissional.

Considerando a linha histórica da engenharia, a entrada da mulher nesse campo é um rompimento de valores que as discriminam em carreiras tidas como predominantemente masculinas. Segundo Lombardi (2005), para sustentar essa escolha profissional, elas tiveram que enfrentar padrões de gênero aceitos no interior das famílias, nas escolas e no trabalho. Dessa forma, o caminho das mulheres para seguir nessa carreira, foi e ainda é repleta de desafios.

O número total dos profissionais registrados no Sistema Confea/Crea é de 23.308. Dessa quantia, apenas 2.494 são do sexo feminino, o que equivale a apenas 10,70% de participação. Das 2.494 mulheres, apenas 736 possuem algum vínculo empregatício. Outro número expressivo indica que 42% das mulheres do Sistema estão inseridas na modalidade civil, seguido da modalidade de arquitetura e urbanismo. (CORDEIRO, 2004, p. 1)

Para tentar diminuir a desigualdade existente nessa área, algumas leis vêm sendo propostas pelos órgãos públicos, tanto em âmbito nacional, quanto em âmbito municipal.

Desde 2012, tramita no Senado um projeto de lei que determina um percentual mínimo de 12% de mão de obra feminina nas obras e serviços contratados pelo governo federal. No âmbito municipal, a mais recente iniciativa é de Guarapuava, no Paraná, que em junho de 2017, sancionou uma lei exigindo que as empresas da construção civil que prestam serviços ao município tenham no mínimo 10% de suas vagas ocupadas por mulheres.

A capacidade técnica, força de trabalho e articulações das mulheres na luta por seus direitos estão promovendo progressivas mudanças socioculturais. Todos esses fatores estão impulsionando o progresso feminino no setor. Como resultado, estão surgindo novas gerações de engenheiras e operárias, com cada vez mais oportunidades e reconhecimento profissional. (DUTRA, 2017)

2.1 Apresentação e análise de dados

A partir da pesquisa proposta, aplicada por intermédio de uma plataforma online, foram coletadas respostas de cinquenta mulheres que estão inseridas no campo da engenharia civil, seja como profissionais já formadas ou acadêmicas. Com esse estudo, buscou-se entender se as mulheres acreditam sofrer preconceito, se sim, onde sofreram e quem praticou.

Essas cinquenta participantes foram questionadas se acreditam que as mulheres hoje em dia sofrem preconceito na engenharia civil. O resultado para este questionamento pode ser analisado na figura 1.



FIGURA 1 - Gráfico da primeira questão

Fonte: Autoras, 2020.

Como pode-se observar, 98% das mulheres que responderam ao questionário consideram que sim, as mulheres sofrem preconceito na engenharia civil. Após essa pergunta, elas foram convidadas a responder mais duas perguntas, que questionavam quando sofreram preconceito e quem foi o praticante desse ato, que teve seus resultados expostos nas figuras 2 e 3.

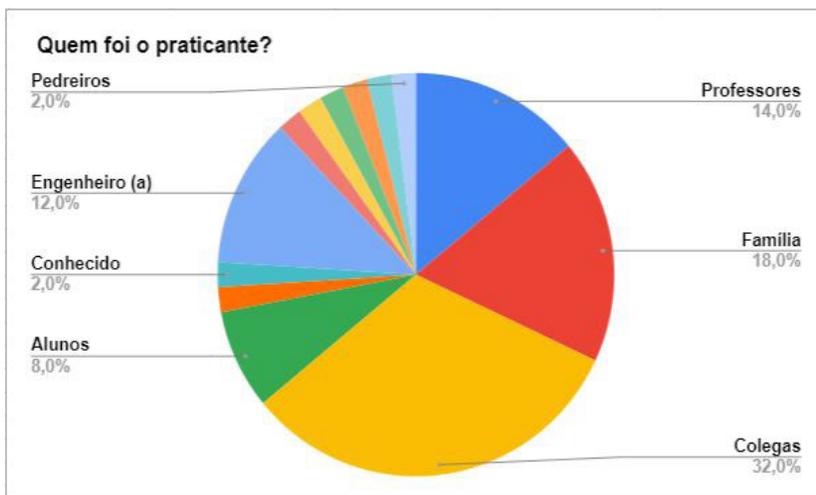


FIGURA 2 - Gráfico da segunda questão

Fonte: Autoras, 2020.

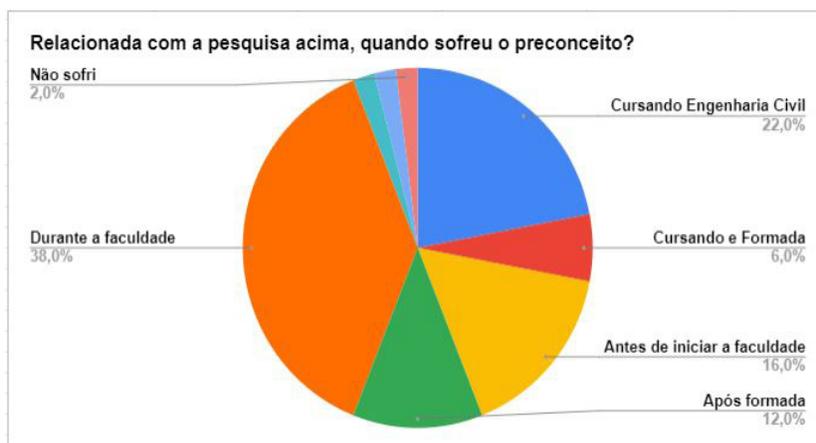


FIGURA 3 - Gráfico da terceira questão

Fonte: Autoras, 2020.

Quanto ao momento em que sofreram algum tipo de preconceito, a grande maioria,

cerca de 58%, relataram ter sofrido durante o curso, outras 16% antes mesmo de iniciar, e mais de 12% após formada. Sendo os principais praticantes os colegas, representando 32% das respostas, seguidos da família (18%), dos professores e engenheiros, que correspondem a 14% e 12% dos praticantes, respectivamente.

Dessa forma, a hipótese levantada para essa pesquisa, que as mulheres sofrem preconceito na engenharia civil, foi confirmada. Pois a grande maioria das mulheres relatou ter sofrido algum tipo de preconceito, sendo o principal ambiente o da faculdade, principalmente por seus colegas.

3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mulheres enfrentam muitos desafios na área da engenharia civil, um deles reside na necessidade da prova permanente da competência profissional, como na maneira da mulher se auto afirmar diante do grupo de homens, sendo eles colegas, subordinados ou superiores, mostrando que essa questão varia de gênero, pois não há uma cobrança quanto aos homens. Pode-se observar que o preconceito quanto mulheres na engenharia civil são tanto velados, como explícitos, acontecendo durante o curso e após a formação. Ainda há trabalho a ser feito na crescente representação feminina em todos os papéis mais tradicionalmente dominados pelos homens, mas relatos de sucesso duradouro das mulheres na engenharia civil são boas inspirações para o ponto de partida, juntamente com uma mudança de pensamento de todos aqueles que ainda acreditam que as mulheres não podem ocupar determinados espaços de estudo e trabalho.

REFERÊNCIAS

CORDEIRO, P. **Valorização das Profissões e a questão da mulher**. 5º Congresso Capixaba de Profissionais da Engenharia, Arquitetura e Agronomia, 5º Confea, 2004.

DUTRA, H. **Mulheres na construção**. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/mulheres-na-construcao/>>. 13 de dezembro de 2017. Acesso em: 09 de setembro de 2020.

IBGE – **Perfil das mulheres responsáveis por domicílio no Brasil**. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/bibliotecacatalogo.html?id=281814&view=detalhes>>. Rio de Janeiro de 2002. Acesso em: 16 de setembro de 2020.

LOMBARDI, M. R. **Engenheiras brasileiras: inserção e limites de gênero no campo profissional**. Cadernos de Pesquisa, v. 36, n. 127, jan./abr. de 2006.

LOMBARDI, M. R. **Perseverança e resistência: a Engenharia como profissão feminina**. 2005. 292 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação. Campinas, 2005.

INFRAESTRUTURA SUSTENTÁVEL: VIABILIDADE DE SISTEMA INTERLIGADO DE TELHADO VERDE, FILTRO ANAERÓBIO E DE AREIA

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 08/01/2021

Thauan Ribeiro Sarmento

Instituto Federal da Paraíba
campus Cajazeiras
Cajazeiras - PB

<http://lattes.cnpq.br/6196764474314411>

Lucas Tavares de Freitas

Instituto Federal da Paraíba
campus Cajazeiras
Cajazeiras - PB

<http://lattes.cnpq.br/1931615279005144>

Daniel Cosmo Oliveira

Instituto Federal da Paraíba
campus Cajazeiras
Cajazeiras - PB

<http://lattes.cnpq.br/9492885819878701>

David dos Santos Dias

Instituto Federal da Paraíba
campus Cajazeiras
Cajazeiras - PB

<http://lattes.cnpq.br/4004738470184626>

Francisco Edmilson dos Passos Junior

Instituto Federal da Paraíba
campus Cajazeiras
Cajazeiras - PB

<http://lattes.cnpq.br/7479475776948521>

RESUMO: Este estudo tem como objetivo analisar um sistema interligado de telhado verde, filtro anaeróbio e filtro de areia. Isso será feito

basicamente por pesquisas bibliográficas focadas em cada componente separadamente, a fim de verificar sua necessidade e viabilidade como um todo, visando uma futura implantação. Isso será dividido por etapas de estudos individuais, onde, primeiramente, temos o tratamento do esgoto da residência que será realizado pelo filtro anaeróbio e que terá um pós tratamento por um filtro de areia, a fim de diminuir a carga orgânica presente na água que será reutilizada para irrigar o telhado verde, sendo avaliado qual tipo de telhado se adequaria melhor ao sistema aplicado na região do estudo. Se viável, contribuirá amplamente no desenvolvimento sustentável, trazendo uma proposta que alia o crescimento urbano com a natureza, além de possibilitar a criação de um modelo de saneamento básico local de baixo custo para a população urbana e rural, se atentando à adequação da comunidade ao sistema.

PALAVRA-CHAVE: Sustentabilidade, casa ecológica, casa inteligente, telhado verde, filtro anaeróbio, filtro de areia.

SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE: VIABILITY OF GREEN ROOF INTERLINKED SYSTEM, ANAEROBIC AND SAND FILTERS

ABSTRACT: This study aims to analyze an interconnected green roof system, anaerobic filter and sand filter. This will be done basically by bibliographic searches focused on each component separately, in order to verify its need and feasibility as a whole, aiming at a future implementation. This will be divided into stages of individual studies, where, first, we have the

sewage treatment of the residence that will be carried out by the anaerobic filter and that will have a post treatment by a sand filter, in order to reduce the organic load in the water that will be reused to irrigate the green roof, being evaluated which type of roof would best suit the system applied in the study region. If feasible, it will contribute widely to sustainable development, bringing a proposal that combines urban growth with nature, in addition to enabling the creation of a low-cost local basic sanitation model for the urban and rural population, paying attention to the adequacy of the community to the system.

KEYWORDS: Sustainability, ecologicalhouse, smarthouse, greenroof, anaerobicfilter, sandfilter.

1 | INTRODUÇÃO

Com a desenfreada urbanização, a conseqüente devastação do meio ambiente segue um ritmo crescente. É responsabilidade da construção civil a boa relação entre desenvolvimento urbano e convívio com o meio ambiente, de maneira que diminua o consumo da matriz energética impactante atual e de modo que preserve a boa qualidade de vida. Também, quaisquer alternativas que minimizem a situação são de extrema importância, fazendo com que as áreas verdes encontrem seu caminho de volta às cidades. Segundo Savi (2012): “a arquitetura ao longo dos anos foi se afastando da construção orgânica e ecológica, de maneira que faz-se necessário retornar esses princípios para que possamos ter fundamentalmente uma sociedade sustentável e equilibrada.” Roaf (2006) *apud* Savi (2012) afirma que: “O mundo precisa de profissionais que integrem arquitetura, ecologia e engenharia. Profissionais que projetem edifícios passivos, ou seja, que usem o mínimo de energia e que a energia que utilizem provenha de fontes renováveis. A autora destaca ainda que esse é o único caminho daqui para frente. Precisa-se de interdisciplinaridade para projetar e construir, e é fundamental desenvolver uma consciência e uma formação dos profissionais para se adequarem as necessidades da construção civil paralelas ao projeto sustentável.” A infraestrutura no meio rural e urbana voltada ao tratamento de água e ao saneamento básico revela uma carência no setor. De acordo com os dados divulgados em reportagem no portal G1 (2018): “Apenas 45% do esgoto gerado no Brasil passa por tratamento. Isso quer dizer que os outros 55% são despejados diretamente na natureza.” Guimarães, Carvalho e Silva (2007) *apud* Ribeiro e Rooke (2010) ressaltam: “investir em saneamento é uma das formas de se reverter o quadro existente.” Dados divulgados pelo Ministério da Saúde (FUNASA, 2017) afirmam que para cada R\$ 1,00 investido no setor de saneamento, economiza-se R\$ 9,00 na área de medicina curativa. A utilização equilibrada dos recursos hídricos é tão importante quanto a sua correta destinação, visto que a problemática causada pela falta de água decorrente da seca, afeta diretamente a vegetação e a qualidade de vida local, mais especificamente do nordeste brasileiro, região que sofre com uma alta incidência de calor ambiental excessivo e radiação solar que acarretam inúmeras problemáticas aos habitantes, carecendo de tecnologias que possam

unir todos esses desafios e amenizá-los de forma integrada, inteligente e responsável, as quais são o ponto chave para a boa relação do homem com o meio ambiente. O telhado verde, portanto, se mostra ainda mais importante, uma vez que este é capaz de aumentar o conforto termo-acústico da edificação, proteger a edificação de raios solares e realizar certa filtragem do ar por meio da redução de CO₂ e produção de oxigênio. Projetos que possam unir todos esses desafios e amenizá-los de forma integrada, inteligente e responsável são o ponto chave para a boa relação do homem com o meio ambiente. Diante do exposto, surge uma alternativa para os telhados ecológicos integrados ao saneamento básico da região semiárida, corroborando com Savi (2012): “é importante destacar a necessidade de políticas e incentivos que fomentem o uso dos telhados verdes, pois essa técnica pode auxiliar a diminuir problemas recorrentes da falta de florestamento e alto índice de urbanização das cidades, mas para que o telhado verde seja totalmente sustentável, uma das opções com maior potencial de inovação, é a reutilização das águas residuais, proveniente de um sistema descentralizado com alto potencial de tratamento o qual seja viável econômico e socialmente.”

2 | JUSTIFICATIVA

Por os telhados verdes reduzirem consideravelmente a temperatura interior do local, o consumo energético é amplamente reduzido, tendo em vista o alto consumo realizado por equipamentos elétricos que trazem conforto térmico. Diante disso, essa redução de consumo de energia, se faz necessária, principalmente, pelo Brasil ter uma matriz energética que traz enormes impactos socioambientais, como os observados de acordo com o site Hidroenergia (2018).

De acordo com Thompson e Sorvig (2008) *apud* Baldessar (2012):

“os telhados verdes apresentam fatores econômicos: protegem telhados convencionais da radiação ultravioleta (UV) e das temperaturas extremas, as duas principais fontes de degradação dos telhados comuns. Materiais de cobertura, como os derivados do petróleo, são vulneráveis à degradação pela radiação UV; e um telhado verde formaria um verdadeiro escudo impermeabilizante à radiação, muitas vezes, duplicando (ou mais) a sua vida útil.[...] Tanto a poupança de energia como o ciclo de vida da cobertura apresentam benefícios ambientais e econômicos.”

Também, a elevada emissão de CO₂ feita pela humanidade ocasiona inúmeros e conhecidos problemas, exemplificados pelo aquecimento global. Por isso, implementações de telhado verde na urbanização é um fator de bastante relevância, dado o papel das vegetações no ciclo desse gás. Além de que, essa cobertura possui importância no conforto acústico da edificação. Conforme Baldessar (2012), o nível de ruído excessivo nas cidades, provocado pelo tráfego e por diversas outras fontes, afeta psicológica e fisicamente as pessoas. As coberturas tradicionais expandem as ondas sonoras, no entanto as plantas e o

substrato absorvem essas ondas, reduzindo expressivamente os ruídos. Ao mesmo tempo deve ser observado que os baixos índices pluviométricos no nordeste brasileiro obrigam que seja utilizada, muitas vezes, a própria água tratada dos reservatórios que serviriam para consumo local. Portanto, a irrigação feita através de um recurso reaproveitado é de suma importância, requerendo uma forma alternativa de tratamento dos efluentes domésticos, o qual se encaixe nas necessidades da comunidade e do meio ambiente. Na Região Nordeste, a utilização de fossas negras (tanques sépticos não impermeabilizados que servem como disposição final para esgotos residenciais) são juntamente com o despejo desses efluentes em córregos, nascentes ou áreas verdes, a prioridade como meios de destinação dos esgotos. Na cidade de Cajazeiras-PB, um dos centros da Mesorregião do Alto Sertão paraibano, 45,2% dos habitantes não possuem esgotamento sanitário adequado, sendo esse dado ainda mais agravado nas comunidades rurais, segundo o IBGE (s.d.). Há que se perceber a necessidade da aplicação de tecnologias adequadas à realidade do Brasil, e que possibilite o enfrentamento da questão, atendendo situações presentes tanto em grandes cidades como em pequenos assentamentos humanos. A adoção de soluções funcionalmente simples e, por conseguinte, com alta relação benefício/custo pode revelar-se vantajosa. Diante das condições ambientais, culturais, e econômicas do Brasil, soluções funcionalmente simples são as que utilizam os processos menos mecanizados e reatores mais fáceis de serem construídos e operados (ÁVILA, 2005).

3 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Desenvolvidos a partir da década de 1960 na Alemanha, a nova indústria de telhados verdes pesquisou e aperfeiçoou materiais, desenvolveu normas e manuais construtivos, pesquisando os benefícios ambientais, sociais e econômicos deste novo mercado onde Alberto *et al.*, 2012 resumem: Esta técnica consiste na aplicação de vegetação sobre coberturas, podendo ser aplicada em qualquer tipo de edificação, desde que observadas questões como estrutura da instalação, sistema de drenagem e impermeabilização do local a ser implantado. Segundo BALDESSAR, 2012: Os sistemas construtivos devem se acomodar ao clima predominante, recusando um plano de construção global válido para qualquer região e situação. Em se tratando do uso de cobertura verde nas cidades é, sem dúvida alguma, um possível potencial a ser explorado. Esse tipo de cobertura é recomendado para diversos climas e lugares onde o regime de precipitação seja deficiente. Apresenta grandes vantagens, tanto do ponto de vista do conforto devido à umidade do ar e de sua temperatura, bem como a consideração do efeito ambiental que é capaz de produzir no seu entorno. Destacando algumas destas vantagens, tem-se a retenção do pó e de substâncias contaminantes na capa vegetal; uma proteção eficaz contra a radiação solar e o aumento da capacidade de esfriamento por evaporação, acabando por melhorar a umidade ambiental, o aumento do espaço útil, a considerável melhora do isolamento

e da estabilidade térmica interior e ainda os efeitos derivados da absorção de ruído. O maior custo do sistema pode ser minimizado pelas vantagens que proporciona ao ambiente interior e exterior. É consenso que o consumo energético contemporâneo possui elevados números e sua geração impacta negativamente o meio ambiente. Estudo feito por Mello *et al.* (2010) feito na Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, teria uma redução da temperatura por meio da cobertura verde que equivale a reduzir 40% no consumo de energia apenas para os aparelhos condicionadores de ar. Para a produção da cobertura com vegetação, atualmente no Brasil, existem várias estruturas, resumidas em 4 sistemas: Hexa da Ecotelhado, modular do Instituto Jardim, vernacular e vernacular sobre laje pré-moldada. Todos os sistemas oferecem as vantagens citadas anteriormente, podendo funcionar de maneiras diferentes, variando de acordo com a plantação. Devido aos baixos índices pluviais no nordeste, é comum a prática da irrigação utilizando a pouca água tratada existente. A utilização de métodos alternativos para abastecer a necessidade hídrica da vegetação presente no telhado é, além de pouco utilizado, pouco difundido, um aspecto extremamente negativo à implantação de telhados verdes, já que, de acordo com o site Tera (2013), no Brasil, o índice de consumo de água para irrigação chega a 72%, evidenciando ainda mais a necessidade de políticas de reutilização da água para esta finalidade em âmbito nacional. O reuso de água representa atualmente uma prática inevitável para a manutenção da oferta de água em ambientes rurais e urbanos. A discussão e a implantação de políticas de reuso são emergenciais, especialmente na região semiárida brasileira. Os impedimentos ao desenvolvimento econômico local, causados pela condição de escassez hídrica já é uma realidade histórica e o uso de tecnologias adaptadas as condições climáticas e hidrogeológicas local precisa ser disseminada imediatamente. No trabalho publicado por Brazão e Silva (2016), eles mostraram que do ponto de vista da garantia da oferta de água para atividades humanas, são discutidas duas alternativas para a prática de reuso: o aproveitamento de águas cinzas servidas em ambientes domésticos e o armazenamento de águas pluviais. Analisando a viabilidade na utilização do sistema de tratamento proposto para irrigação dos telhados verdes, temos que, segundo Silva (2003), o reuso do efluente anaeróbio na irrigação de uma cultura é, sem dúvida, vantajoso tanto no aspecto sanitário como no agrônomo. As características físico-químicas consideradas insatisfatórias no tratamento anaeróbio são aproveitadas pelo sistema solo-planta, obtendo-se resultados de produtividade agrícola condizentes a um cenário de irrigação com água em solo adubado. Os processos anaeróbios contribuem para a solução desse problema, principalmente aqueles sistemas tidos como simplificados e de baixo custo, tal como o tanque séptico e o filtro anaeróbio, o qual é uma opção e de baixo custo que remove aproximadamente 70% da matéria orgânica e produz uma quantidade reduzida de lodo. No entanto, como não produzem um efluente adequado aos padrões legais, os sistemas anaeróbios devem ser vistos como uma primeira etapa do processo, necessitando um pós-tratamento que complemente a remoção da matéria orgânica (TONETTI, 2012). Neste caso, os filtros

de areia podem ser uma alternativa para cumprir tal função, mantendo o baixo custo e garantindo um efluente com alta qualidade e compatível aos padrões de lançamento. A combinação de processos anaeróbios e aeróbios segundo Gomes (2015), permite explorar as vantagens de cada processo, minimizando-se os aspectos negativos, resultando, por exemplo, na implementação de sistemas compactos de baixa acumulação de lodo (reatores anaeróbios) e maior remoção de matéria orgânica (característica de reatores aeróbios). Com estas características, afirma Cruz (2009), que o filtro de areia não só retém a matéria orgânica em suspensão nos poros de seu material filtrante, mas também degrada a matéria orgânica particulada e em solução, fato que leva os autores Jordão e Pessoa (2011) afirmarem que o sistema é incorretamente chamado de filtro já que seu funcionamento não se baseia somente na filtração. Relacionando estudos de sistemas semelhantes ao proposto neste estudo, de acordo com Tonetti (2012), o tratamento anaeróbio sendo acrescido do filtro de areia tem um aumento da remoção de sólidos suspensos totais de até 65,1%, dando maior robustez ao protótipo. No caso do sistema composto por fossa séptica e filtro de areia desenvolvido por Cruz (2009), as médias dos valores da turbidez (parâmetro relacionado à redução da transparência do fluido) foi alcançada uma alta porcentagem de remoção (95,9%). Já no sistema de Santos (2012), um sistema de tanque séptico com duas câmaras em série associado a um filtro anaeróbio ascendente, em Campina Grande – PB, foi alimentado durante 16 meses com esgoto bruto real e chegou às seguintes conclusões: a remoção de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e SS (Sólidos em Suspensão) na primeira câmara foram de 70 e 77% respectivamente, na segunda câmara resultaram em 75 e 90% e após o filtro, foram obtidos 85 e 92%, respectivamente. Recomenda-se um tempo de detenção hidráulica de no mínimo de 0,4 dia. Os estudos na área são, muitas vezes, conduzidos em escala de bancada, apresentando uma carência de pesquisas em condições de campo (GOMES, 2015).

4 | OBJETIVO GERAL

Esboçar uma revisão bibliográfica para desenvolver a necessidade, recomendações, fatores para dimensionamento e viabilidade de uma futura implantação do sistema de telhado verde em residências modelo no sertão nordestino, de forma que possua irrigação feita através do bombeamento da água tratada por sistema de filtração anaeróbia com pós tratamento por filtro de areia.

5 | METODOLOGIA

O estudo constituiu-se em estudo bibliográfico das vertentes que podem influenciar o comportamento do sistema telhado verde e filtros anaeróbio e de areia, a fim de dimensioná-lo e viabilizá-lo da melhor maneira para a região do sertão nordestino. Dessa forma, fez-se como instrumento principal da pesquisa bibliotecas científicas online e normas

regulamentadoras brasileiras, sem se limitar a datas específicas. Para atingir o objetivo proposto, as pesquisas foram realizadas e divididas por componente individualmente, sendo eles: filtro anaeróbio, filtro de areia e telhado verde. Dessa maneira, os trabalhos utilizados foram selecionados de acordo com sua relevância para prever o funcionamento do sistema completo e estabelecer dados referentes ao dimensionamento do sistema proposto na região do sertão nordestino, se atentando a fatores como vegetações mais indicadas, materiais mais acessíveis de baixo custo, reciclados ou recicláveis, em sua maioria.

6 | RESULTADOS

De acordo com a revisão bibliográfica feita, o sistema é viável e para dimensioná-lo, inicialmente, seria necessário fazer uma análise da residência onde o sistema será implantado, verificando fatores como quantidade de habitantes, tamanho, disposição geográfica, entre outros fatores determinantes no dimensionamento do sistema. A casa alvo do sistema empregaria o sistema de telhado verde de maneira extensiva, visto que possui menor sobrecarga para a edificação e possui menores custos de manutenção, garantindo a autonomia dos moradores. O teto verde se iniciaria com um sistema de impermeabilização da laje, para garantir que não ocorra infiltração na edificação decorrente de águas pluviais ou águas providas da irrigação. Acima da impermeabilização terá uma manta geotêxtil feita de material sintético feito a partir da reciclagem de garrafa PET, assegurando que areia e outros sedimentos sólidos não passem para a tubulação de escoamento da água. Sobre essa manta, seria colocada mais uma camada de argila expandida, esta traria uma boa drenagem da água e auxiliaria no bom crescimento das raízes devido ao arejamento. Acima desta, outra camada da manta será de bastante importância, a fim de evitar que a areia do substrato se misture com a argila expandida, de maneira que sua eficiência seja comprometida. Por fim, na viável implantação, teria o substrato e a plantação logo após.

Segundo Krebs e Sattler (2012): “a escolha criteriosa das espécies é fundamental para que as vantagens da cobertura viva sejam aplicadas”, portanto visando a redução do custo de instalação, manutenção, carga da estrutura e disponibilidade regional, é de amplo potencial a utilização de gramíneas como vegetação do sistema. Diante disso, tapetes naturais de grama esmeralda se mostram viáveis a serem utilizados no projeto, já que, de acordo com Gurgel (2003), esta planta desenvolve-se bem em áreas de plena insolação, se adapta a diferentes tipos de solo, desde arenosos, a argilosos. O substrato abaixo da grama, por sua vez, seguirá a recomendação de onde ela será adquirida. Ainda com Krebs e Sattler (2012), “substrato: é onde se encontram os nutrientes, dando suporte à vegetação, retendo e absorvendo água.”

Minke (2004) *apud* Krebs e Sattler (2012), descreve que as coberturas de leve inclinação são as mais indicadas para as coberturas vivas extensivas, sendo as mais fáceis

de executar e baratas, se comparadas às demais inclinações.

Diante da alta insolação presente no sertão paraibano, faz-se necessário a planificação contendo uma mínima inclinação da cobertura com máximos 2% de inclinação para o escoamento pluvial por meio de ralos e/ou calhas. Essa planificação da cobertura garantiria que a água proveniente da irrigação fique retida por mais tempo e que a vegetação a possua sem que esta escoe ou evapore rapidamente, no caso de telhados de maior acrive.

Para a irrigação do telhado de forma inteligente e o tratamento do efluente gerado pela casa modelo onde o sistema seria utilizado, a instalação do conjunto fossa séptica e filtro anaeróbio deve ser baseada em etapas constituídas por: estudo do solo e clima, a fim de gerenciar aspectos como infiltração, temperatura do filtro, distância de poços, rios e cisternas; estudo dos despejos produzidos, analisando, principalmente, os níveis de óleos, graxas e materiais de limpeza como desinfetante e detergentes; instalação do conjunto fossa e filtro, baseando-se como referencial teórico a NBR 7229 e a NBR 13969, dimensionando do conjunto de acordo com as fórmulas $V=1000+N(CT+KLf)$ e $V=1,6NCT$. O Filtro de Areia deve ser dimensionado de acordo com Junior e Martins (2016), exigindo camada com altura mínima de 250 mm para o leito filtrante que será constituído por areia e entulho. A caixa sifonada será utilizada para que o Filtro de Areia aja de forma intermitente, que, juntamente com a tubulação de aeração, potencializarão o processo aeróbio, como aponta os estudos de Gomes (2015).

Após o processo de filtração, o efluente seria direcionado a uma câmara de 1000 litros, tendo duas disposições finais: o bombeamento até o sistema de irrigação do telhado, o qual ocorrerá por meio de aspersores, e seu lançamento em uma vala de infiltração composto por areia e brita, fazendo com que a água residual penetre o solo.

7 | CONCLUSÃO

Dada a gravidade da situação do não reuso dos recursos hídricos em uma residência, falta de saneamento básico, aliado ao pouco convívio com o meio ambiente que as cidades atualmente enfrentam e o desconforto térmico que várias famílias principalmente no sertão nordestino suportam, espera-se obter um modelo sustentável para essa problemática. A utilização do sistema telhado verde, filtro anaeróbio e de areia surge com um grande potencial, visto que a cobertura verde cumpre papel fundamental no isolamento termoacústico de uma residência, valoriza esteticamente e traz de volta às cidades o contato com a natureza, e os filtros, por sua vez, garantirão um bom reuso da água e diminuirão a demanda por saneamento básico que muitas famílias não possuem. Para tanto, o estudo procurou se atentar a qual forma de cobertura atenderia melhor a necessidade climática e da baixa manutenção, chegando à conclusão que, em lajes convencionais (treliçadas ou maciças), a inclinação adequada deve se manter no máximo em 2%, garantindo que a

vegetação armazene água sem que esta evapore ou escoe rapidamente. Além disso, para o sertão nordestino, indica-se culturas que se adequem ao clima da região, possua baixo peso para a edificação, raízes curtas e baixa demanda de manutenção, como a grama-esmeralda. O sistema de tratamento de água, por sua vez, deverá ser dimensionado de acordo com as normas regulamentadoras citadas, o qual possui um baixo custo, pouca mão de obra especializada, baixa manutenção (de 3 a 5 anos), grande potencial para irrigação de culturas e sendo uma das melhores alternativas para suprir a necessidade de saneamento básico nas comunidades mais carentes e/ou isoladas no sertão nordestino. Recomenda-se que no sistema, seja utilizado tonéis de 200L e caixas d'água de 1000L, barateando o sistema e aumentando sua vida útil, e tenha como material de enchimento do filtro anaeróbio entulho e britas 0 e 1. Diante da implantação, o sistema completo garantirá, além de conforto ambiental, um saneamento básico adequado para seus utilizadores, de modo que seus recursos hídricos sejam utilizados de forma inteligente.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**: Projeto construção e operação de sistemas de tanque sépticos, Rio de Janeiro, 1993.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. Rio de Janeiro, 1997.

ALBERTO, E. Z. *et al.* Estudo do telhado verde nas construções sustentáveis. *In*: XII Safety, Health and Environment World Congress. São Paulo: 2012. Acesso em 12 fev. 2019.

ÁVILA, R. O. **Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico-filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte**. Rio de Janeiro. 2005. Disponível em <http://www.saneamento.poli.ufrj.br/images/Documento/teses/RenataOliveiradeAvila.pdf> Acesso em 27 fev. 2019.

BALDESSAR, S. M. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. Curitiba. 2012. Disponível em <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/52621/R%20-%20D%20-%20SILVIA%20MARIA%20NOGUEIRA%20BALDESSAR.pdf?sequence=1&isAllo wed=y>. Acesso em fev. 2019.

BRAZÃO, A. J. da C.; SILVA, R. D. R. Cenário do reúso de água no nordeste brasileiro: estudos de casos e desafios. *In*: I CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO. V. 1, 2016, ISSN 2526-186X. Campina Grande. Disponível em http://www.editorarealize.com.br/revistas/conidis/trabalhos/TRABALHO_EV064_MD1_SA5_ID2698_24102016230519.pdf. Acesso em 21 fev. 2019.

CRUZ, L. M. **Tratamento de esgoto sanitário em reator anaeróbio preenchido por casca de coco verde (cocos nucifera) combinado com filtro de areia**. Campinas. 2009. Disponível em http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258677/1/Cruz_LuanaMattosdeOliveira_M.pdf. Acesso em 22 fev. 2019.

FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. Cada real gasto em saneamento economiza nove em saúde”, disse ministro da saúde, 2017. Disponível em http://www.funasa.gov.br/todas-as-noticias/-/asset_publisher/lpnzx3bJYv7G/content/cada-real-gasto-em-saneamento-economiza-nove-em-saude-disse-ministro-dasaude?inheritRedirect=false, acesso em 12 fev.2019.

GOMES, B. G. **Tratamento de esgoto de pequena comunidade utilizando tanque séptico, filtro anaeróbio e filtro de areia.** Campinas. 2015. disponível em http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258423/1/Gomes_BiancaGraziellaLentoAraujo_M.pdf. Acesso em 07 fev. de 2019.

GLOBO. **Saneamento avança, mas Brasil ainda joga 55% do esgoto que coleta na natureza, diz estudo.** 2018. Disponível em <https://g1.globo.com/economia/noticia/saneamento-avanca-mas-brasil-ainda-joga-55do-esgoto-que-coleta-na-natureza-diz-estudo.ghtml>, acesso em 06 mar. 2019.

GURGEL, R. G. **Principais espécies e variedades de grama.** Botucatu. 2003. Disponível em <http://infograma.com.br/wp-content/uploads/2015/10/PRINCIPAISESP%C3%89CIES-E-VARIEDADES-DE-GRAMAS.pdf>. Acesso em 12 fev. 2019.

HIDROENERGIA. As 5 maiores fontes de energia elétrica no Brasil. Ijuí. 2018. Disponível em <http://www.hidroenergia.com.br/as-5-maiores-fontes-de-energia-eletrica-no-brasil/>. Acesso em 12 fev. 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Território e ambiente. (s.d.) Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/cajazeiras/panorama>. Acesso em 01 fev. 2019.

JUNIOR, R. M.; MARTINS, M. V. L. Dimensionamento de filtro de areia para tratamento de água cinza do bloco novo do irn. Itajubá. 2016. Disponível em: <file:///C:/Users/CEOF/Downloads/48130-185195-1-PB.pdf>. Acesso em 11 fev. 2019.

KREBS, L. F.; SATTLER, M. A. (2012). Coberturas vivas extensivas: análise da utilização em projetos na região metropolitana de Porto Alegre e Serra Gaúcha. Porto Alegre. Disponível em <http://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/248>. Acesso em fev. 2019.

MELLO, G. B. P. D. *et al.* (2010). **Estudo da implantação de um telhado verde na faculdade de engenharia mecânica.** Campinas. Acesso em 12 fev. 2019.

RIBEIRO, J. W.; ROOKE, J. M. S. **Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública.** Juiz de Fora. 2010. Disponível em <http://www.ufff.br/analiseambiental/files/2009/11/TCCSaneamentoSa%C3%BAde.pdf>. Acesso em 12 fev. 2019.

SANTOS, L. R. **Pós-tratamento de efluentes de filtro anaeróbio procedido de tanque séptico por filtros aeróbios intermitentes de areia.** 2012. Disponível em <http://pos-graduacao.uepb.edu.br/ppgcta/download/dissertacoesdefendidas/Dissertacoes2012/Dissertacao%2057%20LEONARDO.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2019.

SAVI. Adriane Cordoni. Telhados verdes: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura. (Monografia de Especialização) Curso de Construções Sustentáveis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2012.

SILVA, R. S. **Reuso agrícola do efluente de um filtro anaeróbio utilizando um sistema de irrigação por sulcos.** Campinas. 2003. Disponível em http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/257852/1/Silva_RicardoStahlschmidtPinto_M.pdf. Acesso em 17 fev. 2019.

TONETTI, A. L. *et al.* **Tratamento de esgoto e produção de água de reúso com o emprego de filtros de areia.** Rio de Janeiro. 2012. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522012000300005. Acesso em 02 fev. 2019

TERA. (2013). Irrigação é responsável pelo consumo de 72% da água no Brasil. Jundiaí. Disponível em <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-teraambiental/bid/320413/irrigacao-responsavel-pelo-consumo-de-72-da-agua-no-brasil>. Acesso em fev de 2019.

CONFORTO TÉRMICO EM REFORMAS COM FINALIDADE SOCIAL

Data de aceite: 01/04/2021

Barbara Correia do Nascimento

Universidade Anhembi Morumbi

Gabriela Leite Lucio

Universidade Anhembi Morumbi

Luiz Fernando Antunes de Souza

Universidade Anhembi Morumbi

Taynah Thara Ferreira Bandeira

Universidade Anhembi Morumbi

Maria Fernanda Quintana Ytza

Universidade Anhembi Morumbi

RESUMO: O artigo iniciou-se a partir de análises das obras da organização social Habitat para a Humanidade, que atua em diversas comunidades realizando reformas das moradias de famílias de baixa renda. Este trabalho parte do princípio que em uma moradia, além dos aspectos principais como boa estrutura, saneamento básico e instalações adequadas, precisa ser levado em consideração o conforto térmico de seus residentes. Este estudo tem por objetivo apresentar três materiais que, por conterem em suas propriedades componentes que auxiliam no isolamento térmico, podem incrementar o sistema de cobertura já executado nas obras da ONG, sendo eles: poliestireno expandido (EPS), embalagens Tetra Pak® e pintura da parte externa das telhas. A análise se deu através de comparações de testes práticos realizados por alguns autores, a partir de diferenças de

temperaturas obtidas em medições em protótipos com e sem a aplicação dos materiais.

PALAVRAS-CHAVE: Conforto térmico. Obras sociais. Reforma de cobertura. EPS. Tetra Pak. Pintura externa das telhas.

THERMAL COMFORT IN REFORMS WITH SOCIAL PURPOSE

ABSTRACT: The article started from the analyzes on the works of the social organization Habitat for Humanity, which works in several communities carrying out reforms on low-income families houses. This work assumes that in a house, despite the main aspects which are structure, sewerage and adequate facilities. Also the thermal comfort of its residents must be taken into consideration. This study aims to present three materials that contain components that assist in thermal insulation in their properties. It can increase the coverage system already executed in the NGO's works, namely: expanded polystyrene (EPS), Tetra Pak® packaging and paint the outside of the tiles. The analysis took place through comparisons of practical tests carried out by some authors, based on temperature differences obtained in measurements on prototypes with and without the application of materials.

KEYWORDS: Thermal comfort. Social works. Coverage reform. EPS. Tetra Pak® packaging. External painting of the tiles.

1 | INTRODUÇÃO

É de amplo conhecimento que um grande número de famílias atualmente passa por

dificuldades financeiras e nessa situação muitas delas não conseguem acesso à moradia digna. O número de comunidades com habitações precárias é uma realidade que vem crescendo não só no Brasil, mas em todo o mundo. Segundo um estudo publicado pela Abrainc (Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias, 2020), o déficit habitacional brasileiro em 2019 chegou a 7,797 milhões de moradias, “o que demonstra a necessidade imensa que temos na rápida construção de moradias” (CAMPOS e LARA, 2012).

É nesse contexto que surgem as ONGs e programas de habitações sociais, projetos amplamente difundidos no país e que aparecem como uma solução para esse problema. Mas até que ponto eles oferecem a seus beneficiados a qualidade que uma habitação deve ter? Segundo Menezes (2016), uma análise geral sobre os programas habitacionais de interesse social mostrou que existe um impasse entre quantidade e qualidade dessas habitações, a segunda teria um enfoque menor, sendo o conforto térmico uma das problemáticas do sistema.

Dados apontados pela organização social Habitat para a Humanidade mostraram que cerca de 43% das reformas solicitadas à ONG têm o telhado como prioridade no escopo de melhoria. No entanto, esse reparo é realizado em 57% das obras, como é possível verificar na Figura 1.

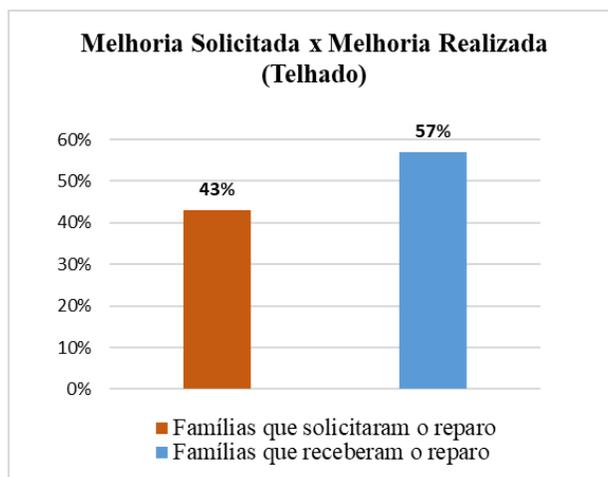


Figura 1 – Gráfico comparativo

Fonte: Dados extraídos de gráfico fornecido pela Habitat Brasil.

Habitat para a Humanidade Brasil é uma organização global não governamental, sem fins lucrativos, que tem como causa a promoção da moradia como um direito humano fundamental. No Brasil há 26 anos, a organização já desenvolveu projetos em 11 estados e transformou a vida de mais de 76 mil pessoas (HABITAT PARA A HUMANIDADE BRASIL, 2018).

Através de pesquisas de satisfação realizadas pela própria Organização, foram levantadas algumas questões e problemáticas das reformas já executadas e percebeu-se que a má ventilação e a alta condução de calor nos ambientes, em decorrência das telhas de fibrocimento utilizadas, são fatores que se repetem em praticamente todas elas, como mostra a Figura 2. Sendo o objeto de estudo deste artigo a melhora do conforto térmico através da reforma do sistema de cobertura da residência, é possível observar que mais da metade das famílias atendidas pela ONG poderiam ter uma melhora na qualidade térmica de suas casas se as reformas das coberturas, que já são executadas em larga escala, fossem aliadas aos materiais que serão apresentados neste trabalho.



Figura 2 – Sistema de cobertura em telhas de fibrocimento utilizado pela Habitat Brasil

Fonte: Foto cedida pela Habitat Brasil.

O intuito dessa pesquisa foi encontrar um modo de poder ajudar famílias que muitas vezes dependem de ações como as da ONG citada anteriormente, propondo soluções que possam melhorar o bem-estar dos residentes. Tendo como finalidade aliar os conhecimentos de engenharia com o trabalho realizado por eles, foram analisados três materiais que podem incrementar o sistema de cobertura já executado nas obras: EPS, embalagens Tetra Pak® e pintura da parte externa das telhas.

2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Diante de cenários desfavoráveis, devido a desastres naturais e más condições financeiras, muitas famílias vivem em residências com diversas irregularidades e sem condições de contratar um profissional adequado para fazer a obra necessária em sua habitação.

Quando se fala em construções voltadas para o interesse social, inúmeros métodos construtivos surgem para inovar e dar apoio àqueles já existentes. A escolha é feita de acordo com a melhor adequação aos critérios: disponibilidade no mercado, transporte, manutenção e durabilidade. É preferível que o sistema apresente a possibilidade de pré-fabricação, minimizando-se tempos de montagem in loco e, conseqüentemente, contribuindo para um rápido tempo de resposta em casos de desastres naturais (FILHO e SILVA, 2017).

Independentemente do método utilizado, um dos parâmetros que definem uma boa construção é a questão do conforto térmico dos ambientes. Em obras de interesse social esse é um quesito que se destaca como um dos principais motivos de reclamação dos moradores.

O desempenho térmico caracteriza-se como o comportamento térmico mínimo esperado das edificações e/ou seus componentes (janelas, coberturas, paredes), visando melhores condições de conforto térmico interior e melhor racionalização energética nos equipamentos de climatização artificial (BOGO, 2008, p.2).

Uma moradia com mau desempenho térmico acarreta diversos problemas para as pessoas que ali habitam, desde um desconforto em permanecer no interior da residência, até maiores gastos com medidas paliativas que visam tentar amenizar o problema, como gastos com ventiladores e equipamentos de ar-condicionado.

Em obras de pequeno e médio porte, como casas, além de um bom posicionamento de portas, de janelas e até de paredes, uma das etapas que influenciam no resultado do conforto térmico é a questão das coberturas. Muitos são os métodos construtivos e materiais utilizados nessa etapa, desde telhas, lajes, forros, entre outros. Cada técnica e material possui propriedades específicas e através delas garantem diferentes efeitos de acordo com a sua utilização. De acordo com Gizela Peralta (2006), “as temperaturas superficiais das telhas (resultantes da intensidade da incidência de radiação solar) exercem influência sobre o ganho de calor interno”, o que evidencia a importância da escolha do material que funcionará melhor em cada região e tipo de obra.

Um estudo feito por Martini (2010) verificou que diversas famílias atualmente vivem em comunidades e têm suas habitações cobertas com telhas de cimento-amianto que, devido suas características, podem facilmente alcançar altas temperaturas sob a incidência da luz solar e irradiar seu calor para o interior das residências, aumentando a temperatura

internamente e provocando o desconforto térmico aos habitantes.

Segundo Michels (2007), citada por Martini et al. (2010), “a finalidade de isolar termicamente é dificultar a transferência de calor entre dois sistemas que se encontram a níveis diferentes de temperatura”. Um exemplo de um esquema de transferências de calor em um telhado é apresentado na Figura 3.

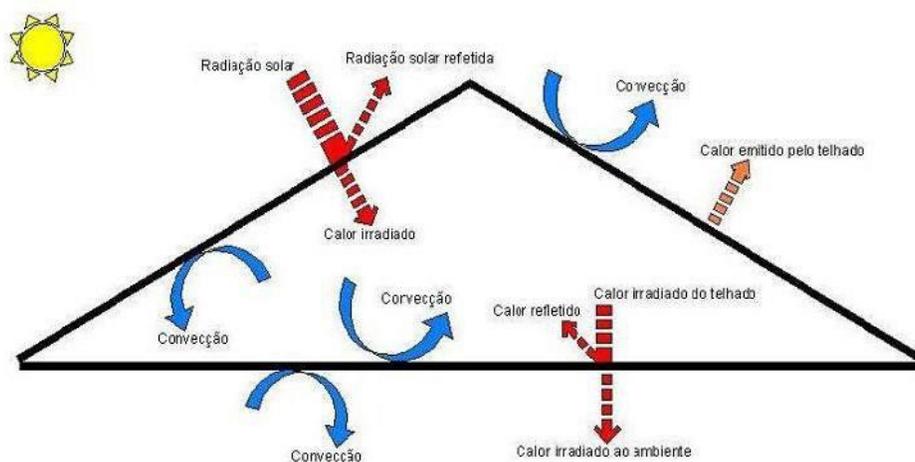


Figura 3 – Esquema das trocas de calor em um telhado

Fonte: Michels, (2007) citada por Martini et al. (2010)).

3 | METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A realização deste artigo se deu por meio do levantamento de dados e informações fornecidos pela equipe da organização social Habitat para a Humanidade sobre as reformas já realizadas, seguido por análises bibliográficas de artigos, dissertações e trabalhos referentes ao uso dos materiais e sistemas escolhidos como alternativas para melhorar a questão da problemática apresentada.

A escolha dos materiais a serem analisados deu-se por critérios como: baixo custo, agilidade na execução, baixa condutividade térmica e por questões ambientais, como é o caso do forro a partir de embalagens Tetra Pak®.

Os trabalhos selecionados se basearam em comparações através de resultados de estudos práticos sobre os materiais em análise. A praticidade e viabilidade também foram características primordiais para a escolha dos métodos.

Como base para este estudo foram levadas em consideração as diferenças entre as temperaturas máximas iniciais e as obtidas após o emprego dos materiais, decorrentes dos diferentes tipos de testes realizados e seus respectivos resultados.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Tetra Pak®

O primeiro material a ser abordado neste artigo são as embalagens de Tetra Pak®. Por conterem em sua composição alumínio, além de serem ótimas refletoras da radiação solar, as embalagens também atuam como bons isolantes térmicos quando aplicadas em forros ou subcoberturas.

O uso do Tetra Pak® como isolante térmico é uma ótima solução não só na questão do conforto térmico, mas também pelo fato de proporcionar a reutilização do material, diminuindo seu descarte na natureza. Segundo Martini et al. (2010), “a utilização das embalagens Tetra Pak® tem benefício ecológico pelo fato de que a maior parte destas embalagens não são biodegradáveis e representam cerca de 1% do total de resíduos produzidos no Brasil”. Martini, em sua análise experimental, executou testes de mudança de temperatura em uma maquete de casa de madeira coberta com telhas de cimento-amianto, com e sem a utilização de uma subcobertura de Tetra Pak®. A maquete estava instalada sobre um gramado, exposta à luz solar, e as medições de temperatura foram realizadas das 10h às 15h durante 6 dias, 3 dias para cada opção (com e sem isolamento da cobertura).

Os resultados obtidos pelas medições da temperatura em cima da telha e da temperatura interna da maquete mostraram que “a utilização de subcobertura diminuiu a temperatura interna do ambiente em 6,92°C, isto corresponde a uma temperatura 17,5% menor” (MARTINI ET AL., 2010).

Outro projeto utilizando o Tetra Pak® foi feito por Fernandes et al. (2014), no qual foi realizada a coleta dos materiais, lavagem, confecção e instalação de painéis feitos com as embalagens em residências de famílias de baixa renda.

De acordo com Fernandes et al. (2014), os resultados quantitativos do projeto não foram levados em consideração em sua análise, pois a medição de temperatura do ambiente após a instalação dos painéis ficava a cargo dos moradores, e estes acabavam por se esquecer ou medindo em outros horários fora do estabelecido (12h). Portanto, os resultados foram de ordem qualitativa, levando em consideração a satisfação dos residentes após a instalação.

Mesmo sem os dados quantitativos dos termômetros, as famílias beneficiadas, quando perguntadas sobre o resultado da instalação, expressaram unanimidade de opinião: mostraram-se muito satisfeitas com o ambiente após a instalação, e relataram o aumento da temperatura em dias mais frios e sua diminuição em dias mais quentes (FERNANDES, 2014).

Ambas as análises mostraram que seja por resultados quantitativos ou qualitativos, a utilização de embalagens Tetra Pak® como isolantes térmicos é uma opção eficiente, barata e de fácil execução. O protótipo utilizado como teste no estudo de Martini et al.

(2010) exemplifica como seria a instalação da subcobertura em uma residência, como mostra a Figura 4.



Figura 4 – Maquete de madeira onde foram realizados os testes utilizando as embalagens Tetra Pak® como subcobertura

Fonte: Martini et al. (2010).

4.2 Pintura da parte externa das telhas

Numa segunda opção de estudo aparece o termo ‘White roof’, em tradução “telhado branco”, sistema que utiliza a pintura de telhados com tinta branca comum ou refletiva (cores variadas), tendo o intuito de reduzir a condutividade térmica nas edificações e podendo consequentemente influenciar na diminuição do consumo de energia.

A tinta é um material de construção civil utilizado em várias situações devido as suas propriedades estéticas e protetoras. Aliar essas propriedades ao desempenho térmico de materiais de cobertura utilizados no Brasil, formando um sistema construtor tinta- telha seria benéfico, pois melhoraria o conforto térmico dos moradores (IKEMATSU, 2008, p. 5).

Diante das bibliografias analisadas, os métodos utilizados para comprovação de que esse sistema é eficiente foram as aplicações desse material em escala real e em três protótipos: o primeiro sem a aplicação de tinta, o segundo com tinta refletiva e o terceiro com tinta comum branca, todos aplicados em telhas de fibrocimento, observando-se a queda na temperatura nos resultados de todos os estudos.

Tanto a cobertura submetida à pintura de cor branca com tinta látex PVA,

quanto a submetida à pintura de cor branca com tinta refletiva, apresentaram desempenho térmico semelhante. Fica evidente que o tratamento na telha de fibrocimento com pintura de cor branca, seja ela refletiva ou látex PVA, proporciona maior conforto térmico aos usuários da edificação (PEREIRA et al., 2019).

Porém ainda com ressalvas sobre qual dos tipos de tinta é mais eficiente, Ikematsu (2008) afirma que “observa-se nas tintas convencionais que quanto mais clara é a cor da tinta, maior é o valor da sua refletância. Nas tintas refletivas, independente da sua cor ser clara ou escura, não há influência da cor na refletância das películas” e acrescenta dizendo que as telhas que tiveram a aplicação da tinta refletiva apresentam temperaturas menores que as telhas com tinta comum ou sem tratamento de pintura.

4.3 Poliestireno Expandido (EPS)

O outro material a ser abordado é o poliestireno expandido (EPS). Segundo Tessari (2006), citada por Nicaretta et al. (2008), o EPS possui um baixo coeficiente de condutividade térmica, sendo da ordem de 0,030 a 0,034 w/m °C. Além disso, ainda de acordo com Nicaretta et al. (2008), “este material apresenta um baixo índice de absorção de água e é um material extremamente leve já que é formado por 2% de poliestireno e 98% de vazios, fato que o torna um material de fácil manuseio”.

EPS é a sigla internacional do Poliestireno Expandido. Foi descoberto na Alemanha em 1949 pelos químicos Fritz Stasny e Karl Buchholz. No Brasil é popularmente conhecido como Isopor®, marca registrada da empresa Knauf (ABIQUIM (Associação Brasileira da Indústria Química), 2014).

Como citado por Amanda Vechiato (2017), o uso de EPS na construção civil destaca-se também por contribuir, entre outros, com a diminuição da utilização de equipamentos de ar condicionado e conseqüentemente com a redução de gastos com a energia, além de evitar doenças provocadas pela criação de umidade e bolor. Assim como a maioria dos materiais, o poliestireno expandido também possui alguns pontos negativos, já que a “sua fabricação vem do petróleo que além de ser poluente, é prejudicial no caso de um incêndio (ALMEIDA, 2018)”, no entanto, devido suas ótimas propriedades, o EPS pode ser um grande aliado no quesito conforto térmico quando associado a outros materiais.

Os estudos analisados realizaram testes em modelos de protótipos de madeira com medidores de temperatura para avaliar a sensação térmica interna das células, e fizeram comparações entre as medições da temperatura do ambiente com e sem o isolamento da cobertura.

No estudo de Almeida (2018), os protótipos foram expostos ao calor do sol e as medições foram realizadas de uma em uma hora, no horário de maior incidência solar, das 10h às 16h. Já no estudo feito por Nicaretta et al. (2008), “para aumentar a temperatura do meio externo foram utilizadas quatro lâmpadas de 100 W cada, gerando uma potência total de 400 W em cada célula teste”. Ainda de acordo com Nicaretta et al. (2008), “depois

de ligadas as lâmpadas foram coletadas medições de temperatura a cada cinco minutos de ambas as células testes [...] por um período de duas horas para cada opção de isolamento”.

Analisando os resultados dos testes realizados na opção 4 do estudo feito por Nicaretta et al. (2008), verificou-se através da instalação de uma placa de isopor de 1cm de espessura em uma célula teste de madeira que as diferenças de temperaturas nas medições com e sem isolamento foram bem satisfatórias, sendo a diferença máxima de temperatura obtida de 1,90°C.

Já no estudo feito por Almeida (2018), em que foram utilizadas 4 placas de poliestireno expandido de 100 cm de comprimento, 30 cm de largura e 8 cm de altura, a diferença máxima de temperatura obtida foi bem maior, sendo de 28,2°C.

A diferença de resultados entre as duas análises se deu devido aos métodos de medições utilizados e espessura das placas de EPS, no entanto, mesmo diferentes, as conclusões obtidas pelas análises mostraram-se satisfatórias, seja na questão quantitativa ou qualitativa, o que demonstra que o poliestireno quando usado como isolante térmico pode ser uma ótima solução para sistemas de cobertura, que é exemplificado na figura 5.



Figura 5 – Forro EPS

Fonte: (ABIQUIM (Associação Brasileira da Indústria Química), 2014).

4.4 Análise Comparativa

A partir da análise dos resultados obtidos pelos artigos citados anteriormente, é possível notar que os três materiais/sistemas de subcobertura são capazes de constituir uma ótima solução para melhorar a questão térmica em um ambiente. Para uma melhor análise foi elaborada uma planilha comparativa com os dados de temperatura obtidos nos artigos estudados, diante dos testes em protótipos com e sem a aplicação dos materiais em estudo. Foram utilizados como base para comparação apenas as temperaturas máximas obtidas nos estudos, devido à incapacidade de compará-los por outro método quantitativo.

As medições foram feitas por diferentes sistemas, o que pode acarretar valores muito distintos, mas que ainda assim comprovam a eficiência do material diante da problemática.

Protótipos	Pintura			Tetra pak		EPS	
	Sem pintura	Refletiva	Comum	Sem forro	Com forro	Sem forro	Com forro
	32,97 °C	30,06 °C	29,69 °C	39,54°C	32,62 °C	55,3 °C	27,1 °C
Amplitude	sem pint. / refletiva	2,91 °C		6,92 °C		28,2 °C	
	sem pint. / comum	3,21 °C					
	refletiva / comum	0,37 °C					

Tabela 1 – Comparação das temperaturas máximas extraídas dos artigos em estudo. Dados obtidos por análises práticas.

Fonte: Tabela elaborada pelos autores, com valores retirados dos artigos estudados anteriormente.

Analisando a Tabela 1, nota-se uma grande variação dos valores obtidos no estudo prático do EPS, isso se deu porque Almeida (2018) utilizou um forro de madeira como base para posicionamento do material e a medição de temperatura se deu no próprio teto e não no ambiente como um todo, resultando assim em valores mais elevados, mas ainda com uma queda brusca de quase 50% da temperatura após a aplicação do material.

O Tetra Pak® teve sua aplicação no protótipo como único forro, trazendo algo mais próximo da realidade vivenciada pelas famílias assistidas pela Habitat. A amplitude alcançada corresponde a uma queda de quase 20% na temperatura. Já a pintura sobre a cobertura apresenta amplitude de temperatura menor que os outros dois materiais, porém não deixa de mostrar sua eficiência quanto à diminuição da temperatura com sua aplicação, com a possibilidade de utilização de dois tipos diferentes do mesmo material. No estudo em questão, a tinta branca comum se mostrou um pouco mais eficiente porém, através de análises, fica claro que a tinta refletiva sempre apresenta resultados satisfatórios, independente da sua cartela de cores (Ikematsu, 2008).

5 | CONCLUSÃO

De um modo geral, considerando a aplicação dos materiais/sistemas, verificou-se que todos eles se encaixariam bem na situação, podendo uma combinação dos sistemas acarretar ainda mais benefícios à questão, ficando aqui proposta a continuação dessas análises para possível feito.

Para efeitos deste estudo, propondo melhorias para reforma com finalidade social, o Tetra Pak® se mostra como a melhor opção a ser utilizada pela Habitat em suas reformas

para solucionar o problema do conforto térmico.

Este é um material que está muito presente no dia a dia das famílias, seja em forma de caixa de leite ou suco, por isso, o sistema de subcobertura composto por ele, além de ser eficiente, iniciaria um movimento de reciclagem na própria comunidade onde a ONG pode vir a atuar, gerando programas de coleta seletiva das embalagens para a execução desse sistema.

REFERÊNCIAS

BOGO, A. José., **Limitações quanto aos parâmetros de desempenho térmico e estratégias bioclimáticas recomendadas pela norma brasileira de desempenho térmico de habitações de interesse social**. FURB, Blumenau-SC, 2008.

CAMPOS, F. P. e LARA, H. A., **Sistemas construtivos alternativos para habitações populares**. USP, São Paulo, 2017.

FILHO, B.A.G. e SILVA, M. F. V., **Proposta de projeto para moradias de emergência**. UTDPR, Curitiba, 2017.

MENEZES, M. S., **Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo – RS**. UPF, Passo Fundo, 2006.

PERALTA, G., **Desempenho térmico de telhas análise de monitoramento e normalização específica**. EESC/USP. São Carlos, 2006.

PEREIRA, C. D., SIQUEIRA, W. F., PORFIRO, L. D., TOLEDO, E. M. e SILVA, A. A. M. T. **Estudo comparativo de desempenho térmico entre tintas de cor branca aplicadas em coberturas de fibrocimento**. vol.9, n2. REVISTA ANAPÓLIS DIGITAL. Anápolis, 2019.

MOURA, R. G. e FIESS, J. R. de F. **Inovação para o conforto térmico: Análise das potencialidades da tinta refletiva**. UNICESUMAR. Campo Mourão. IX EPCT – Encontro de Produção Científica e Tecnológica, 2014.

IKEMATSU, P. **Estudo de refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes**. Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2008.

MARTINI, Martini., TRINDADE, T. Q., **Modelagem matemática da reflexão da radiação solar utilizando embalagens tetra pak® como isolante térmico**. Disponível em: <<https://www.revista.ajes.edu.br/index.php/rca/article/view/54/41>>

FERNANDES, J.S.; DANIELEWICZ, R.J.; SECCO, J., **Isolamento térmico de residências através da reutilização de embalagens Tetra Pak**. Revista Brasileira de Extensão Universitária, v. 5, n. 1, p. 13-17, 2014. Disponível em: <<https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/RBEI/article/view/905/pdf>>

BRIFÔ. **Habitat para a Humanidade Brasil**, 2018. Quem somos. Disponível em:<<https://habitatbrasil.org.br/quem-somos/>>. Acesso em: 22 de set. de 2020.

ALMEIDA, S. de A. e FERNANDES, F. L. F. **Comparativo de dois materiais isolantes para telhado: Poliestireno expandido e lã de rocha**. FEPI. Itajubá, 2018.

VECHIATO, A. M. V. **Estudo de métodos construtivos inovadores com poliestireno expandido**. UTFPR. Campo Mourão, 2017.

ALBIQUIM. **Associação Brasileira da Indústria Química – Comissão Setorial de EPS**, 2014. Disponível em: <<http://www.epsbrasil.eco.br/eps/index.html>>. Acesso em: 06 out. 2020.

ABRAIN: Brasil terá demanda por mais 30,7 milhões de novas residências até 2030. **Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias**, 2020. Disponível em: <<https://www.abrainc.org.br/abrainc/2020/09/29/abrainc-brasil-tera-demanda-por-mais-307-milhoes-de-novas-residencias-ate-2030/>>. Acesso em: 10 nov. 2020.

ABRIGOS TEMPORÁRIOS EM ESTRUTURAS DE MADEIRA

Data de aceite: 01/04/2021

Amanda Nascimento Mesquita

Universidade Anhembi Morumbi

Beatriz Staff

Universidade Anhembi Morumbi

Derlan Cruz Gonçalves

Universidade Anhembi Morumbi

Victor Gitti Alves

Universidade Anhembi Morumbi

Vinicius Gabriel Xavier Tomaz

Universidade Anhembi Morumbi

Maria Fernanda Ytza Quintana

Universidade Anhembi Morumbi

RESUMO: A partir de um levantamento bibliográfico sobre catástrofes e a necessidade brasileira de lidar com pessoas desabrigadas, foi proposto um modelo de abrigo que pudesse atender a estas necessidades, levando em consideração a hospedagem das vítimas atingida em um espaço amplo, dispondo também de áreas para depósito de doativos e para higiene pessoal. Para a concepção da estrutura, foi definida a utilização de madeiras trabalhadas com a técnica CLT (*Cross Laminated Timber*), um método pouco explorado no país; devido a escolha da técnica, a madeira *Pinus Elliotti* se mostrou a mais adequada para a atender os requisitos de disponibilidade, resistência e sustentabilidade. Através da definição desse método, todo o

projeto foi desenvolvido pensando em uma construção que pudesse atender à diferentes regiões do país e também as normas brasileiras de incêndio, saídas de emergência, estruturas de madeira, e de cargas estruturais em edifícios, além de normas internacionais para o uso e aplicação do CLT, ainda escasso na literatura nacional. Observando todas as necessidades, a edificação proposta foi no modelo de galpão térreo com treliças apoiando telhas metálicas para a cobertura, com placas de madeira CLT (vedação lateral e piso) e pilares de madeira para resistir aos esforços estruturais. De acordo com a literatura científica, ensaios referenciados neste artigo, e cálculos desenvolvidos, os materiais escolhidos suportam perfeitamente as cargas solicitantes.

PALAVRAS-CHAVE: Abrigo, Esforços estruturais, Madeira, Método CLT.

TEMPORARY SHELTERS IN WOOD STRUCTURE

ABSTRACT: Based on the bibliographic research on catastrophes and the Brazilian need to deal with homeless people, a model of shelter was proposed to attend these needs, considering the sheltering of the victims attained in a wide space, also having areas for depositing donations and for personal hygiene. For the develop of the structure, was determined the use of a special threated wood with the CLT technic (*Cross Laminated Timber*), a method underexplored in the country; due the definition of the method, *Pinus Elliotti* wood has proved to be the most appropriate material to answer the availability,

resistance and sustainability requests. Through the definition of this method, the entire project was developed thinking in a construction that could attend to different country places and also the Brazilian norms of fire prevention, emergency exits, wood structures, and structure load in buildings, also including international norms for the application of CLT, that is scarce in national literature. Looking to all the needs, the proposed building was the ground level hangar model with truss supporting the metal roof for the cover, with CLT wood plates (side seal and floor) and wooden pillars to resist the loads. According to the scientific literature, tests referenced in this article, and studies developed, the chosen materials supports perfectly the requested loads.

KEYWORDS: CLT method, Shelter, Structural efforts, Wood.

1 | INTRODUÇÃO

Desastres naturais acontecem frequentemente no Brasil e podem levar a diversas consequências, principalmente quando atingem pessoas em situações de maior vulnerabilidade. Em meio a esse cenário catastrófico, é importante entender como um abrigo temporário pode contribuir para o atendimento e recuperação das vítimas.

O deslocamento forçado de populações atingidas por desastres deste tipo acarreta diversos problemas a toda malha social e a economia, deixando pessoas em situação de vulnerabilidade e gerando danos financeiros e emocionais. É papel do Estado garantir os cuidados necessários à prevenção desses desastres e, além disso, garantir a preservação a vida das pessoas que são atingidas, tendo de disponibilizar a assistência necessária nestes momentos.

É papel da engenharia civil propor soluções inteligentes e otimizadas para minimizar ou solucionar situações como essas de maneira assertiva. Com isso, foi proposto o estudo e desenvolvimento de abrigos para uso temporário.

Para a concepção do projeto foi definido como material base a madeira, através de análise das técnicas, história e benefícios de algumas espécies nativas do Brasil, trazendo também um material que atua de forma positiva para o combate de emissão de gases poluentes que a construção civil origina.

Com isso, propõe-se um abrigo emergencial com estrutura de madeira CLT que possui três fatores fundamentais: a necessidade, a praticidade e a materialidade. Como a necessidade de abrigar pessoas e armazenar donativos são peças primordiais em situações como essas concluiu-se que o formato de galpão modular, que por ser uma construção de baixa complexidade com grande aproveitamento de espaço, é o que melhor atende o objetivo do projeto.

O material utilizado foi a madeira, que possui a característica de transmitir conforto ao usuário, praticidade de montagem, execução mais limpa, segurança e estabilidade necessária para atender às instalações propostas e com benefícios de altas resistências estruturais, devido a novas técnicas de colagem no mercado.

2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Rossim (2018) as grandes cidades brasileiras vêm passando por diversos desastres provenientes da ação humana, são citados diferentes tópicos a respeito desses acidentes, como os deslizamentos de terras que muitas vezes dão-se pelas escavações para implementação de moradias e vias de acesso, minerações, lançamentos de esgotos dentre outros; outro fator muito citado referente aos desastres são as enchentes que cada vez mais acometem famílias brasileiras de todas as regiões do país; pode-se dizer que a questão da falta de investimento público em famílias de baixa renda e a falta de fiscalização do governo são grandes influenciadores nessas incidências de desastres.

Analisando este cenário e levando em consideração que a falta de moradia atinge diversas pessoas que passam por esta situação, este estudo visa analisar a empregabilidade do sistema de *wood frame* como solução para abrigos emergências.

Segundo o artigo CAMPOS, Luiz Augusto e DIAS, Romulo Rezende. Vantagens e Desvantagens do Sistema Construtivo Wood Frame e a Comparação de Custos com Alvenaria, 2018. o sistema *wood frame* possibilita a execução de obras em tempo menor do que os métodos tradicionais usados no Brasil, uma importante característica levando em consideração o cenário retratado anteriormente.

Além disso, esse método ainda enfrenta resistência no setor de construção civil do país segundo artigo SOTSEK, Nicolle Christine e SANTOS, Adriane de Paula Lacerda. Panorama do sistema construtivo *light wood frame* no Brasil, 2018. a expansão do *light wood frame* no Brasil ainda é fortemente dependente de incentivos em fatores culturais/sociais, operacionais, organizacionais/econômicos e ambientais.

3 | METODOLOGIA

O estudo das resistências e arquitetura do galpão foi baseado em pesquisas com empresas especializadas no mercado da construção civil em madeira no Brasil que possuem grande portfólio de projetos já entregues e em andamento como edifícios residenciais, comerciais, galpões e casas.

A elaboração do projeto foi desenvolvida pensando na melhor disposição para os ambientes de modo que pudessem otimizar os espaços e acolher muitas pessoas de maneira positiva. Todos os cálculos, dimensionamentos e projeto foram feitos considerando-se as recomendações das normas técnicas brasileiras NBR 6123/1988, NBR 7190/1997 e NBR 9077/1993, os softwares utilizados foram o AutoCad® e SketchUp®, e os diagramas de esforços e análises estruturais foram calculados pelo programa Ftool.

Foi adotada a madeira nativa do gênero *Pinus* (*Pinus Elliotti*), da família das coníferas, devido à disponibilidade no Brasil, por ser a melhor espécie para utilizar os adesivos que auxiliam na maior durabilidade e resistência da peça, e pelo rápido crescimento para reflorestamento. As características da madeira escolhida, segundo informações retiradas

da NBR 7190/97, são: $f_{ck} = 40,4$ MPa; $E_{c0} = 11.889$ MPa e ρ aparente = 560 kg/m³ (massa específica aparente a 12% de umidade).

A madeira laminada cruzada (CLT) é um método composto por lâminas de madeira dispostas ortogonalmente, ou seja, um arranjo de camadas sobrepostas de forma cruzada, paralela e perpendicular à direção das fibras, unidas com adesivo sob alta pressão.

De acordo com MEZEIRO, Rafaela Maria Marques em Aplicabilidade de painéis CLT em habitação de média densidade em Portugal, 2016 este tipo de método agrega ao projeto maior isolamento térmico e acústico, além de ter um bom desempenho em situações de incêndio.

As peças de CLT foram utilizadas como elementos estruturais e de acabamento pela facilidade e agilidade de serem peças pré-fabricadas, serem bidimensionais e resistirem à flexão nas duas direções. O sistema possui um excelente desempenho referente ao índice de resistência/peso tornando-a uma tecnologia eficiente quanto à esbeltez e leveza da construção.

Visando um conforto térmico, acústico e durabilidade, a madeira selecionada é tratada em autoclave, que consiste em um método que incorpora mecânica e química, permitindo impregnar profundamente o Arseniato de Cobre Cromatado (CCA), substância química popularmente usada para combater organismos xilófagos como cupins e fungos decompositores.

Como a estrutura foi simulada para diferentes regiões brasileiras, todos os materiais foram criteriosamente selecionados para que teoricamente possam atender às condições diversas no país, com o tratamento CLT, o *Pinus elliotti* adquire maior durabilidade e resistência contra fungos que atacam em ambientes úmidos.

Baseando-se no livro CLT handbook, foram recomendadas as seguintes conexões:

- Entre as lajes de piso, recomenda-se um encaixe in loco para que as chapas de madeira CLT sejam encaixadas e fixadas com um parafuso como demonstrado na Figura 2.
- Nas conexões laterais entre as chapas verticais paralelas, utilizam-se encaixes de madeira fixadas com parafusos conforme figura 3.
- Em conexões de chapas verticais perpendiculares, recomenda-se utilizar fixadores metálicos internos com parafusos nos encontros de chapas, conforme figura 4.
- No encontro entre a treliça utilizada na cobertura, recomenda-se o uso de dois tipos de conexão para cada situação específica, quando se trata das conexões entre a tesoura e as chapas, utilizam-se perfis metálicos fixados com parafusos conforme figura 5. No caso da conexão a ser realizada entre a estrutura, e os pilares, são indicados parafusos intertravadas para a fixação, conforme figuras 6 e 7.
- Se a recomendação de fundação for aplicada (concreto armado pré-moldado),

a conexão a ser realizada utiliza perfis metálicos parafusados e intermediados por um perfil de madeira próprio para o solo, conforme Figura 6.

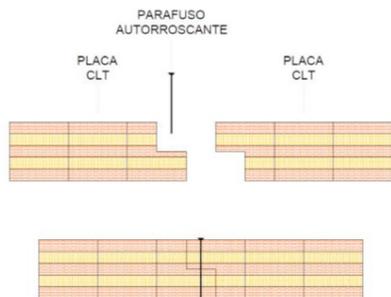


Figura 1 - Conexão entre placas de piso, vista frontal.

Fonte: Acervo pessoal. Adaptação do livro CLT Handbook.

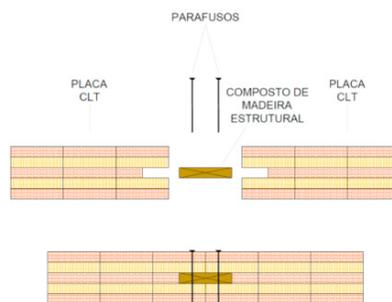


Figura 2 - Conexão entre placas de parede, vista superior

Fonte: Acervo pessoal. Adaptação do livro CLT Handbook.

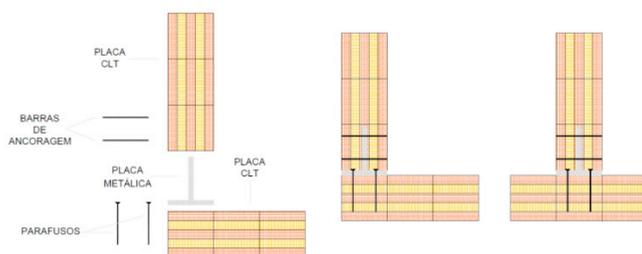


Figura 3 - Conexão entre paredes, vista superior.

Fonte: Acervo pessoal. Adaptação do livro CLT Handbook.

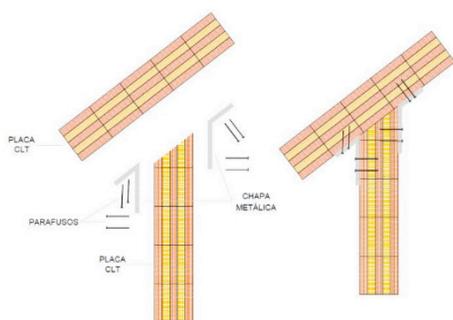


Figura 4 - Conexão entre Parede e Treliça, vista frontal.

Fonte: Acervo pessoal. Adaptação do livro CLT Handbook.

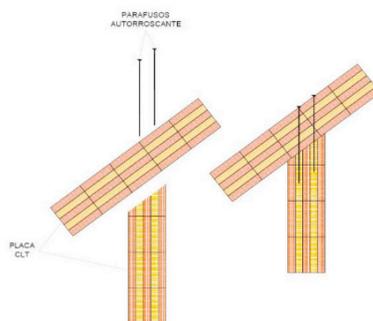


Figura 5 - Conexão entre Parede e pilar, vista frontal.

Fonte: Acervo pessoal. Adaptação do livro CLT Handbook.

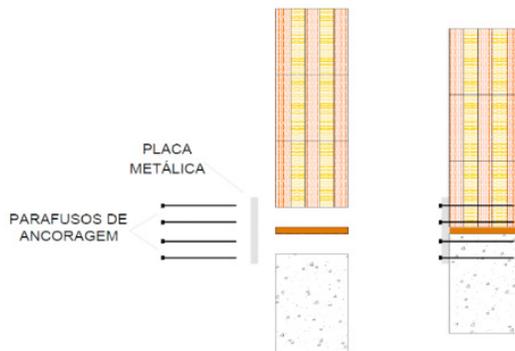


Figura 6 - Conexão de piso/ parede em laje/ fundação de concreto, vista frontal.

Fonte: Acervo pessoal. Adaptação do livro CLT Handbook.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

As definições arquitetônicas foram baseadas no estudo prévio do método CLT de tratamento de madeira de empresas brasileiras, com isso foram selecionadas chapas de madeira em CLT para vedação externa e resistência dos esforços.

Desta forma desenvolveu-se o projeto com capacidade de acomodar em torno de 304 pessoas de maneira confortável em um ambiente com área total construída de 1.171,20m², contendo 2 banheiros, sendo um masculino e outro feminino, e um depósito para armazenamento de alimentos e materiais.

Foi projetada uma cobertura com treliças de madeira com cobrimento em telhas metálicas para atender os esforços solicitados na estrutura definida, tais como os esforços do vento e peso próprio da estrutura.



Figura 7 - Vista externa do galpão projetado.

Fonte: Acervo pessoal.

Foram consideradas 20 treliças em madeira *pinus elliottii* tratada, com seção transversal de 0,15x0,25m, com o tipo *Howe* de tesouras e caimento de 2 águas dispostas, conforme figura 1, para que possibilitasse estabelecer o escoamento da água externa, suportar os esforços provenientes dos ventos (sucção e sobrepressão) e peso próprio capazes de vencer um vão de 24,4 m. O material utilizado levou em consideração a facilidade de instalação e execução em obra por possuir elementos pré-moldados e leve densidade.

Pela fácil instalação, menor inclinação, rápida montagem e facilidade de encontrar o material no mercado, para a cobertura do projeto serão necessárias 192 telhas metálicas onduladas com as dimensões retiradas do catálogo da empresa Gerdau de 6,5x1,02m, conforme a figura 9, e peso específico de 7,76 kg/m².

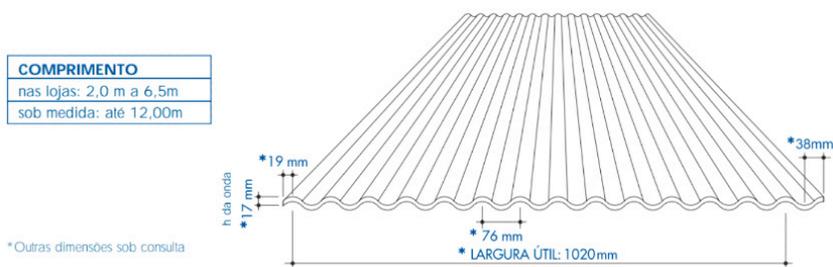


Figura 8 - Dimensões de telhas.

Disponível em: <https://www.construcaocivil.info/download/materiais_de_construcao_civil_i/telhasmetalicasgerdau.pdf>. Acesso em: 22 set. 2020.

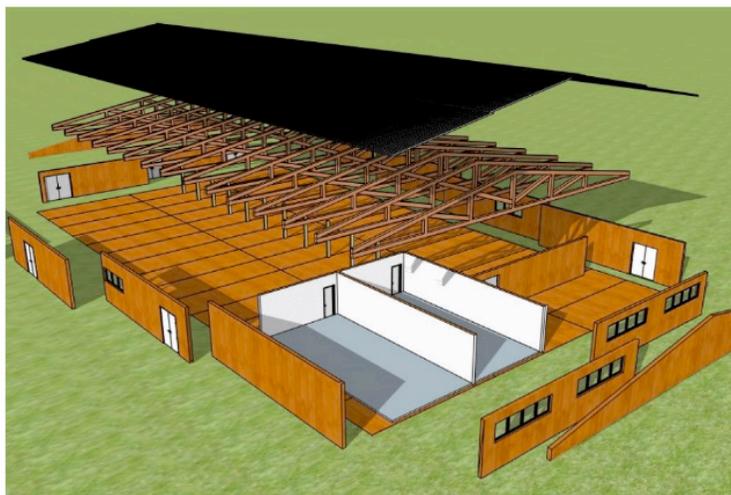


Figura 9 - Detalhamento da estrutura

Fonte: Acervo pessoal.

Para auxiliar nos esforços provenientes da treliça, foram projetados 13 pilares de 3,00x0,25x0,15m de madeira maciça do tipo *Pinus elliotti*.



Figura 10 - Pilares do projeto

Fonte: Acervo pessoal.

Através da resistência oferecida pelo método CLT, para a vedação externa foram escolhidas chapas de madeira com dimensões 3,00x12,00m, segundo as recomendações de algumas empresas brasileiras pioneiras no assunto, com uma espessura de 0,20m contendo 5 camadas coladas cruzadas, sendo 3 dessas camadas no sentido de resistência à compressão paralela às fibras.

Em pesquisas com empresas do mercado, selecionamos todas as esquadrias do projeto visando maior produtividade e desempenho, com perfis e peso otimizados, prevendo sempre atender a norma NBR 10821/17. Para isso, o projeto possui 28 janelas do tipo maxim-ar de 1,00x1,00m distribuídas pela edificação e 3 portas emergenciais externas frontais de 2,50x2,50m, e 2 portas em cada lateral com dimensão de 2,50x2,00m.

Para resistir aos esforços de flexão e compressão provenientes das cargas permanentes de ocupação e estruturais, foram selecionadas 48 placas com dimensões de 3,00x9,00x0,20m de piso em CLT.

Pensando na necessidade de agilidade e versatilidade no processo, e para adaptar-se a maioria dos solos e relevos, as estacas pré-moldadas de concreto armado foram a melhor opção de fundação para projeto. Isso pode divergir de acordo com o solo, pois o galpão foi projetado para implementação em diferentes regiões do Brasil e não considerando um solo fixo.

Baseando-se na NBR 6123, definiu-se os principais parâmetros para o cálculo da ação dos ventos na estrutura. A velocidade básica do vento (V_0) de 40m/s foi adotada através da análise do mapa das isopletras, presente na norma citada, pensando em uma

velocidade característica no Estado de São Paulo sem superestimar os esforços estruturais, e que possa estar presente em diversas regiões do país.

Para determinação do fator topográfico S1, levou-se em consideração uma estrutura plana para o terreno, portanto S1=1,00. O fator S2, que dispõe sobre a rugosidade do terreno, dimensão e altura da edificação sobre o terreno foi definido como categoria III por se tratar de um terreno plano, e de classe B por sua superfície frontal estar entre 20,00 e 50,00 metros. Quanto ao fator estático S3, foi selecionado o grupo 5 por se tratar de uma edificação de caráter temporário, obtendo-se por definição o valor de 0,83.

Utilizando os valores definidos acima foi possível realizar o cálculo do vento característico conforme equação 1:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$

Com o valor característico do vento definido (V_k), é possível obter o valor da pressão dinâmica do vento (q), através da equação 2:

$$q = 0,613 \cdot V_k^2$$

Para determinação do coeficiente de pressão e forma externo, definiu-se o C_e baseado nas tabelas 4 e 5 conforme NBR 6123. Para definição do coeficiente de pressão interna (C_{i1}), trabalhou-se com algumas hipóteses de análises de abertura dominante e demais faces permeáveis.

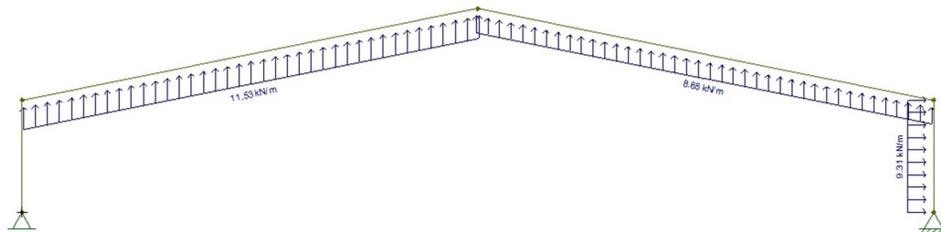


Figura 11 – Diagrama coeficiente de pressão interna

Fonte: Acervo pessoal.

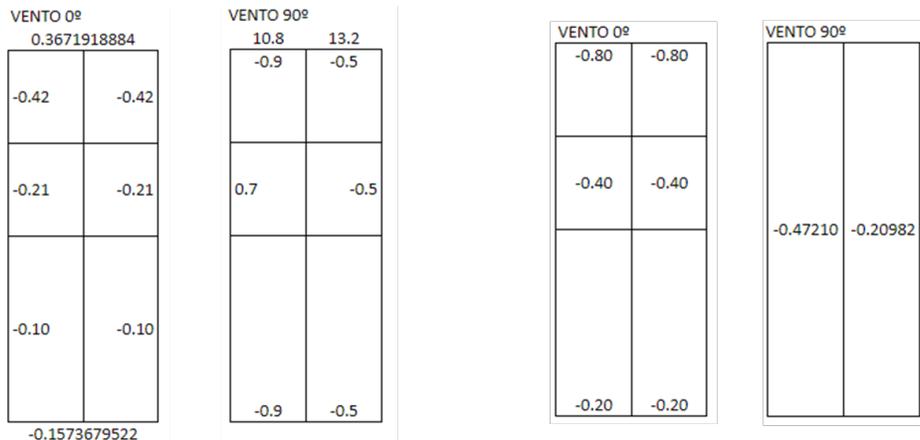


Figura 12 – Diagramas coeficiente de pressão interna

Fonte: Acervo pessoal.

Além das verificações de ação do vento, calculou-se os esforços de sobrecarga de utilização, peso próprio da estrutura (treliça) e peso próprio de vedação da cobertura.

A partir do cálculo da pressão dinâmica do vento, coeficiente de pressão externa e interna, e cargas e sobrecargas de utilização, obteve-se o valor de ΔP , que foram distribuídos na estrutura considerando as ações de sucção e sobrepressão máximas atuantes. Os valores obtidos foram aplicados no software de análise de esforços solicitantes, chegando nos seguintes diagramas:

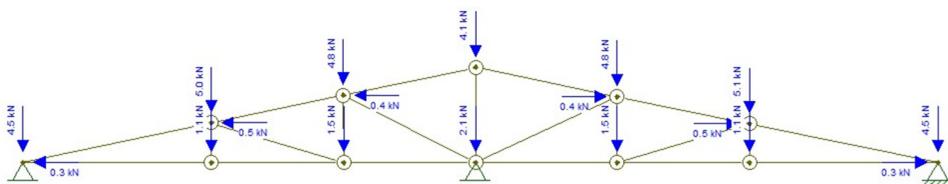


Figura 13 – Diagrama de cargas pontuais de sobrepressão (kN)

Fonte: Acervo pessoal.

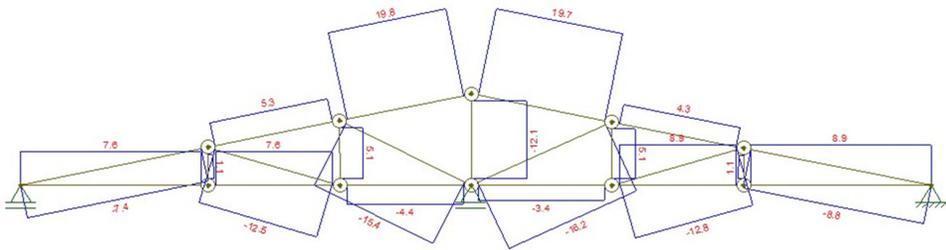


Figura 14 – Resultantes das cargas de sobrepressão (kN)

Fonte: Acervo pessoal.

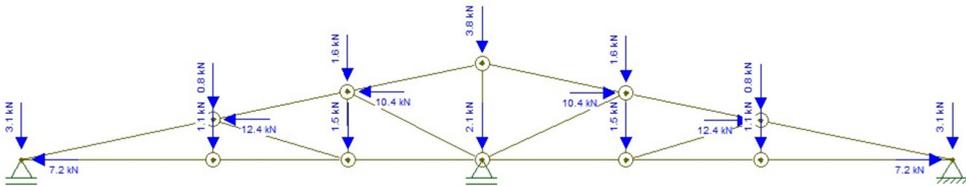


Figura 15 – Diagrama de cargas pontuais de sucção (kN)

Fonte: Acervo pessoal.

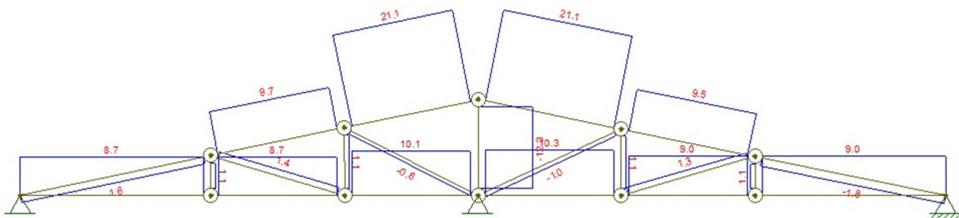


Figura 16 – Resultantes das cargas de sucção (kN)

Fonte: Acervo pessoal.

Com isso, chegou-se aos seguintes valores:

Carregamentos		
Peça	Cargas	Unidade de Medida
Treliça	14,49	kN
Cobertura	0,41	kN
Sobrecarga de Utilização	3,05	kN/m
Ação do Vento - Sucção	10,44	kN/m
Ação do Vento - Sobrepressão	0,65	kN/m

Baseando-se em um estudo encontrado na Universidade de São Paulo, onde foram realizados ensaios utilizando a madeira pinus tratada com o método proposto no decorrer deste artigo, encontrou-se uma tensão admissível, na peça de 5 camadas, de 20,81 Mpa conforme referenciado abaixo:

Ensaio Realizado	Resultado
Flexão Longitudinal	$E_L = 4383,58 \text{ MPa}$
Flexão Transversal	$E_T = 1433,54 \text{ MPa}$
Poisson	$\nu_x = 0,0083 \text{ e } \nu_y = 0,008$
Torção no painel	$G_{xy} = 1242,50 \text{ MPa}$
Rolling Shear, característico	$G'_{90, k}(\text{Mpa}) = 144,34$
Compressão Normal “tipo A”	$f_{c0,a,k} = 20,81 \text{ MPa}$
Compressão Normal “tipo B”	$f_{c0,b,k} = 10,44 \text{ MPa}$
Cisalhamento na linha de cola	$f_{gv,k} = 2,47 \text{ MPa}$
Densidade	$331,98 \text{ Kg/m}^3$
Delaminação	Atendeu aos requisitos

Tabela 19: Resumos de resultados

Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18158/tde-07052015-084252/publico/Dissertacao.pdf> (acesso em 26 de setembro de 2020) Adaptado.

Considerando todas as cargas calculadas e apresentadas, e utilizando o esforço axial nas extremidades (junção da treliça com a placa CLT para vedação das paredes), distribuindo por uma área de influência (1,5m para cada lado em relação ao ponto, multiplicado pela espessura da peça) de resistência da peça CLT, e majorando um coeficiente de 1,5 referente a resistência da madeira, obteve-se um valor de tensão muito inferior à tensão admissível adotada com o referência.



Figura 17 – Área de influência

Fonte: Acervo pessoal.

5 | CONCLUSÃO

Com base nos resultados, é possível que o galpão proposto possa ser concebido em diferentes lugares do país e do mundo, sendo necessário a disponibilidade do material proposto, que foi totalmente baseado em uma técnica de tratamento da madeira relativamente nova no Brasil e ainda pouco explorada, basicamente por existir uma cultura muito receosa quanto ao uso de peças de madeira expostas à esforços estruturais.

Além da possibilidade de construção em diferentes regiões, também foi pensado na facilidade da construção do projeto, sendo uma técnica com pouca geração de resíduo, simplicidade no encaixe das peças de madeira devido a tipologia dos conectores, que foi referenciada através de materiais disponíveis na literatura canadense, auxiliando assim na rapidez da montagem sem grandes complexidades, e também na segurança quanto a durabilidade da madeira, que por ser tratada em autoclave com resinas específicas, garantindo uma resistência fundamental à intempéries.

A utilização do galpão foi pensada para vítimas de desastres ambientais, que encontram-se em situação de desabrigo, um dos temas mais recorrentes no país, dispendo de leitos para mais de 300 pessoas e local para armazenamento de doativos, entretanto, o material acadêmico aqui redigido propõe um galpão que pode ser utilizado para diversos fins, uma vez que sua resistência quanto a esforços estruturais e a intempéries é garantida.

REFERÊNCIAS

ANDERS, Gustavo Caminati. **Abrigos temporários de caráter emergencial**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro. 2019

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro. 1988

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: Projetos de estrutura de madeira**. Rio de Janeiro. 1997

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9077: Saída de emergência de edifícios**. Rio de Janeiro. 1993

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10821: Esquadrias para edificações: Parte 2: Esquadrias externas – Requisitos e classificação**. Rio de Janeiro. 1993.

CAMPOS, Luiz Augusto e DIAS, Romulo Rezende. **Vantagens e Desvantagens do Sistema Construtivo Wood Frame e a Comparação de Custos com Alvenaria**. 2018.

GREEN, Michael; KARSH, E. **The case for tall wood buildings. Canadian Wood Council on behalf of the Wood Enterprise Coalition by Forestry Innovation Investment**, North Vancouver, BC, Canada, 2012.

KARACABEYLI, Erol; DOUGLAS, Brad. **CLT handbook: cross-laminated timber U.S. edition**. Pointe-Claire, QC, Canada, 2013

MANFRINATO, Maria Eduarda. **Estudo sobre o uso da madeira para fins estruturais e arquitetônicos**. 2015.

MEZEIRO, Rafaela Maria Marques. **Aplicabilidade de painéis CLT em habitação de média densidade em Portugal**, 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Florestas do Brasil em resumo**. 2010.

NITAHARA, Akemi. **IBGE: Brasil tem 9,85 milhões de hectares de florestas plantadas**. 2018.

PEREIRA, Marcos Cesar de Moraes. **Metodologia para estudo da caracterização estrutural de painéis de madeira laminada colada cruzada**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SOTSEK, Nicolle Christine e SANTOS, Adriane de Paula Lacerda. **Panorama do sistema construtivo light wood frame no Brasil**. 2018.

SOUZA, Carine Tolotti de. **Definição das cargas provocadas pelo vento em telhado duas águas e dimensionamento das treliças**. 2020.

CAPÍTULO 11

ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE RISCOS EM SEGURANÇA DO TRABALHO PELOS INTERVENIENTES NA CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES VERTICAIS

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 05/01/2021

Vinicius Borges de Lacerda Stecanella

Universidade Estadual de Maringá
Maringá – Paraná

<http://lattes.cnpq.br/6209020908142207>

Beatriz de Souza Correia

Universidade Estadual de Maringá
Maringá – Paraná

<http://lattes.cnpq.br/5378547311626343>

Hugo Sefrian Peinado

Câmara Brasileira da Indústria da Construção
Maringá – Paraná

<http://lattes.cnpq.br/1591975944797856>

RESUMO: A segurança do trabalho em canteiro de obras é importante visto que o número de acidentes de trabalho na construção se destaca como um dos maiores entre as diversas atividades profissionais. Para identificar o estágio e os riscos mais perigosos nesta área, busca-se a percepção dos trabalhadores diretamente envolvidos no processo de construção de edifícios de múltiplos pavimentos. Para isso, utilizando o método AHP de análise multicritério, foi possível classificar as etapas de contenção/escavação/fundação, estrutura, alvenaria externa e revestimento externo, além dos riscos existentes em cada uma (físico, químico, acidental e ergonômico) de acordo com o respectivo grau de perigo. A análise dos trabalhadores evidenciou a percepção do risco de acidentes como o mais perigoso nas

etapas analisadas. Da mesma forma, a estrutura foi a etapa mais perigosa na análise de todos os profissionais, exceto os designados da CIPA, que consideraram o revestimento da fachada.

PALAVRAS-CHAVE: Segurança do trabalho, AHP, canteiro de obras.

ANALYSIS OF THE PERCEPTION OF WORK SAFETY RISKS BY THOSE INVOLVED IN THE CONSTRUCTION OF VERTICAL BUILDINGS

ABSTRACT: Work safety at the construction site is important given that the number of work accidents in construction stands out as one of the largest among the various professional activities. In order to identify the most dangerous stage and risks in this area, the perception of workers directly involved in the process of construction of multi-storey buildings is sought. For this, using the AHP method of multicriteria analysis, it was possible to classify the stages of containment /excavation/ foundation, structure, external masonry and facade covering, besides the existing risks in each one (physical, chemical, accident and ergonomic) according to with the respective degree of danger. The analysis of the workers clearly showed the perception of accident risk as the most dangerous in the analyzed stages. Similarly, the structure was the most dangerous stage in the analysis of all professionals, except CIPA designated, who considered the facade covering.

KEYWORDS: Workplace safety, AHP, Building site.

1 | INTRODUÇÃO

Durante a construção de edificações, os riscos aos quais os trabalhadores poderão estar submetidos na realização de suas atividades são classificados como: físicos, químicos e biológicos, que consistem nos riscos ambientais tratados na NR 9 (BRASIL, 2017); ergonômicos, tratados na NR 17 (BRASIL, 2018a); de acidentes, abrangido pela NR 18 (BRASIL, 2018b) no contexto da construção civil.

Saurin e Ribeiro (2000) afirmam que a percepção em relação à segurança e saúde do trabalho (SST) e à severidade desses riscos varia principalmente entre os níveis hierárquicos, ou seja, a percepção quanto à segurança do trabalho entre o nível gerencial e o nível operacional são diferentes. Partindo desse pressuposto, o emprego de um método quantitativo como o Processo Analítico Hierárquico (do inglês *Analytic Hierarchy Process* ou AHP) proposto por Saaty (1991) se mostra interessante, uma vez que possibilitará quantificar essa diferença de percepção entre os níveis hierárquicos.

Dada a diversidade de riscos aos quais o funcionário estará submetido na produção de edificações verticais e partindo da premissa de que há diferença de percepção em relação aos riscos entre os níveis hierárquicos, consiste como objetivo do presente trabalho identificar quais os riscos considerados mais perigosos na construção de edificações de múltiplos pavimentos a partir da perspectiva dos profissionais envolvidos no processo de construção da edificação.

Apesar de ser evidente que os riscos de acidentes são os mais percebidos pelos intervenientes da construção, uma vez que são operacionais e geram consequências imediatas, esse estudo se justifica por buscar identificar a diferença de percepção de severidade dos riscos entre profissionais em nível operacional e gerencial envolvidos no processo de construção da edificação. Parte-se da premissa de que um pedreiro que recebeu o curso de 20 horas estabelecido pela NR 5 (BRASIL, 2011) para integrar a Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (CIPA) poderá ter um olhar diferente em relação aos riscos em canteiro quando comparado ao pedreiro que não recebeu o treinamento ou mesmo em relação ao mestre de obras. Da mesma forma, o engenheiro de execução, que durante seu processo de formação universitária, teve a temática de SST tratada na grade curricular, potencialmente observará os riscos em canteiro de forma diferente dos demais intervenientes.

2 | RISCOS NA PRODUÇÃO DE EDIFICAÇÕES VERTICAIS

São diversas as atividades que envolvem a produção de uma edificação vertical, sendo que há riscos químicos, físicos, ergonômicos e de acidentes em todas elas e, em algumas, há riscos biológicos. Barbosa Filho (2015), Nagano *et al.* (2016) e Peinado (2019) destacam a necessidade de se atentar para as etapas de execução de fundações e

escavações, estruturas, alvenarias de periferia e no entorno de aberturas nos pavimentos (poços de elevadores e dutos de ventilação, por exemplo) e nos serviços de revestimento externo, uma vez que são as etapas que resultam em maior quantidade de acidentes com afastamento ou morte, principalmente em função de riscos de queda em altura, choque elétrico, soterramento (nas atividades de contenção, escavação e fundação) e choques mecânicos. Alguns riscos presentes nessas etapas trazidos na literatura científica são apresentados no Quadro 1.

Riscos \ Etapa da obra	Contenção e fundação	Estrutura	Alvenaria externa	Revestimento externo
Físico	- Ruídos de equipamentos - Calor ou frio - Vibração de Equipamento	- Ruído de ferramentas - Calor ou frio - Vibração	- Ruído de ferramentas - Calor ou frio	- Calor ou frio
Químico	- Contato com polímeros, lama bentonítica, argamassas e poeiras	- Irritação ou irritação de pele - Pó e poeiras (cimento, cal e areia)	- Pó e poeiras (cimento, cal e areia)	- Inalação de poeiras pelo lixamento de superfícies - Irritação da pele
Ergonômico	- Esforço manual e repetitivo na dobra de armaduras e outros serviços - Postura inadequada - Levantamento de carga	- Esforço manual e repetitivo na dobra de armaduras - Postura inadequada - Levantamento de carga	- Postura inadequada no trabalho de corte e assentamento de alvenaria - Agachamento e levantamento de carga	- Postura inadequada e movimentos repetitivos
Acidentes	- Deslizamento de solo (paredes de blocos e escavações) - Queda do funcionário em aberturas para estacas e tubulões - Queda em altura	- Corte ou esmagamento de partes do corpo - Choque elétrico - Queda de ferramentas - Queda em altura	- Queda em altura - Queda de andaimes - Queda de blocos sobre operários - Corte ou amputação de membros (policorte ou serra circular)	- Queda em altura - Queda de objetos de pavimentos superiores

Quadro 1 – Riscos em etapas de produção da edificação

Fonte: Adaptado de Nagano *et al.* (2016), Maia (2014), Viana, Alves e Jerônimo (2014) e Peinado (2019)

3 I METODOLOGIA

As etapas metodológicas para realização do presente trabalho foram: identificação dos riscos físicos, químicos, biológicos, ergonômicos e de acidentes que ocorrem durante a

construção de edificações verticais com base na literatura técnico-científica; elaboração de questionário empregando o método AHP para entrevistar os intervenientes na construção considerados nessa pesquisa; realização das entrevistas; compilação dos dados e análise.

Os intervenientes considerados na presente pesquisa foram: engenheiros(as) de execução, mestres de obras, pedreiros que integram a comissão interna de prevenção de acidentes (CIPA) e pedreiros que não integram a CIPA.

Para a obtenção de dados, elaborou-se um questionário, o qual emprega o método AHP, no qual o interveniente deveria responder, com base em sua experiência, “Quão mais/menos perigosa é uma etapa da obra em relação a outra” e “Quão mais/menos perigoso é um risco em relação a outro dentro de uma etapa”. As etapas construtivas adotadas para avaliação foram as etapas de execução da contenção/escavação/fundação, da estrutura, da alvenaria externa e do revestimento externo. Ainda, foram considerados apenas os riscos físicos, químicos, ergonômicos e de acidentes, uma vez que não foram identificados na literatura riscos biológicos nessas etapas na literatura especializada.

Para responder às avaliações, fez-se o uso da escala de Saaty (1991) (Figura 1).

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extrema-mente	Bastante	Muito	Pouco	Igual-mente perigosa	Pouco	Muito	Bastante	Extrema-mente
Menos Perigosa					Mais Perigosa			

Figura 1 – Escala de Saaty (1991)

Fonte: Adaptado de Costa (2003)

A atribuição de notas nas matrizes de dados, de acordo com o método AHP, deu-se pela comparação do item da linha em relação ao item da coluna, apenas para a parte superior à diagonal da matriz (preenchida pela cor amarela), como pode ser verificada na Figura 2. A mesma atribuição foi aplicada nas outras quatro matrizes formadas pelos riscos causados em cada uma das quatro etapas.

	Contenção/ Fundação	Estrutura	Alvenaria Externa	Revestimen- to Externo
Contenção/ Fundação	1			1/5
Estrutura		1	7	
Alvenaria Externa			1	
Revestimen- to Externo				1

A etapa da execução da contenção/fundação é muito menos perigosa que a etapa da execução do revestimento externo.

A etapa da execução da estrutura é bastante mais perigosa que a etapa da execução da alvenaria externa.

Figura 2 – Exemplo de atribuição de notas na matriz de comparação entre etapas

Fonte: Autores

Tal questionário foi aplicado para um total de 40 funcionários, durante os meses de fevereiro e março do ano de 2019. As entrevistas em canteiros de obras foram realizadas individualmente com 10 mestres de obras, 8 pedreiros que são ou já foram designados de CIPA e 9 pedreiros que nunca participaram da CIPA. A duração média das entrevistas foi de 20 minutos por funcionário, realizadas nos respectivos postos de trabalho, havendo interrupção ou não do serviço, ou na área de vivência durante o intervalo do período vespertino. Já os 13 engenheiros civis foram entrevistados via internet, enviando-lhes uma planilha para preenchimento das matrizes de dados contendo as explicações necessárias do método.

4 | RESULTADOS E ANÁLISES

A caracterização dos profissionais entrevistados foi baseada nas suas respectivas funções (engenheiro(a) civil, mestre de obra, pedreiro designado de CIPA e pedreiro não designado de CIPA), considerando a quantidade de intervenientes entrevistados (Figura 3) e a idade de cada um deles (Figuras 4 a 7).

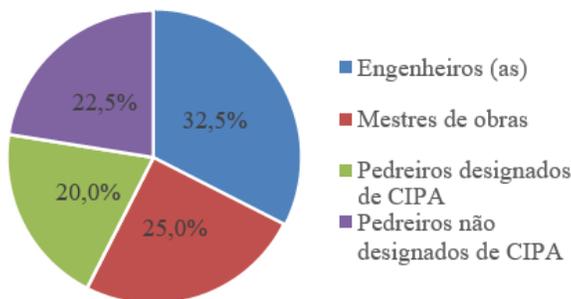


Figura 3 – Quantidade de entrevistados em cada função

Fonte: Autores

Como se observa na Figura 3, dos 40 profissionais entrevistados, 32,5% são engenheiros civis, 25,0% são mestres de obras, 22,5% são pedreiros membros ou ex-membros da CIPA e 20,0% são pedreiros não designados de CIPA.

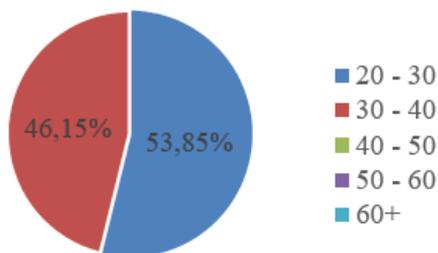


Figura 4 – Idade dos(as) engenheiros(as) civis

Fonte: Autores

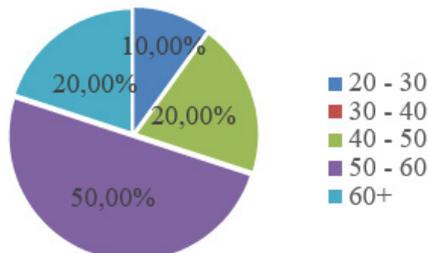


Figura 5 – Idade dos mestres de obras

Fonte: Autores



Figura 6 – Idade dos pedreiros designados de CIPA

Fonte: Autores

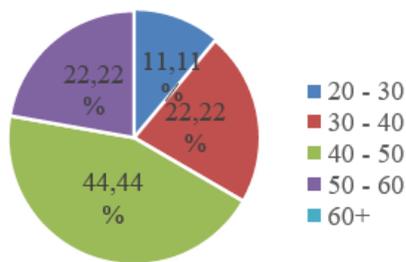


Figura 7 – Idade dos pedreiros não designados de CIPA

Fonte: Autores

Os dados da Figura 4 remetem aos seguintes percentuais: 53,85% dos(as) engenheiros(as) entrevistados(as) possuem idade entre 20 e 30 anos; enquanto 46,15%, possuem de 30 a 40 anos.

Na Figura 5, observa-se que metade dos mestres de obras entrevistados têm de 50 a 60 anos. Já os mestres de obras com idade entre 40 e 50 anos e com mais de 60 anos formam parcelas iguais de 20,0%, sendo o restante de 10% com idade entre 20 e 30 anos.

Como se vê na Figura 6, 50% dos pedreiros membros da CIPA apresentam idade superior a 60 anos; 25,0% com idade entre 30 a 40 anos; 12,5% para cada intervalo de idade: entre 20 e 30 anos e entre 40 e 50 anos.

Na Figura 7, observa-se que a quantidade de pedreiros não-membros da CIPA os quais têm idade entre 20 e 30 anos corresponde a 11,11% do total de entrevistados; entre 30 e 40 anos, 22,22%; entre 40 e 50 anos, a 44,44%; entre 50 e 60 anos, também, a 22,22%

No que se refere às quatro etapas consideradas na análise, a Figura 8 expressa a etapa considerada mais perigosa para cada um dos intervenientes.

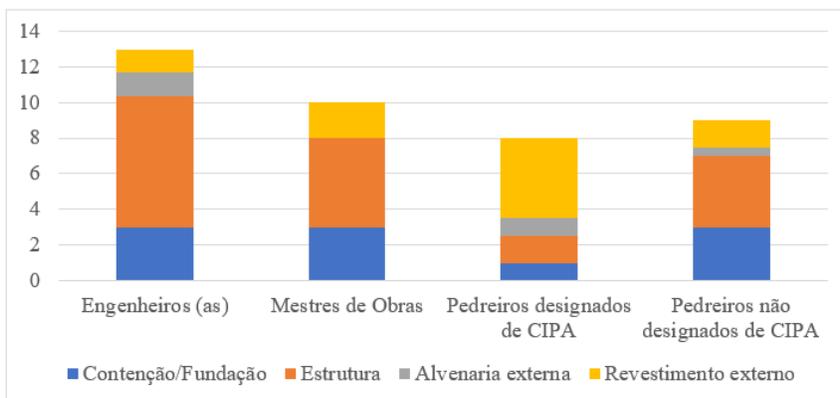


Figura 8 – Etapas consideradas mais perigosas na percepção dos intervenientes

Fonte: Autores

Referente à Figura 8, observa-se a convergência de percepções dos engenheiros de execução, mestres de obras e pedreiros não designados de CIPA em relação a etapa de estrutura como sendo a mais perigosa entre as observadas (56,43%, 50,0% e 44,44%, respectivamente). Enquanto isso, os pedreiros membros da CIPA, tenderam à escolha da etapa de revestimento externo (56,25%).

Em relação à avaliação quanto à percepção de risco na etapa de contenção/escavação/fundação de um edifício de múltiplos pavimentos, obteve-se o gráfico apresentado na Figura 9.

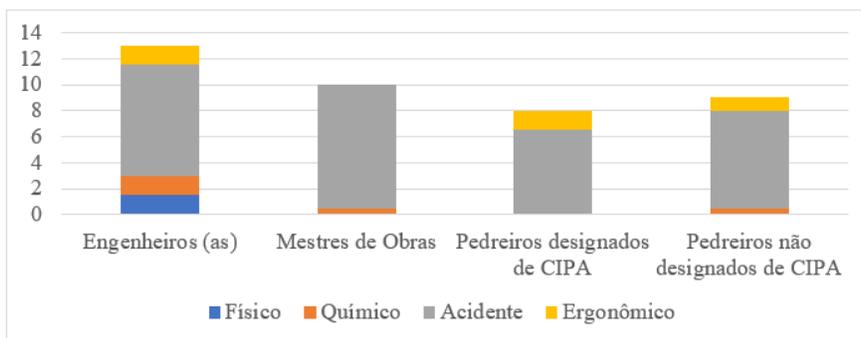


Figura 9 – Riscos considerados mais perigosos na etapa de contenção/escavação/fundação

Fonte: Autores

O risco de acidentes foi o que apresentou maior percentual em todas as avaliações dos intervenientes, sendo considerado o mais perigoso por 65,38% dos engenheiros entrevistados, 95,0% dos mestres de obra, 81,25% dos pedreiros membros da CIPA e 83,33% pedreiros não-membros da CIPA. Observou-se também que apenas a avaliação dos engenheiros de execução trouxe todos os riscos sendo considerados por pelo menos um entrevistado como sendo o mais perigoso nessa etapa, o que já não foi verificado nas entrevistas dos demais profissionais.

Quanto à avaliação da etapa da estrutura, o resultado das entrevistas é apresentado na Figura 10.

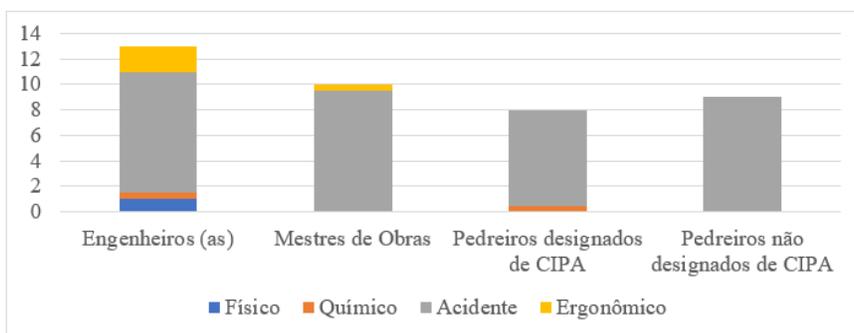


Figura 10 – Riscos considerados mais perigosos na etapa da estrutura

Fonte: Autores

O risco de acidentes foi o que apresentou maior número de avaliadores considerando-o como o mais perigoso na etapa de produção da estrutura, com 73,08% dos engenheiros de execução, 95% dos mestres de obra, 93,75% dos pedreiros membros de CIPA e 100,0% dos pedreiros não-membros de CIPA.

No que se refere à avaliação da percepção de riscos na etapa de alvenaria externa, os resultados são apresentados na Figura 11.

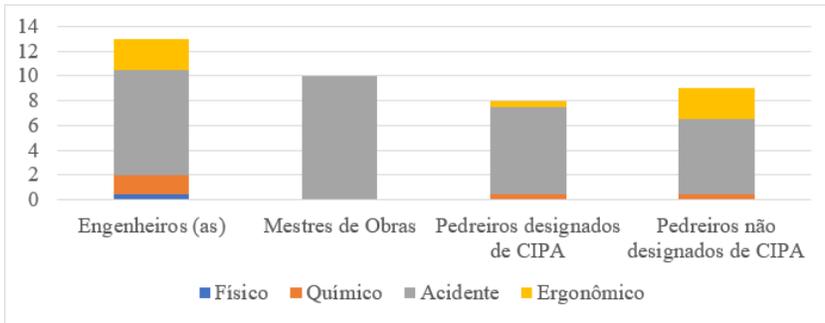


Figura 11 – Riscos considerados mais perigosos na etapa de alvenaria externa

Fonte: Autores

O risco identificado como o mais perigoso pela maioria dos entrevistados foi o de acidentes, com 65,38% dos engenheiros de execução, 100,0% dos mestres de obras, 87,50% dos pedreiros membros da CIPA e 66,67% dos pedreiros não-membros da CIPA.

Em se tratando da percepção dos riscos na etapa de revestimento externo, os resultados são apresentados na Figura 12.

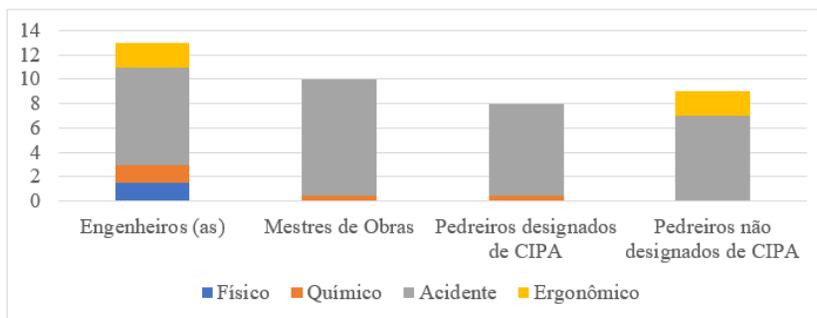


Figura 12 – Riscos mais perigosos na etapa de revestimento externo

Fonte: Autores

O risco de acidentes foi o que apresentou maior número de avaliadores que o consideraram como o mais perigoso, totalizando 61,54% dos engenheiros de execução, 95,0% dos mestres de obras, 93,75% dos pedreiros membros da CIPA e 77,78% dos pedreiros não-membros da CIPA.

Em linhas gerais, observou-se que, na avaliação da percepção dos intervenientes em relação à maior ou menor periculosidade dos riscos, o risco de acidentes foi o que apresentou maior percentual de entrevistados considerando-o como o mais perigoso, como esperado.

Isso fica evidente nos gráficos apresentados nas Figuras 9 a 12, tanto para engenheiros de execução (administração), quanto para mestres de obra ou pedreiros integrantes ou não da CIPA (operacional). Essa percepção se dá, potencialmente, em função de o risco de acidentes gerar consequências imediatas ao trabalhador durante a realização da atividade e não apenas a longo prazo, ou seja, ele sofrerá queda em altura, cortes, amputação de membros, choques elétricos, dentre diversos outros, durante a realização do serviço que estiver executando. Já em se tratando de riscos físicos, químicos (riscos ambientais) e ergonômicos (riscos comportamentais), apesar de haver algumas consequências na saúde do trabalhador imediatas ou a curto prazo, a maioria delas ocorrerá a médio e longo prazo, como câncer de pele, alergias, lesões por esforço repetitivo (LER), o que pode levar à falsa impressão de que esses riscos são menos perigosos.

Ainda, é possível identificar que, em relação à severidade dos riscos nas etapas referenciadas, apenas nas respostas dos engenheiros de execução é que cada um dos riscos (físicos, químicos, ergonômicos e de acidentes) foi indicado como o mais perigoso por pelo menos um dos entrevistados. Na avaliação dos demais profissionais, não houve variação significativa em relação à percepção dos riscos considerados primordiais, sendo que na maioria dos casos, foi colocado como principal o risco de acidentes e, em alguns casos, foi citado o risco ergonômico ou o químico.

4.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos intervenientes evidenciou, de forma clara, a percepção do risco de acidentes como sendo o mais perigoso nas etapas de contenção/escavação/fundação, estrutura, alvenaria externa e revestimento externo. De igual forma, a etapa da estrutura apresentou-se como a mais perigosa na análise de todos os profissionais, exceto pedreiros designados de CIPA, que consideraram a etapa do revestimento externo.

Assim, apesar de compreender que existem outras variáveis que interferirão na percepção do risco dos intervenientes da edificação, tais como tempo de experiência na construção de edificações verticais, por exemplo, entende-se que, no que se refere ao nível operacional, não houve variação significativa na percepção entre os funcionários, mesmo aqueles que receberam treinamento para integrar a CIPA. No entanto, ao comparar o nível operacional com o gerencial (engenheiros de execução), observa-se que houve diferença na percepção entre esses níveis hierárquicos, corroborando a premissa apresentada por Saurin e Ribeiro (2000),

REFERÊNCIAS

BARBOSA FILHO, A.N. **Segurança do trabalho na construção civil**. São Paulo: Editora Atlas, 2015.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **NR 5 – Comissão Interna de Prevenção de Acidentes**. Brasília, 2011.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **NR 9** – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais. Brasília, 2017.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **NR 17** – Ergonomia. Brasília, 2018a.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **NR 18** – Condições e meio ambiente de trabalho na Indústria da Construção. Brasília, 2018b.

COSTA, Marcela da Silva. **Mobilidade urbana sustentável: um estudo comparativo e as bases de um sistema de gestão para Brasil e Portugal**. 2003. 196f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

MAIA, A. L. M.; Análise preliminar de riscos em uma obra de construção civil. **Revista Tecnologia e Informação**, Natal, ano 1, n. 3, p. 55-69, 2014.

NAGANO, M.F.; PEINADO, H. S.; REIS, J.H.C.R.; DE ANGELIS NETO, G.; BELINCANTA, A. Segurança em canteiro de obras na execução de contenções, fundações e escavações. In: PEINADO, H.S.; DE MORI, L.M. (Org.). **Segurança do Trabalho na Construção Civil**. São Paulo: PINI, 2016. p. 155-170.

PEINADO, H.S. Segurança e Saúde do Trabalho na Construção Civil. In: PEINADO, H.S. (org.). **Segurança e Saúde do Trabalho na Indústria da Construção Civil**. São Carlos: Editora Scienza, 2019. p. 29-84.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**. São Paulo: Ed. Makron Books, 1991.

SAURIN, T. A.; RIBEIRO, J. L. D. Segurança no trabalho em um canteiro de obras: percepções dos operários e da gerência. **Revista Produção**, Rio de Janeiro, v. 10, n.1, p. 1-10, 2000.

VIANA, M. G. P.; ALVEZ, C. S.; JERÔNIMO, C. E. M. Análise preliminar de riscos na atividade de acabamento e revestimento externo de um edifício. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 14, n. 3, 2014.

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA E CRONOLÓGICA DO *TILT-UP* EM OBRAS SOCIAIS

Data de aceite: 01/04/2021

Alberto Naddeo Neto

Universidade Anhembi Morumbi

Julia Vinha Cirqueira Santos

Universidade Anhembi Morumbi

Juliana Novaes Frutuoso Faria

Universidade Anhembi Morumbi

Mateus Vicente da Costa

Universidade Anhembi Morumbi

Nayara Cavichioli Monteiro

Universidade Anhembi Morumbi

Wallace Fornos

Universidade Anhembi Morumbi

Maria Fernanda Quintana Ytza

Universidade Anhembi Morumbi

RESUMO: O presente artigo disserta sobre a implementação de uma nova tecnologia construtiva, Tilt-Up, como alternativa na construção de moradias populares, vide a redução de custo e tempo de obra que a metodologia apresenta em edificações de grande porte. Além disso, há um anseio pelo desenvolvimento da construção civil e implantação de novas tecnologias, que aliadas ao alto e constante índice do déficit habitacional, afirmam o Tilt-Up como uma alternativa progressista. Para tanto, foi projetada uma planta baixa de uma moradia padrão, com o auxílio do programa computacional AutoCad, como base para a

estimativa de cálculos de investimento e tempo de obra. Ademais, foi realizada uma pesquisa de experiência com engenheiros familiarizados com o método em questão, a fim de sustentar as análises com comprovações reais da aplicação do método. Em síntese, constatou-se que, de primeira instância, o investimento no Tilt-Up é maior se comparado ao sistema de alvenaria estrutural, porém a longo prazo, ele se torna mais viável devido à baixa manutenção e vida útil prolongada.

PALAVRAS-CHAVE: Tilt-Up, método construtivo, habitações populares, produtividade na construção civil.

ECONOMIC AND CHRONOLOGICAL FEASIBILITY STUDY OF TILT-UP FOR SOCIAL WORKS

ABSTRACT: The following article presents the implementation of a new constructive technology method, Tilt-up, as an alternative to the construction of low-cost popular housings, due to the cost and time reduction that this constructive method presents in large scale buildings. In addition, there is a wish for the development of construction and the implementation of new technologies, and associating this idea with the high rate of housing deficit, the Tilt-up is asserted as a progressive alternative. Therefore, it was designed a blueprint of a standard house with the aid of AutoCAD computer software as basis for estimating values for investment and construction time calculations. An experience survey was also carried out with engineers that were familiar with this method in order to validate the analyzes with real evidence and proof of the

constructive method application. In summary, it was verified that the first investment in the Tilt-up constructive method is slightly higher in comparison with the structural masonry system. However, it proves a viable method in long-term projects due to its low maintenance cost and its extended lifespan.

KEYWORDS: Tilt-Up, constructive method, low-cost popular houses, productive in civil construction.

1 | INTRODUÇÃO

Com o intuito de modernizar os recursos da construção civil, o *Tilt-Up* foi introduzido no Brasil pela WTorre em 1992. Essa tecnologia norte-americana baseia-se na execução de paredes em concreto armado no pavimento da obra, no plano horizontal, e posteriormente, o içamento delas através de guindastes para sua disposição final.

Esse método construtivo abrange inúmeras vantagens desde a redução de custos, dado que dispensa o uso de transportes de peças pré-fabricadas, uma vez que o processo construtivo é feito in loco; redução de riscos de acidentes, devido a minoração de atividades em altura, se comparado ao sistema estrutural de alvenaria; fácil modificação do layout das paredes, permitindo a expansão dos ambientes; decréscimo na geração de resíduos devido ao uso do concreto dosado; expansão da vida útil da edificação, considerando a resistência elevada do concreto e suas propriedades de isolamento térmico e acústico, e por último, o aspecto iminente de otimização do tempo de obra.

Segundo gerente executiva de padronização e normas técnicas de construção civil da Caixa Econômica Federal, Ercília Tomaz, inovar os processos empregados na construção civil é uma tendência no mercado brasileiro, no entanto, é tímido, diante dos custos de implantação e da resistência do setor na aplicação dos novos métodos (Franco, 2014). Apesar desse sistema estar presente no Brasil há 28 anos, ainda há a necessidade de promover o incentivo tecnológico da ferramenta, de modo a viabilizar sua introdução completa no setor da engenharia civil.

Além da deficiente perspectiva tecnológica encontrada no país, o cenário brasileiro apresenta os mais variados problemas sociais, e um dos mais graves e persistentes é o déficit habitacional. Esse índice aponta a quantidade de habitações em condições inadequadas de convívio, desde coabitações familiares, estendendo-se as construções improvisadas e perigosas. Um levantamento feito pela Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias em parceria com a Fundação Getúlio Vargas, aponta que o déficit de moradias atingiu 7,78 milhões de unidades habitacionais, em uma década, decorrente de um aumento de 7% em 2017.

Assim, o processo de inovação para melhoria das condições do habitat urbano é um dos maiores desafios do setor da construção civil. Em conjunto da carência de moradias, a deficiência na qualidade e infraestrutura dessas obras sociais, resulta em construções insatisfatórias e de curta vida útil. Haja vista que, o retrato do setor civil é reticente e

encontra-se estagnado em métodos tradicionais com baixa produtividade e qualidade, e alta geração de resíduos, ocasionando prejuízo econômico e degradação ambiental.

Tendo em mente a fragilidade das políticas habitacionais no Brasil e a ausência de apoio técnico e de incentivo às novas tecnologias, é de suma importância à procura por novos métodos construtivos com baixo custo e maior agilidade na tentativa de suprir o déficit habitacional ainda existente no país, e aumentar a produtividade do setor de construção civil.

À vista disso, o seguinte trabalho tem por finalidade analisar uma alternativa para a redução do déficit habitacional, a partir do desenvolvimento de um projeto de casas de padrão popular, que seria construído através do método *Tilt-Up*. Esse projeto apresentará desenhos técnicos, o cálculo de insumos e materiais utilizados durante a execução, a estimativa do tempo de obra, sendo esses aspectos importantes para tornar esse método construtivo uma possível solução para o decréscimo desse índice. Além disso, com a tentativa de acrescentar veracidade aos resultados obtidos no estudo de caso, o artigo apresentará, também, uma pesquisa de experiência a fim de coletar dados mediante a percepção e o *know-how* de engenheiros, que vivenciam o sistema em campo.

2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O método construtivo *Tilt-Up* foi desenvolvido na primeira década do século XX, pelo engenheiro militar Robert Aiken, segundo membro da *Tilt-Up Concrete Association* (TCA), Mitch Bloomquist (2011). Em sua publicação, aponta que a invenção, inicialmente, tinha propósitos militares e, juntamente com a criação do guindaste móvel, o *Tilt-Up* se tornou um método de baixo custo, que foi aplicado na construção de abrigos no pós guerra. Assim, essa metodologia se difundiu por apresentar um sistema de baixo custo, tecnologia e manutenção em obras de construção civil.

Com o rápido crescimento do *Tilt-Up* como solução às restrições orçamentárias presentes em diferentes cenários da indústria civil, a metodologia não demorou para disseminar em outros países. Em 1992, a empresa WTorre foi a responsável por introduzir comercialmente o *Tilt-Up* no Brasil, de acordo com a cronologia apresentada no sítio Web da empresa pioneira.

O sistema construtivo, à princípio, se expandiu em edificações industriais, de grande porte, pela facilidade da arquitetura dessas construções. Além disso, a concepção inicial do *Tilt-Up*, já abordara a eficiência do sistema com relação ao tempo de construção. Fundamentado nessa tese, Vitor Azevedo (2015) abordou o tema em sua monografia, em um comparativo da nova tecnologia com o sistema construtivo de alvenaria estrutural. Segundo ele, os métodos utilizados no Brasil possuem um tempo elevado de construção por aplicarem procedimentos artesanais e com pouca tecnologia (Azevedo, 2015).

Assim, através de uma análise técnico-econômica, foi possível avaliar os dois

métodos discutidos em seu estudo. A análise foi realizada mediante à uma construção de um galpão fictício, empregando ambos os sistemas construtivos, abordando produtividade, eficiência e custos de cada método. Para a avaliação orçamentária e tempo de execução de obra, o estudo foi embasado em publicações teóricas da Tabela Composições de Preços para Orçamentos (TCPO). Concluiu-se assim, que ambos os métodos são limitantes: o *Tilt-Up* com relação à necessidade de amplos espaços para a movimentação de maquinários, e a alvenaria estrutural os extensos tempos para execução de obra e mão de obra qualificada (Azevedo, 2015). Nesse estudo, a análise orçamentária não apresentou resultados significativos.

Apesar da industrialização do setor civil no Brasil ser vagarosa, o sistema de pré-moldados é uma técnica bastante difundida no território nacional. Se comparado a outros setores industriais, a construção civil apresenta volumoso desperdício de materiais, subdesenvolvimento de tecnologias e, por vezes, baixo controle de qualidade, que impacta, diretamente, na evolução do setor (Rezende, 2015). Dessa forma, a metodologia de peças pré-moldadas, ganhou espaço por apresentar alto desempenho, maior produtividade, aumento da racionalização construtiva, que incrementam os níveis de industrialização dos processos construtivos. (Rezende, 2015).

À vista disso, Hugo Rezende (2015) propôs uma análise entre o método citado acima em conjunto com a alvenaria de vedação e o *Tilt-Up*, por se assemelharem em aspectos de produtividade e racionalização da obra. Seu estudo foi embasado no projeto do Centro de Distribuição Unilever do Brasil, que foi construído com a técnica *Tilt-Up* – no qual o autor participou ativamente do processo como assistente de engenharia –, e, partir dele, realizar o desenvolvimento de um projeto paralelo de peças pré-fabricadas e alvenaria de vedação para fins de comparação.

Com a catalogação de todos os insumos e custos presentes em ambos os cenários, e ainda, com o levantamento do tempo necessário para a realização das obras, Rezende concluiu que com relação aos dispêndios da obra “[...] os valores totais de materiais e execução pelos dois métodos construtivos se equiparam”. Ele acrescenta que o método construtivo de *Tilt-Up* é sutilmente maior que o sistema de pré-moldados e alvenaria de vedação, porém, a diferença deve ser considerada significativamente baixa ao comparar o cronograma de execução, que apresentou uma redução de 47 dias com a utilização do *Tilt-Up* (Rezende, 2015).

Seguindo um viés diferente do apresentado previamente no desenvolvimento do *Tilt-Up* e sua abordagem como forma de comparação em diferentes contextos, e buscando exteriorizar a situação atual do déficit habitacional, o autor Carlos Freitas (2010), apresenta sistemas construtivos para habitações populares. Em seu estudo, é abordado técnicas de concreto e alvenaria, e nesse está incluso o método *Tilt-Up*, sistemas construtivos em madeira, PVC e kits metálicos.

Como ponto notório para este estudo temos a metodologia do *Tilt-Up*. A pesquisa

de Freitas ressalta as vantagens do sistema *Tilt-Up* através de uma análise sintetizada da utilização da nova tecnologia na construção de edifícios ou de casas em larga escala, destacando a rapidez em que o método pode ser executado e a não geração de impostos como IPI (Impostos sobre Produtos Industrializados) e ICMS (Imposto de Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços).

No decorrer de sua tese, concluiu que a utilização desse método em escala pode potencializar o crescimento do setor de construção civil no Brasil, além de diminuir o déficit habitacional, através de menores desperdícios, pela agilidade do processo e pela redução do custo total do projeto (Freitas, 2010).

3 | METODOLOGIA

A análise de viabilidade de aplicação do método *Tilt-Up* estudada nesse artigo baseia-se, primordialmente, em fundamentações teóricas de artigos e teses publicados em sítios web acadêmicos (Google Acadêmico, bibliotecas de universidades federais e SciELO), em análises de orçamento e tempo de execução de obra e em uma pesquisa de experiência realizada com engenheiros familiarizados com o processo construtivo do *Tilt-Up*, abordando tópicos-chaves.

Os critérios de seleção utilizados na escolha dos materiais teóricos foram: o detalhamento na descrição do processo construtivo, análises e comparações de despesas e duração de obra entre o método de alvenaria estrutural e o sistema *Tilt-Up* e estudos de casos da aplicação da metodologia em empresas conhecidas, que serviram de embasamento nesse estudo. Para a conexão entre o novo método e as propostas sociais presentes nesse trabalho, foram utilizados dados de estatísticos de sítios 'web' governamentais.

Em benefício de uma análise orçamentária comparativa eficaz, foi elaborado uma planta baixa, considerando os padrões de habitações populares, a qual foi utilizada de base na estimativa de valores em ambos os métodos mencionados acima. A partir dos dois orçamentos, será efetuado uma análise cautelosa, evidenciando a sobreposição de um dos sistemas com relação aos dispêndios orçados. A estimativa de valores foi apoiada na tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), de modo a garantir qualidade na comparação e resultados adjacentes aos reais.

Ainda, a planta baixa desenvolvida servirá na analogia de estimativa do tempo de obra, outro fator de grande influência na construção civil. Novamente, será realizada uma análise da duração em ambos os mecanismos, e pôr fim a sobreposição de um deles. O cronograma das atividades para a construção da casa será feito pelo software Microsoft Project, considerando as melhoras práticas de planejamento para cada método. A comparação final será feita pela linha crítica apresentada por cada sistema.

Embora haja uma quantidade extensa de informações nas bases acadêmicas brasileiras, nossas pesquisas foram ampliadas aos domínios estrangeiros, uma vez que,

o método é relativamente novo no Brasil, e precisamos certificar as vantagens e possíveis obstáculos na implantação da metodologia no país.

Tendo em mente que o *Tilt-Up* é pouco conhecido, e conseqüentemente, os engenheiros que fazem uso desse método, foi necessário fazer uma primeira busca em grupos nas redes sociais, que compreendem um grande alcance. Estabeleceu-se, assim, uma comunicação básica, com o intuito de selecionar aqueles que contribuiriam positivamente na pesquisa, e nos dariam maior credibilidade na fundamentação do estudo proposto.

Deste modo, com o auxílio dos engenheiros selecionados, que empregam o sistema construtivo em suas obras, realizou-se uma pesquisa de experiência, analisando a viabilidade da aplicação do método em habitações populares, considerando que esse mecanismo construtivo é utilizado, vigorosamente, em obras de porte industrial. Foi abordado cinco questões: 1. Quais as vantagens e desvantagens do método *Tilt-Up*?; 2. Qual o diferencial do tempo de execução?; 3. Quais os benefícios com relação à vida útil da edificação aplicando o método *Tilt-Up*?; 4. Apesar do custo inicial da obra ser elevado, o custo-benefício é um fator que favorece o resultado final?; 5. A aplicação desse método construtivo é viável na aplicação de habitações populares?. Embora a pesquisa de experiência contasse com um formulário de questões, durante a entrevista foi enfatizado o problema social do déficit habitacional presente no Brasil e a necessidade por inovações no mercado da Engenharia Civil. Foi debatido tópicos extra do estudo, a hipótese do emprego do *Tilt-Up* ser uma possível alternativa para o decréscimo dos índices habitacionais, e se sua difusão representa uma evolução para a construção civil brasileira.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente estudo de viabilidade se apoiou em uma planta baixa, com padrões habitacionais populares, segundo a Caixa Econômica Federal. A planta projetada para análises conta com 45,56 m².

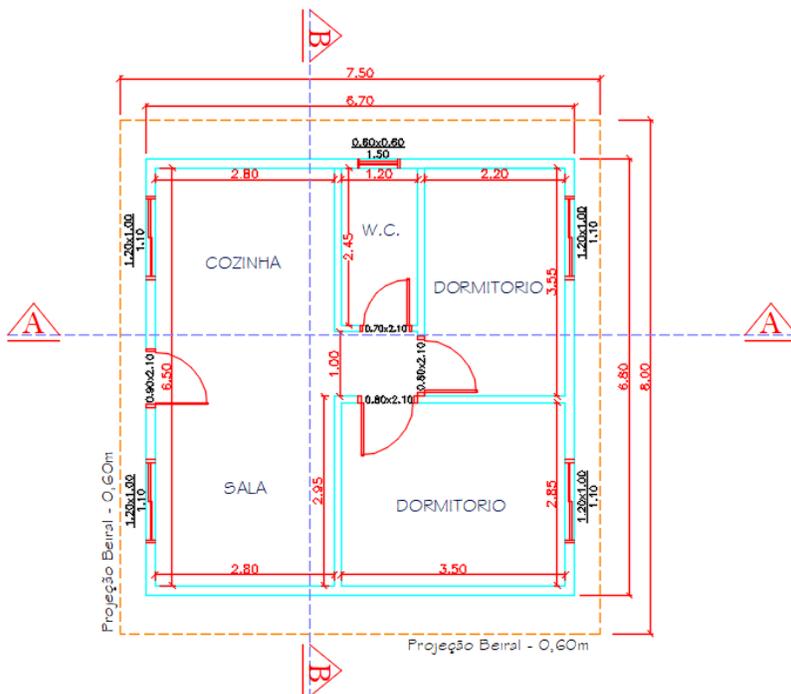


Figura 1 – Planta baixa desenvolvida no AutoCAD (Próprios autores, 2020)

4.1 Análise de Orçamento e Materiais

Com base na planta baixa ilustrada na figura 1, foi mensurada a quantidade de materiais que seriam utilizadas para a construção da habitação popular, considerando apenas os insumos necessários na estrutura da edificação. Os dispêndios com relação às instalações elétricas e hidráulicas foram desconsiderados, uma vez que, estaria presente em ambos os sistemas construtivos.

Os materiais orçados compreendem a fundação da edificação, a estrutura, seja ela de alvenaria, ou moldados *in loco*, a cobertura e as esquadrias. Os insumos que se sobrepõem no *Tilt-Up* com relação ao sistema de alvenaria de vedação, é a quantidade de concreto e armadura em aço CA-50. Há um acréscimo de cerca de 13% e 150%, respectivamente.

Assim, em uma análise orçamentária inicial, é evidente que o *Tilt-Up* possui um custo inicial superior. A estimativa de valores foi apoiada na tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) para ambos os métodos construtivos. Em uma visão pontual, para construção de uma casa de padrão popular, há um aumento nas despesas de estruturas de cerca de 28%. Em virtude dessa diferença considerável que o *Tilt-Up* apresenta, sua aplicação é recomendada apenas em construções

de grandes volumes, as quais possibilitariam um decréscimo da porcentagem. Esse fator é pontuado pela *Tilt-Up Concrete Association* que define que o empreendimento será economicamente viável se a quantidade de metros quadrados da edificação for superior a 1525 m² (TCA, 2007, apud Azevedo, 2015, p. 32)

4.2 Análise Cronológica

Para uma análise comparativa do tempo total de uma obra fictícia com metragem de 46,56 m², foi realizado um levantamento da duração de dias dos serviços que integram cada sistema construtivo. Para especificação dos serviços foram utilizados dados retirados de artigos e estudos de caso semelhantes, e as durações das atividades foram embasadas na Tabela de Composição de Preços e Orçamentos (TCPO 13ª Edição). Para simplificar os estudos e a confrontação de ambos os métodos, foi adotada a execução de uma única residência.

Assim, foi elaborado dois cronogramas fundamentados nas informações expostas no parágrafo acima, com o auxílio do *software Microsoft Project*.

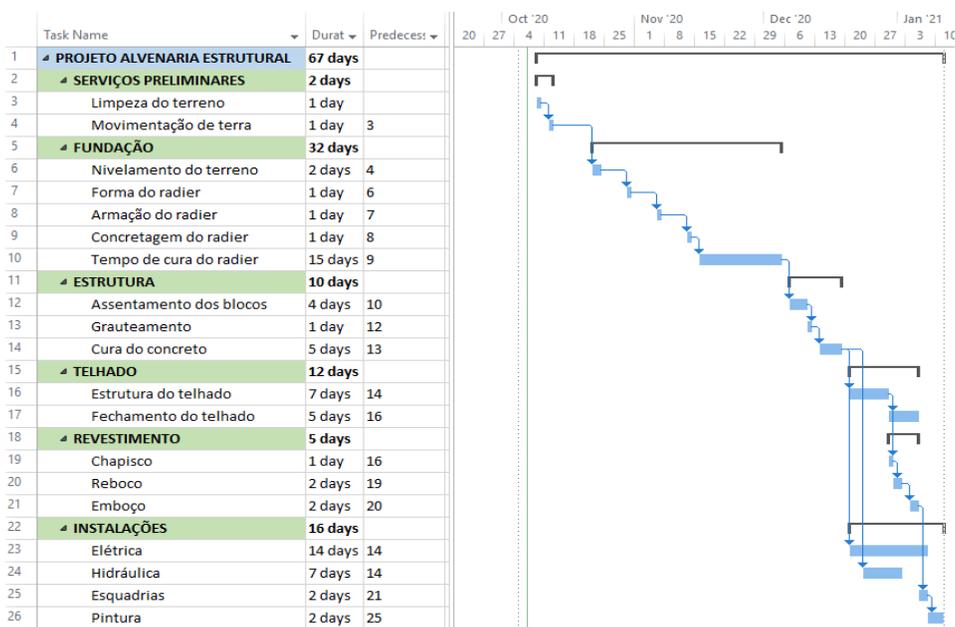


Figura 2 - Cronograma método de alvenaria estrutural (Próprios Autores, 2020)

Considerando a casa popular executada pelo método construtivo de alvenaria estrutural, o cronograma exhibe que as etapas de execução de todas as tarefas cruciais têm duração aproximada de 67 dias.

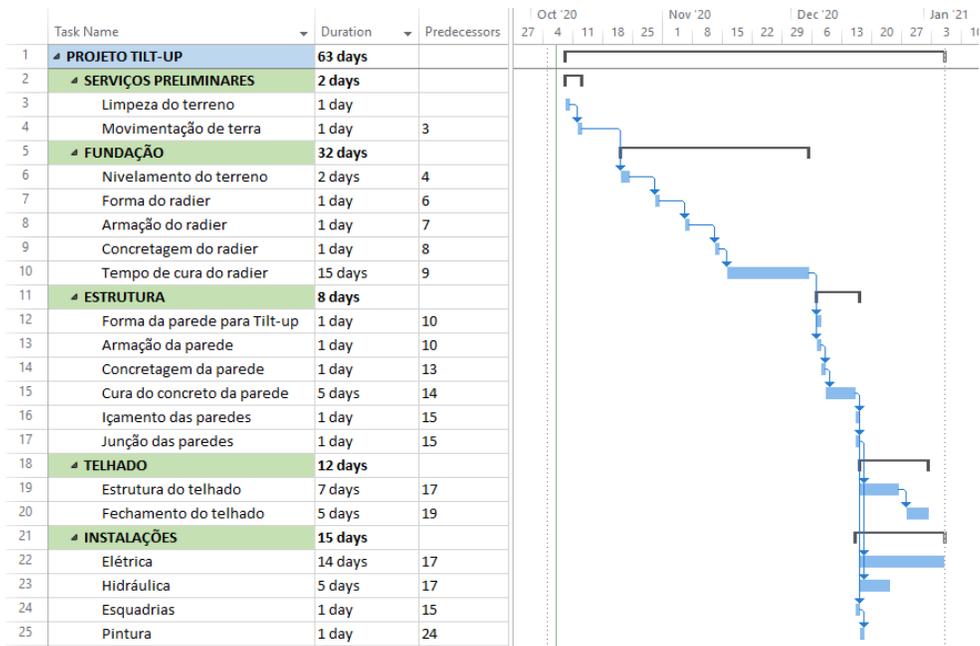


Figura 3 - Cronograma método *Tilt-Up* (Próprios Autores, 2020)

A execução da mesma edificação pelo método *Tilt-Up* tem duração aproximada de 63 dias.

Grande parte das etapas construtivas são semelhantes, e por isso o tempo de execução em ambos os métodos apresenta irrisória redução. Dessa maneira, a análise cronológica enfatiza as etapas que apontam divergência, ou ainda que estão presentes em um único processo, possibilitando, assim, salientar as vantagens e desvantagens da ferramenta *Tilt-Up* em relação ao método de alvenaria.

Os estádios dentro dos processos construtivos que revelam divergência são os serviços de estrutura, revestimento e instalações. As atividades que contemplam a estrutura obtiveram uma redução de 2 dias no método *Tilt-Up*, devido à técnica artesanal que o método estrutural utiliza, sendo necessário o detalhamento no assentamento de blocos de todas as fiadas e a atenção na modulação escolhida previamente.

Outra etapa que apresentou redução de tempo foi as instalações. Esse fator pode ser observado devido a necessidade de recortes na estrutura de alvenaria que demandam tempo, enquanto no processo do *Tilt-Up* os recortes das instalações já são previstos nas formas. Por fim, a etapa de revestimento está presente somente no método de alvenaria estrutural, por demandar um acabamento dos blocos que estão expostos para proteção da estrutura, e conferir um aspecto estético visual à edificação. Esse procedimento não se manifesta necessário na nova tecnologia abordada nesse artigo, pois todos os painéis

são feitos inteiramente em concreto com formas, que por si só, definem um acabamento às paredes.

A diferença de tempo entre os dois métodos, de forma geral, é sutil. Contudo, essa divergência se mostraria ativa com o aumento da quantidade de habitações construídas simultaneamente. As equipes de montagem de painéis de *Tilt-Up* içam, em média, de 20 a 30 placas, de acordo com a *Tilt-Up Concrete Association* (2007, apud Azevedo, 2011, p. 27). Além disso, o método utiliza formas reutilizáveis, as quais seriam montadas poucas vezes, devido à padronização dos painéis, reduzindo, também, na duração do tempo total de obra. Esse princípio de industrialização da construção civil não pode ser aplicado na metodologia de alvenaria estrutural. Para a redução de tempo seria necessário o aumento da mão de obra proporcional à quantidade de empreendimentos visados em um período determinado.

4.3 Pesquisa de experiência e análise de engenheiros

Para obtermos informações mais concretas do método, foram realizadas entrevistas, nas quais nossos questionamentos se baseavam na vivência dos engenheiros familiarizados com o *Tilt-Up*. Os questionados abordaram as vantagens e desvantagens, tempo de execução, vida útil, custo e por fim, se o método seria viável para obras sociais.

A primeira entrevistada, Vera Caputo, engenheira e professora da MAUA, trabalhou com o método na WTorre, empresa pioneira no Brasil, e foi contribuinte na construção do Centro de Distribuição Magazine Luiza na Rodovia Bandeirantes. Segundo ela, o sistema *Tilt-Up* comparado ao método tradicional de alvenaria é mais oneroso inicialmente, mas no custo total fica mais viável, pois o menor tempo de execução gera conseqüentemente a diminuição de custos indiretos. Citou como vantagem a facilidade dos fechamentos laterais serem realizados próximos ao local de implantação e por isso, os gastos com formas serem menores do que na estrutura de alvenaria; facilidade na limpeza da obra devido à diminuição de resíduos; e diminuição dos impostos como ICMS e IPI, pois o sistema é todo executado no canteiro de obra.

Com relação ao prazo, é de fato uma obra muito mais rápida e com maior vida útil, limitando os custos de manutenção. Como todos os métodos, também possui suas desvantagens, são elas: falta de mão de obra especializada e risco no içamento das paredes, mas que podem ser facilmente mitigados com treinamento.

Concluindo assim, que o método construtivo mencionado é viável para a maioria dos tipos de obra, principalmente no caso de obras sociais, como por exemplo “Minha Casa Minha Vida”, devido a padronização dos projetos e vantagens citadas anteriormente.

Outro entrevistado, Wagner Abreu, membro do comitê de Engenharia Civil da GERDAU Aços Brasil, responsável pela coordenação de obras em São Jose dos Campos, simplifica o método em questão como um sistema pré-moldado, onde seu primeiro contato foi na empresa Concid, antiga construtora em SP, em um projeto de diversos prédios para

Universidade do Vale do Paraíba. Destacou como benefício, serem obras racionalizadas, com uma maior qualidade e agilidade na edificação como um todo. Em sua visão, *Tilt-Up* se torna altamente competitivo, em função do cronograma, já que podem ser finalizados em curto prazo. Outros pontos a serem destacados, são: baixo custo e baixa manutenção, seja ela, preventiva ou corretiva, devido ao controle tecnológico na fabricação das peças ser mais rígido, ou seja, confere uma vida útil maior comparado ao método de alvenaria.

Como ponto negativo, cita a segurança em campo, pois o sistema *Tilt-Up* necessita de mão de obra especializada para o mesmo, contando com plano de risco devido içamento de peças.

Segundo Wagner, a aplicação do sistema estudado é extremamente interessante para obras populares, devido velocidade de execução impressionante, principalmente por serem projetos padronizados, sem contar o conforto térmico e acústico.”

Com isso, podemos observar mediante as respostas que obtivemos, que os benefícios são inúmeros comparados aos malefícios e a inovação no mercado se faz necessária. Afirmando assim, a veracidade nas informações encontradas por outros meios de pesquisa.

4.4 Desvantagens e recomendações de segurança

Com base no estudo e na pesquisa com engenheiros que já trabalharam com o método *Tilt-Up*, foram enumeradas algumas desvantagens em sua execução. Com a finalidade de apresentar uma alternativa para a construção de residências populares utilizando o método *Tilt-Up*, foi desenvolvido também um conjunto de recomendações para que a utilização desse modelo não traga risco aos profissionais envolvidos no projeto e execução, tendo em vista que a desvantagem do perigo do içamento dos painéis foi apontada não somente pelos profissionais entrevistados, mas também em diversos artigos analisados para a elaboração desse estudo.

Como medidas de segurança, é recomendado a verificação minuciosa de todos os equipamentos que serão utilizados, incluindo o maquinário, os encaixes, as escoras, o equipamento de proteção individual (EPI), etc. Outra recomendação importante, que foi avaliada por um dos entrevistados, é o treinamento dos profissionais qualificados para a execução e operação do maquinário.

A utilização de equipamentos de proteção coletiva é também uma recomendação crucial para a segurança dos profissionais da obra. Sinalização por meio de cones, telas de proteção e barreiras são itens que servem para orientar e manter a área de risco informada a todos que estão presentes.

5 | CONCLUSÃO

O presente trabalho expôs o método *Tilt-Up* como alternativa para execução de um projeto de um conjunto de casas populares que será utilizado para a acomodação de

pessoas com renda baixa em um ambiente agradável, ao passo que realiza um comparativo com outro método construtivo muito popular e barato na Engenharia Civil, a alvenaria estrutural.

Foi realizado uma análise cronológica e orçamentária de ambos os métodos, tendo como base uma planta baixa de 45,56 m². A partir dos resultados obtidos foi possível entender e estudar a viabilidade de cada um dos métodos para o projeto citado. Averiguou-se que o custo inicial do *Tilt-Up* se sobrepõe ao de alvenaria estrutural em cerca de 28%, tornando-o inviável para construções individuais de pequeno porte. Já em relação ao prazo, o *Tilt-Up* apresenta execução um pouco mais rápida, porém nada significativo, analisando a construção de uma residência individual. Contudo, o estudo de caso abordado neste artigo prevê a construção de um conjunto habitacional onde será construído diversas residências populares. Assim, considerando outros fatores expostos nesse artigo, como a redução de manutenção periódica e os benefícios atrelados as propriedades do concreto, como o isolamento térmico e acústico, tornam clara a vantagem do *Tilt-Up* sobre a alvenaria estrutural, e ainda, acrescentam qualidade na construção, melhorias no aspecto visual e vida útil à população de baixa renda.

Além disso, de acordo com os engenheiros entrevistados, o principal atrativo do *Tilt-Up* é sua agilidade de execução, o que acaba compensando o custo inicial. Como pontos negativos os engenheiros citam a dificuldade de encontrar mão de obra especializada e o risco durante içamento das peças, mas deixam claro que com treinamento apropriado estas possíveis adversidades podem ser facilmente mitigadas.

Por fim, conclui-se que o *Tilt-Up*, se utilizado em projetos de larga escala, é uma escolha vantajosa por conta de sua fácil e ágil execução e versatilidade. Para obras populares, também em larga escala, este método se sobressai ainda mais por ser um sistema de fácil padronização. Por consequência, o *Tilt-Up* é uma opção viável para o projeto proposto e, enfatizando as qualidades, é uma opção superior ao método de alvenaria estrutural.

REFERÊNCIAS

ANGELO, A; MARAZZI, G. A; PEREIRA, M. M.; WU, T. P. **Sistema *Tilt-Up* em habitações populares**. 2016. 27 F. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Autor desconhecido. **Ceará recebe o mais alto galpão industrial executado em sistema *Tilt-Up***. Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, Ceará, ano 10, n. 28 de jun. de 2008. Disponível em: <http://www.ibts.org.br/noticias03.asp>. Acesso em: 27 mar. 2020.

FRANCO, A. P. **Habitação diversifica métodos de construção**. Gazeta do Povo, Curitiba – PR, 12 de jun. de 2014

FREITAS, C. A. C. **Sistemas construtivos para habitações populares**. 2010. 98 f. Monografia (Especialização em Engenharia Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

IGLESIA, T. B. **Sistemas Construtivos em Concreto Pré-moldado**. 2006. 49 F. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006.

OLIVEIRA, P. K. **Estudo do sistema construtivo *Tilt-Up*: Projeto de um pavilhão industrial**. 2016. 168 f. Trabalho de diplomação (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

REZENDE, H. L. **Comparativo de custos e tempo de execução dos métodos construtivos *Tilt-Up* e sistema de Pré-Moldados**. 2015. 90 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, 2015.

SILVA, V. A. **Análise comparativa de viabilidade técnico-econômica entre os métodos construtivos de alvenaria estrutural e *Tilt-Up*, para obras de porte industrial**. 2015. 67 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

Sustainability of Tilt Up construction method. Science Direct, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235197891630227X>>. Acesso em: 24 de março de 2020.

TILT-UP CONCRETE ASSOCIATION – TCA. Informações e documentações: referência e elaboração – Mount Vernon, USA. Disponível em: <<https://tilt-up.org/association/>>. Acesso em: 11 outubro de 2020

COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS: ALVENARIA ESTRUTURAL E PAREDE DE CONCRETO

Data de aceite: 01/04/2021

Bruna Pedrosa Miguel Silva

Universidade Anhembi Morumbi

Bryam Isac Cardoso

Universidade Anhembi Morumbi

Camila de Paula Silva

Universidade Anhembi Morumbi

Erik Ricardo Monteiro Moura

Universidade Anhembi Morumbi

Fernando Pereira da Silva Melo

Universidade Anhembi Morumbi

Geovanna Santos Fernandes

Universidade Anhembi Morumbi

Layse de Ataíde Araújo

Universidade Anhembi Morumbi

Maria Fernanda Quintana Ytza

Universidade Anhembi Morumbi

RESUMO: Com o crescimento do mercado imobiliário brasileiro, bem com a ampliação de projetos habitacionais de interesse social, o mercado da construção civil tem como alternativa os sistemas de alvenaria estrutural e o de parede de concreto que oferecem menores prazos, maior economia e uma obra mais limpa. Os resultados tornam-se ainda mais vantajosos, se comparados ao sistema construtivo convencional. Em função da alta desenvoltura apresentada dos dois métodos construtivos, será apresentado

uma comparação envolvendo ambos sistemas: alvenaria estrutural e parede de concreto moldada *in loco*. Evidenciando as especificidades de cada sistema, para que assim, auxilie na definição do sistema construtivo de acordo com os recursos disponíveis e o padrão do projeto. Tal comparação foi realizada com base em dois projetos reais de edifícios residenciais. Um edifício executado em alvenaria estrutural e outro em parede de concreto, ambos na capital de São Paulo. O escopo contempla a comparação dos equipamentos, materiais, mão de obra, geração de resíduos e controle tecnológico utilizados em cada uma das obras. Bem como os resultados alcançados em cada componente e quanto às vantagens e desvantagens obtidos através de registros *in loco* e encontradas no levantamento bibliográfico.

PALAVRAS-CHAVE: Alvenaria Estrutural, Parede de Concreto, Habitação de Interesse Social, Sistemas construtivos

COMPARISON OF CONSTRUCTIVE SYSTEMS: STRUCTURAL MASONRY AND CONCRETE WALL

ABSTRACT: With the growth of the Brazilian real estate market, as well as the expansion of social interest housing projects, the civil construction market has such alternatives as structural masonry and concrete wall systems that offer shorter terms, greater savings, and cleaner work. The results become even more advantageous when compared to the conventional construction system. Due to the high ease presented by the two construction methods, the research will present a comparison involving both systems:

structural masonry and concrete wall molded *in loco*. Evidencing the specificities of each system, so that it helps to define the construction system according to the available resources and the project standard. Such comparison was made based on two real residential building projects. One of the projects was executed in a structural masonry system while the other one was executed in a concrete wall system, both in the capital of São Paulo. The scope includes the comparison of equipment, materials, labor, waste generation, and technological control used in each of the construction works. As well as the results achieved in each component in terms of advantages and disadvantages obtained through *in loco* records and found in the bibliographic survey.

KEYWORDS: Structural Masonry, Concrete Wall, Social Interest Housing, Construction Systems.

INTRODUÇÃO

A escolha de um sistema construtivo está intrinsecamente ligada ao discernimento e clareza do responsável sobre o tema. Informações como: materiais tipicamente utilizados, controle tecnológico, entre outros, são elementos que devem ser de conhecimento de qualquer responsável pela obra. Para uma correta escolha do sistema construtivo, é importante realizar um estudo de viabilidade afim de se encontrar o método construtivo que mais se enquadra ao projeto, conforme publicado na revista digital Entenda Antes.

Nesse sentido, para aplicação de uma obra em alvenaria estrutural ou parede de concreto, cujo sistemas são predominantemente utilizados em empreendimentos de edifícios ou conjuntos habitacionais, recomenda-se o estudo detalhado, pois há particularidades em cada sistema, distinguindo-os em alguns pontos.

Mohamad (2015, p. 23) destaca que a alvenaria estrutural possui diversas vantagens, dentre elas, a econômica é uma das principais, em virtude da otimização de tarefas na obra, por meio de técnicas executivas simplificadas e facilidade de controle nas etapas de produção e eliminação de interferências. Tais proveitos são a causa de o sistema construtivo ainda ser tão bem empregado atualmente.

Já no sistema de parede de concreto, a eficiência é fundamentada no decorrer da execução do projeto em que há alta repetitividade. Ponzoni (2013) argumenta que a aplicação desse sistema construtivo gera um custo inicial elevado, porém o investimento é compensado quando as vantagens são analisadas. Sua economia é firmada na produção em grande escala com projetos padronizados. “Quando comparada à construção com alvenaria, a execução de um único imóvel com paredes de concreto pode ser até 12% mais cara. No entanto, a conta se inverte quando a solução é utilizada em larga escala.” (Nakamura, 2019)

Assim sendo, o presente estudo visa comparar as particularidades entre os sistemas construtivos de alvenaria estrutural e parede de concreto. Para isso, expõe-se as características de componentes empregados na execução das estruturas e fechamentos de cada sistema, detectadas em projetos efetivos, através de pesquisa em campo.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Alvenaria Estrutural

Como em todos os sistemas construtivos, a alvenaria estrutural possui suas vantagens e desvantagens: ora é viável a utilização da alvenaria estrutural, ora utilizando parede de concreto. Segundo Lima e Costa (2018), até o ano de 2009, a alvenaria estrutural era unanimidade nas obras, mas, progressivamente, vem sendo substituída por outros sistemas construtivos. Outras tecnologias construtivas vêm se tornando viáveis no que se refere a custos, geração de resíduos, tempo de obra e mão de obra especializada. Entretanto, o referido autor afirma que, a alvenaria estrutural será sempre uma opção viável, a depender do projeto.

Gonçalves e Martins, (2018, p.18 e 19) observou que o sistema de alvenaria estrutural teve diversas vantagens como economia de tempo, custos e apresentando excelentes resultados quanto a resistência a cargas exercidas na estrutura, mostrando também que devido a padronização da execução ocorre um menor desperdício de materiais. Ainda sobre desperdício, segundo Oliveira e Batista, (2017, p.10) “uma das principais vantagens do sistema é a economia de material, resultando em uma obra mais limpa e aumentando a segurança de trabalho para os funcionários.”

Para uma obra limpa, é de suma importância conhecer os resíduos que ela produzirá. Conscientizar-se sobre os resíduos gerados por cada sistema, resultando em uma obra mais limpa e conseqüentemente mais organizada. Conforme o levantamento realizado pela revista Concreto & Construções (2018), a geração de resíduos por alvenaria estrutural, de forma geral, se resume a: Classe A: blocos, argamassa e concreto e Classe B: Embalagens de papel, embalagens de plástico e sobras de metais. Além desses resíduos, haverá outros específicos que vão depender do projeto.

Acerca da metodologia de execução conforme a divulgação da Associação Brasileira de Cimento Portland, segue da seguinte forma: A) Fundação; B) Preparação do piso; C) Verificação do Esquadro da Obra; D) Marcação da Alvenaria; E) Verificação da posição das instalações; F) Instalação dos Escantilhões; G) Transferência da referência de Nível; H) Instalação dos Gabaritos de Portas; I) Preparação dos blocos para fixação das caixas elétricas conforme projeto; J) Organização do Canteiro de Obra; e K) Elevação Da Alvenaria.

A mão de obra, sendo responsável por uma grande parcela para atendimento do prazo da obra, não tem um padrão de especialização ou experiência específico para a execução do serviço. Luana e Bressiani (2012) defendem que há uma escassez no que tange à mão de obra qualificada e, como consequência, necessidade de treinamento para funcionários sem experiência. Segundo o referido autor, é um dos motivos que desmotivam os responsáveis para a escolha deste sistema, uma vez que os treinamentos demandam tempo.

Para garantir a qualidade, atendimento das normas e especificações técnicas se faz

o controle tecnológico, ou seja, ensaios técnicos para atender os requisitos exigidos pelas normas. Sendo assim, o controle tecnológico para este sistema, de acordo com Wendler e Monge (2018, p.41), é obtido através de rigorosos testes de laboratório tanto com o concreto fresco, como com o concreto endurecido, para que o projeto atenda as normas de segurança e qualidade que é estabelecida pela ABNT.

O arquiteto Fabio Freire (2017) afirma que a alvenaria estrutural é um sistema construtivo bastante eficiente, que permite alto grau de padronização e racionalização. Para tanto, é de extrema importância que sejam feitos investimentos em projeto, execução e planejamento de obra.

Apesar da alvenaria estrutural obter diversas vantagens no que tange ao desperdício de materiais, flexibilidade na execução, dispensa de mão de obra especializada, uso reduzido de material, entre outros. O mesmo apresenta desvantagens, conforme levantamento realizado pelo Simpósio de pós graduação em engenharia urbana, publicado em 2012, tais como: Impossibilidade de remoção de paredes; impossibilidade de alterações em paredes já executadas, como, por exemplo, abertura para passagem de dutos; Utilização de vãos relativamente pequenos no projeto arquitetônico (5 ou 6 m); e dificuldade na execução de formas arredondadas. Essas e outras desvantagens devem ser levadas em consideração no momento da escolha ideal do sistema construtivo. Para tal, o responsável deve ter o discernimento e expertise sobre o assunto.

Parede de Concreto

A ABNT 16055 (2012, p.9) define parede de concreto como um elemento estrutural autoportante, moldado no local, com comprimento maior que 10 vezes a sua espessura e que seja capaz de suportar cargas no mesmo plano da parede. Misdurel e Massuda (2009, p.1), defendem que o sistema construtivo de paredes de concreto foi inspirado em experiências bem-sucedidas com concreto celular e concreto convencional nos anos 70 e 80.

Com o alto crescimento do mercado brasileiro surgiu a necessidade de um sistema mais eficiente e ágil, para acompanhar as demandas de mercado, desta forma o método parede de concreto foi intensamente estudado para ser adequado para a execução de acordo com as normas brasileiras.

Segundo Bassi e Marco, (2019) o sistema é executado através de etapas, sendo elas: a montagem das fôrmas temporárias que são responsáveis pelo molde do material, seguido pela armação de telas soldadas que recebem os esforços de cargas exercidas pela estrutura e controlam a retração do concreto. Posteriormente, são realizados os cortes para que sejam posicionadas as esquadrias, nessa etapa também são instalados os tubos para as instalações elétricas e hidráulicas, e então é feita a concretagem da parede. Depois de retiradas as fôrmas, a infraestrutura está finalizada. Observa-se que um dos grandes diferenciais deste sistema construtivo é a integração de etapas, pois ao mesmo tempo que

se constrói a estrutura, faz-se todas as instalações elétricas e hidráulicas, esquadrias e reforços da edificação. De acordo com Misdureli e Massuda (2009) essa “industrialização do processo” é um dos fatores que garantem a agilidade do método.

Para Wendler e Monge (2018, p.38) a velocidade construtiva para a consolidação de um projeto é uma das qualidades do sistema de paredes de concreto. Permite agilidade de realizar até quatro unidades de habitações por dia, os autores defendem ainda que deve haver um rigoroso planejamento e atenção a execução do projeto. Misdureli e Massuda (2009, p.3), lembram que os métodos de execução são controlados a fim de garantir rapidez, custos baixos e a qualidade do processo, os autores defendem que um dos aspectos essenciais desse sistema é que seja evitado os desperdícios de materiais e retrabalhos, pois, como a fase de concretagem é executada de uma única vez e de maneira integrada, é importante que se tenha um planejamento bem definido. Afinal, neste caso, o retrabalho pode ser mais oneroso do que a própria construção. Outro fator diferencial que acaba tornando o método mais ágil quando comparado a outros sistemas construtivos, é que com a parede de concreto o acabamento se torna prático, já que não necessita de chapisco, emboço e reboco, pois as fôrmas dão uniformidade as paredes, dispensando o uso de tais acabamentos. Outra vantagem defendida por Bassi e Marco (2019), é o fato de que as formas de alumínio podem ser utilizadas de 1.500 a 2.000 vezes antes de chegar ao fim da sua vida útil, também pode ser utilizado outros tipos de materiais nessas formas, como plástico e madeira que são materiais com o custo mais baixo, se tornando uma solução construtiva mais econômica. Além disso garante um menor impacto ambiental, visto que os entulhos são drasticamente reduzidos em comparação a qualquer outro método construtivo.

Como o sistema não necessita de mão de obra especializada, apenas um treinamento específico, Misdureli e Massuda (2009) argumentam que a mesma equipe de profissionais é capaz de executar todas as etapas, esta é uma vantagem que viabiliza a inserção desse método em diversos tipos de obras e locais em todo o país.

O controle tecnológico nesse sistema deve ser rigoroso, como a matéria principal é o concreto são executados testes de laboratório tanto no estado fresco, como endurecido, para que o projeto atenda às normas de segurança e qualidade que são estabelecidas pela ABNT 16055. Além disso, os cuidados com armazenamento e recebimento dos materiais também devem ser intensificados, tudo a fim de manter maior integridade e qualidade dos mesmos.

Uma das principais desvantagens do sistema de paredes de concreto segundo Bassi e Marco (2019, p.16), é o alto custo das fôrmas e equipamentos de grande porte necessários para movimentação das mesmas, por este motivo os autores acreditam que o método seja viável apenas para projetos que estão acima de 50 unidades construídas, para que assim o valor das fôrmas possa ser diluído no processo construtivo, pois, em obras menores é provável que não se justifique o custo com fôrmas e equipamentos. Além

da baixa flexibilidade para alterações após finalizada a construção. Para Wendler e Monge (2018, p.41) a atenção ao processo produtivo e as etapas que são executadas no sistema devem ser rigorosamente monitoradas, para que não sejam necessários tratamentos corretivos, porque segundo os autores os custos de futuras correções de patologias são mais altos do que a própria execução do projeto.

METODOLOGIA

A pesquisa descritiva proposta foi realizada através de levantamento bibliográfico de ambos os sistemas estruturais juntamente com dois projetos efetivos que fazem parte do programa Federal “Minha casa, Minha Vida”, conforme descrição a seguir: uma edificação em alvenaria estrutural configurada com 6 pavimentos, 28 unidades entre 28 e 35 m², localizada no bairro de Itaquerá em São Paulo (Figura 1), e uma edificação em parede de concreto configurada com 21 pavimentos, 280 unidades entre 29 e 45 m², localizada no bairro do Brás em São Paulo (Figura 1).

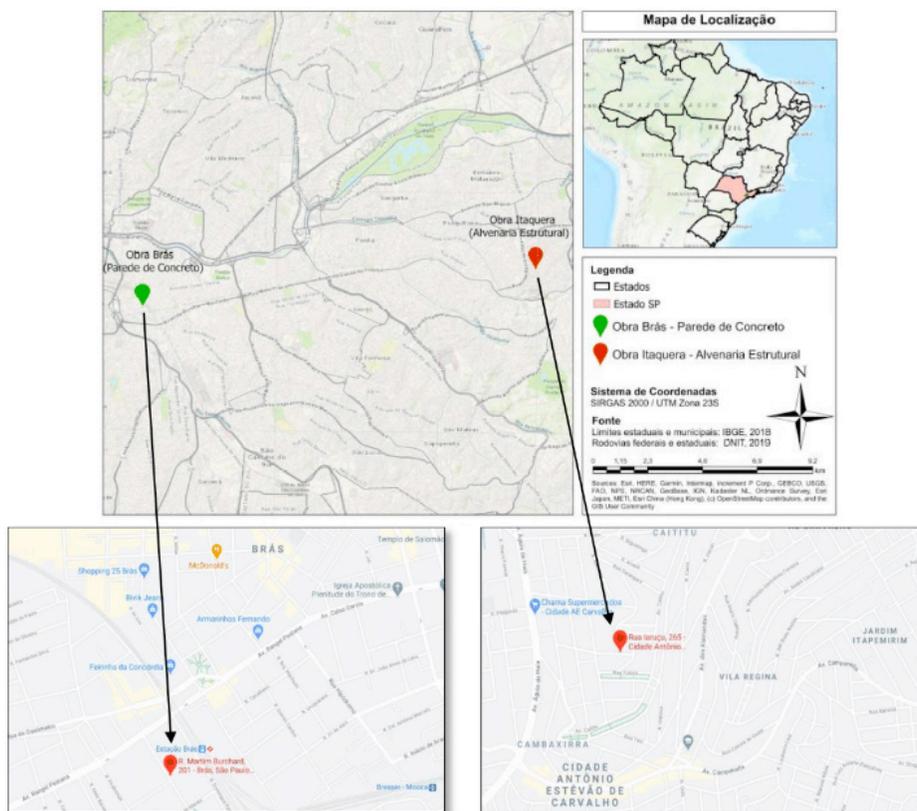


Figura 1- Mapa de Localização (Elaboração do Autor, 2020)

Após a coleta dos dados, os resultados foram transcritos para infográficos comparativos, para melhor compreensão, visando organizar de forma estratégica as diferenças entre os dois métodos supracitados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos foram extraídos através de entrevistas *in loco* e virtuais. Assim como através de documentos e registros demonstrativos, disponibilizados pelas construtoras. Para melhor apresentação dos resultados foram elaborados infográficos para cada um dos componentes apresentados a seguir: equipamentos, materiais, mão de obra, geração de resíduos e controle tecnológico.

Os equipamentos utilizados foram fundamentais para a otimização de tempo e mão-de-obra, além de garantir a preparação adequada dos materiais. A Figura 2 ilustra os principais equipamentos utilizados no estudo de caso, para cada sistema, seguido por uma análise de suas finalidades e peculiaridades.

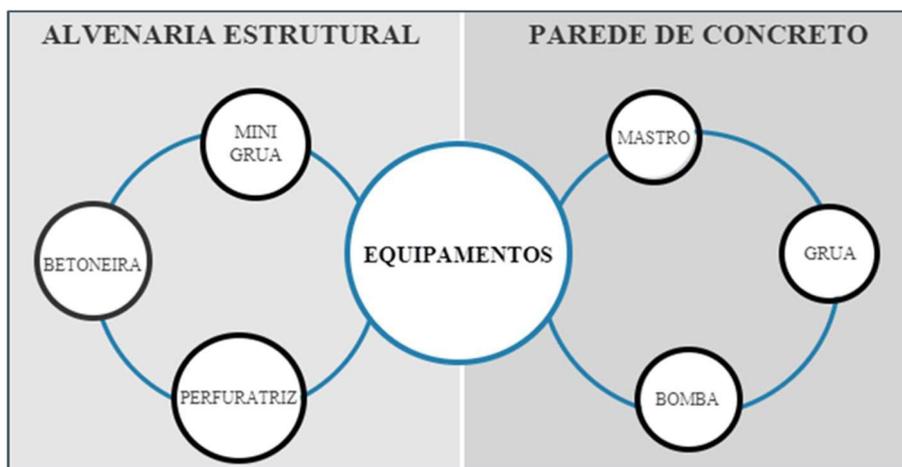


Figura 2 - Equipamentos (Elaboração do Autor, 2020)

A alvenaria estrutural utiliza a mini grua para o transporte de materiais entre pavimentos, a betoneira para mistura dos aglomerantes e a perfuratriz para os recortes de instalações elétricas. Os equipamentos substituem de forma eficiente o uso de mão de obra, otimizando os serviços e prazos de execução.

No sistema de parede de concreto o mastro é fundamental para fixar os tubulões da bomba de concreto, a grua auxilia no transporte de materiais entre pavimentos e na movimentação do mastro, e a bomba é necessária para o bombeamento de concreto por toda a estrutura.

Logo, para ambos os sistemas, a utilização de equipamentos é fundamental. Contudo, para o sistema de alvenaria estrutural ele se faz como um aparato para otimização de processos e prazos, assim sendo facultativo seu uso, já na parede de concreto os equipamentos são indispensáveis para a correta execução do sistema.

Os materiais utilizados no estudo de caso são característicos de cada sistema, conforme apresentado na Figura 3 e discutido a seguir.

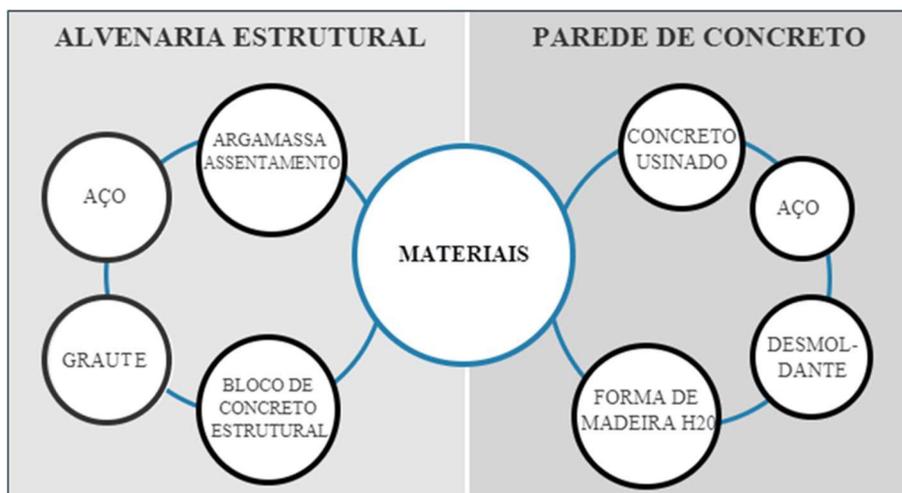


Figura 3 - Materiais (Elaboração do Autor, 2020)

No sistema de alvenaria estrutural a argamassa de assentamento utilizada possuía resistência de 7 MPa, de acordo com o projeto; as barras de aço eram de 8mm, com função de amarração da estrutura, para evitar surgimento de fissuras durante os esforços de tração; o graute para o preenchimento dos blocos e canaletas estruturais, possuíam resistência de 20 MPa, foram utilizados em pontos específicos com função de solidificar o aço com a alvenaria e aumentar a capacidade de suporte da estrutura, conforme determinado em projeto. Os blocos e canaletas de concreto estrutural, foram determinados pelo projeto estrutural com resistências de 4, 5 e 6 MPa, e dimensões variadas.

No sistema de parede de concreto foi utilizado primordialmente o concreto auto adensável com aditivos. A usinagem do concreto foi realizada no traço projetado e quantidade necessárias especificados em projeto estrutural. Também foram utilizadas no sistema construtivo as fôrmas de madeira H20 e plataforma auto trepante, segundo Nakamura (2018) “para edifícios que contemplam múltiplos pavimentos, uma solução recorrente são as fôrmas trepantes. Por serem compostos por painéis de grandes dimensões, esses moldes exigem menos etapas de montagem, agregando ainda mais produtividade”. Na obra estudada, as fôrmas possuíam partes externas revestidas de

madeira e interna resinadas. Internamente foram instaladas telas de aço para combater a retração do concreto e possibilitar a fixação das instalações elétricas e hidráulicas; além disso para facilitar a desenforma após secagem do concreto, foi aplicado nas fôrmas de madeira um material desmoldante, que também auxilia para um aspecto mais homogêneo do concreto, sem imperfeições aparentes, evitando o surgimento de possíveis patologias.

Os materiais abordados são típicos de cada sistema, afinal, não se executa uma parede de concreto sem fôrma e concreto. Da mesma forma, não se executa uma alvenaria estrutural sem blocos estruturais e aço. Deste modo, a viabilidade de execução é condicionada a disponibilidade destes materiais na região e ao orçamento disponível para obra.

A mão de obra empregada no estudo de caso, seguiu a configuração da Figura 4, e detalhada a seguir.

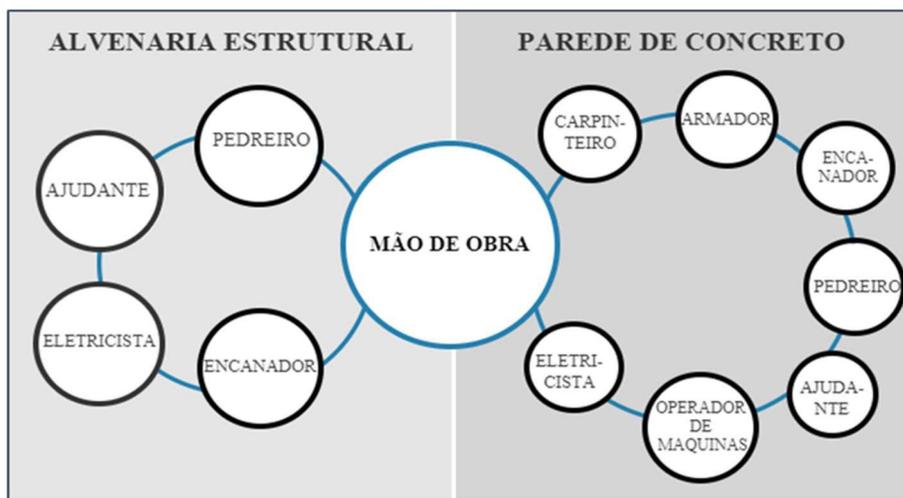


Figura 4 - Mão de Obra (Elaboração do Autor, 2020)

No sistema de alvenaria estrutural utilizou-se mão de obra própria qualificada e com experiência anterior. Fez-se necessário uma mão de obra criteriosa pois em toda a sua execução foi verificado o alinhamento vertical, através do prumo, e do alinhamento horizontal, mediante uso do escantilhão, conforme determinado na NBR 16868-2, garantindo a qualidade de execução.

No sistema de parede de concreto foi fornecido treinamento inicial para montagem das fôrmas e no ciclo de produção de montagem das telas de aço e concretagem. Para as instalações elétricas e hidráulicas foram utilizadas equipes especializadas.

Destaca-se que o sistema parede de concreto requer especificidade maior de mão de obra, como por exemplo o operador de máquinas, que é indispensável no sistema.

Todavia, por ser um sistema com conceitos de industrialização em seus processos, é possível otimizar o quantitativo de operários quando comparado ao sistema de alvenaria estrutural. Observa-se que em ambos os casos, o treinamento das equipes é fundamental, pois nos dois sistemas é necessário um controle de qualidade rigoroso, onde um pequeno erro de execução resulta em danos irreparáveis e/ou onerosos.

A geração de resíduos é um grande diferencial de ambos os sistemas em relação a qualquer outro sistema construtivo, na Figura 5 demonstra-se os resíduos gerados por cada sistema, seguido por uma análise sobre suas particularidades.

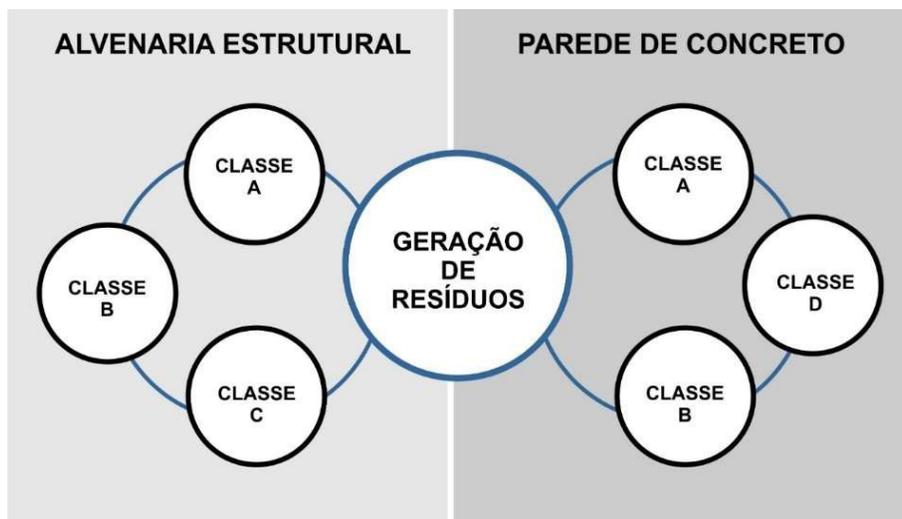


Figura 5 - Geração de Resíduos (Elaboração do Autor, 2020)

Os resíduos apresentados seguem a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). No estudo de caso, a obra de alvenaria estrutural produziu três classes de resíduos, sendo: classe A: retalhos de blocos, argamassa e concreto; classe B: embalagens dos aglomerantes e recortes de aço e classe C: isopor, utilizado no preenchimento da laje pré-moldada solicitada em projeto. O acolhimento e destinação dos resíduos foram executados conforme plano de gerenciamento de resíduos sólidos - PGRS implantado pela construtora.

Já no sistema de parede de concreto nota-se produção de três classes, sendo os resíduos: classe A: sobra de concreto; classe B: descarte de fôrmas e embalagens de materiais hidráulicos e elétricos; e classe D: solventes, óleos ou contaminados.

O principal diferencial entre os sistemas no que diz respeito a geração de resíduos, consiste no fato de a obra de parede de concreto dispor de um processo de execução limpo, quando comparado a alvenaria estrutural. Como a matéria prima predominante em parede

de concreto é o concreto usinado, não são gerados resíduos provenientes de materiais agregados. Os demais materiais empregados na estrutura são fornecidos conforme projeto, portanto, suas dimensões são definidas anteriormente, dispensando corte e montagem na obra e evitando assim a geração de resíduos.

O controle tecnológico é fundamental para garantir qualidade e durabilidade das construções, observa-se que ambos os sistemas são ricos em normativas de controle e execução. As duas obras estudadas apresentam projetos estruturais oficiais. Para expor neste estudo o controle tecnológico empregado em cada sistema, apresenta-se a Figura 6 e em seguida descreve-se suas particularidades.

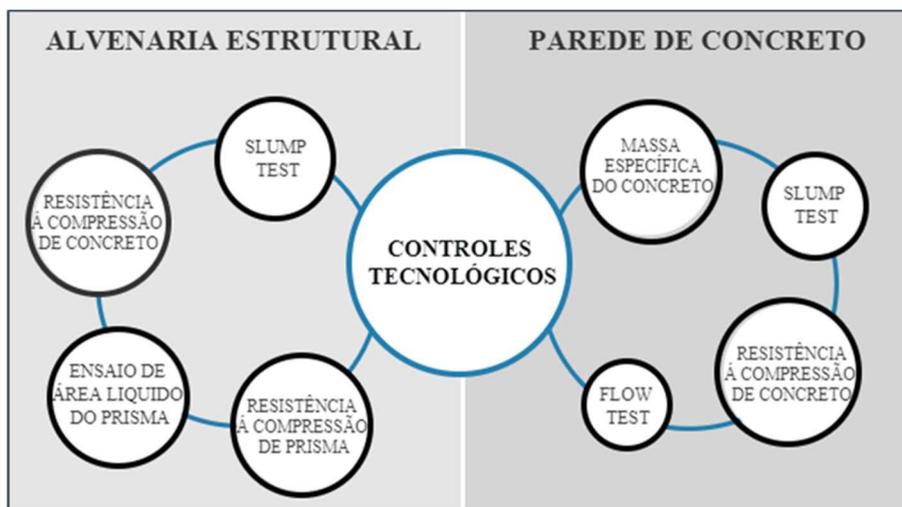


Figura 6 - Controle Tecnológico (Elaboração do Autor, 2020)

No sistema de alvenaria estrutural os ensaios identificados foram realizados conforme as seguintes normas: ABNT NBR 12655, ABNT NBR 67, ABNT NBR 7480, ABNT NBR 5739, ABNT NBR 16868 ABNT NBR 6136. Ensaio de Abatimento do Concreto (*Slump Test*), utilizado para o preenchimento de lajes; foram moldados corpos de prova por laboratório externo para detectar a resistência do concreto a compressão, assim como os ensaios com prisma oco e prisma cheio para comprovação de resistência dos blocos e dimensões executados a cada pavimento, demonstrando o atendimento de resistência da estrutura conforme projeto; os ensaios dos aços e argamassa de assentamento foram fornecidos pelos fabricantes.

No sistema de parede de concreto os ensaios identificados foram realizados conforme as seguintes normas: ABNT NBR 12655, ABNT NBR 67, ABNT NBR 7480, ABNT NBR 15823, ABNT NBR 33, ABNT NBR 9833 e ABNT NBR 8255. Foram moldados corpos de prova para ensaio de compressão do concreto a cada parede construída para detectar

a resistência do concreto, os resultados foram analisados por laboratório interno montado na obra; a cada 5 lajes foi realizado um ensaio de módulo de elasticidade e realizado a manutenção das fôrmas de madeira; e os ensaios dos aços foram fornecidos pelos fabricantes.

O controle tecnológico é essencial para ambos os sistemas, pois ele comprova o resultante final do projeto. Ambos sistemas empregam materiais e procedimentos específicos e cautelosos que influenciam na qualidade do projeto. Existem processos específicos na alvenaria estrutural como a verificação de alinhamento vertical e horizontal, desta maneira descarta erros, visto que a alvenaria será a estrutura da edificação. Do mesmo modo, tem-se na parede de concreto a fôrma de concretagem, onde há um processo rigoroso de controle tecnológico pois será a responsável pelo alinhamento e sustentação da estrutura posteriormente concretada. Assim como os processos, temos os materiais que devem seguir rigorosamente o controle tecnológico de ambos sistemas, visto que são protagonistas nos sistemas estruturais. Desta maneira, de acordo com a coleta e análise realizada neste estudo de caso, percebe-se que o sistema de parede de concreto gera um maior controle tecnológico, visto que foram ensaiadas todas as paredes concretadas assim como todas as lajes, diferenciando da alvenaria estrutural onde foram executados ensaios de primas oco e cheios por pavimentos da edificação.

CONCLUSÕES

Conforme discorrido neste estudo a execução do sistema de parede de concreto solicita equipamentos mais específicos do que é necessário no sistema de alvenaria estrutural. Um exemplo de equipamento específico é a fôrma auto trepante, utilizada no sistema de parede de concreto e que potencializou a produção pois, agilizou o procedimento de montagem, otimizando mão de obra no processo. Na Alvenaria estrutural foram utilizados os equipamentos: mini guas, perfuratriz e betoneiras; são equipamentos que auxiliaram na eficácia e agilização dos processos, todavia é facultativo sua utilização. O emprego dos equipamentos na parede de concreto pode ser demasiadamente oneroso para obras de baixa proporção, entretanto, quando empregado em obras maiores, observa-se significativa otimização da obra pois, as atividades mecanizadas diminuem a subjetividade e a quantidade da mão de obra, impactando diretamente em menos retrabalhos, menos resíduos e conseqüentemente, menos custos e prazos. O sistema parede de concreto requer um controle tecnológico em maior quantidade comparado ao sistema alvenaria estrutural, visto que são realizados seus teste e ensaios em todas as paredes da estrutura, o que gera um custo elevado a ser considerado no projeto. Todavia o sistema alvenaria estrutural não se faz necessário mão de obra especializada, no que comparado com parede de concreto necessita mão de obra especializada para operar os equipamentos. Já na geração de resíduos, observou-se que o sistema de parede de concreto tem-se um cenário

de execução mais limpo se comparado a alvenaria estrutural. Como consequência, gera-se agilidade na execução, uma vez que não são gerados tantos resíduos como a alvenaria estrutural, deixando a obra mais organizada e diminuindo seus processos no que tange à organização e limpeza. Os materiais utilizados em ambos sistemas são específicos, sendo fundamental a qualidade e cumprimento da especificação técnica do projeto, como por exemplo, na parede de concreto respeitando o traço do concreto usinado e na alvenaria estrutural a resistência dos materiais blocos, argamassa, graute etc.

Desta maneira para a viabilização da execução de ambos os sistemas, se faz determinante as particularidades do projeto como: localização, dimensão e prazo. São as características consideradas mais importantes para escolha do sistema construtivo a ser executado. Afinal, o transporte de equipamentos, e a disponibilidade de matéria prima adequada local, são custo significativo na obra. É necessário que o responsável da obra apure a disponibilidade destes itens localmente ou que realize o planejamento de custo e prazos para transporte dos mesmos, pois estes custos podem inviabilizar as vantagens apresentadas de cada sistema.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16055**: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

BASSI, G.; MARCO, G. Estudo de Caso – Método Construtivo de Parede de Concreto *in Loco*. **Revista científica semana acadêmica**, Fortaleza, Edição N°. 000181, out. 2019

BRASIL. Resolução. Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Portaria MMA. Publicada no DOU no 136, de 17 de julho de 2002, Seção 1, páginas 95-96.

GONÇALVES, G.; MARTINS, S. Alvenaria Estrutural: Aspectos Construtivos nas Habitações de Interesse Social. **Revista Pensar**, vol.6 no.2, julho/2018 - ISSN 2318-2504.

LIMA, J.; COSTA, C. Três sistemas construtivos em empreendimento residencial econômico. **Revista Ibracon Concreto & Construções** - Edição 90, P. 21-25, abr/jun 2018.

FREIRE, F.; PUGLIESI, P.; ALBESSÚ, N. Alvenaria estrutural em edifício de 24 pavimentos. **Revista Ibracon Concreto & Construções** - Edição 90, p. 26-33, abr/jun. 2018

MISURELLI, H.; MASSUDA, C. Como Construir Parede de Concreto. **Revista Técnica**, São Paulo, Edição 147, ano 17, junho/2009, Páginas 74 A 80.

MOHAMAD, G.; MACHADO, D.W.N.; JANTSH, A. A. **Alvenaria Estrutural**: Construindo o conhecimento. São Paulo: Ed. Blucher, 2018.

MOHAMAD, G. **Construções em Alvenaria Estrutural**: Materiais, projeto e desempenho. São Paulo: Ed. Blucher, 2015.

NAKAMURA, J. Parede de Concreto: Vantagens e Características. **Buildin**, 2019. Disponível em: <<https://www.buildin.com.br/parede-de-concreto/>>. Acesso em: 29 maio 2020.

NAKAMURA, J. Equipamentos maximizam produtividade em obras com paredes de concreto. **Aecweb**, 2018. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/equipamentos-maximizam-produtividade-em-obras-com-paredes-de-concreto/16806>>. Acesso em: 18 junho 2020.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação. Rio de Janeiro, 2008

_____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 16868**: Alvenaria estrutural. - Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2020

_____. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 15823**: Concreto autoadensável - Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 33**: Concreto - Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 9833**: Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 8255**: Paletes de madeira – Resistência da fixação ao arrancamento. Rio de Janeiro, 2011

_____. **NBR -2**: Alvenaria estrutural – Blocos de concreto. Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2011

OLIVEIRA, Q.; BATISTA, T. Sistema Construtivo em Alvenaria Estrutural. In: III SEMINÁRIO CIENTÍFICO DA FACING, 2017- II Jornada de iniciação científica da facig, 2017, Manhuaçu. **Anais eletrônicos**...Manhuaçu: FACIG, 2017. Disponível em: <<http://integracao.facig.edu.br/iiseminariocientifico/>>. Acesso em: 13 mar. 2020.

HOFFMANN, L.; BRESSIANI, L; FURLAN, G; THOMAZ, W. Alvenaria Estrutural: um levantamento das vantagens, desvantagens e técnicas utilizadas, com base em uma pesquisa bibliográfica nacional. In: III Seminário de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, 2012. **Anais eletrônicos**...Maringá: UEM, 2012. Disponível em: <<http://www.eventos.uem.br/index.php/simpgeu/simpgeu/paper/viewFile/944/747>>. Acesso em: 13 mar. 2020.

SÁNCHEZ, E. **Nova normalização brasileira para a Alvenaria Estrutural**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2013.

WENDLER, A.; MONGE, R. Paredes de Concreto – Como ter uma Obra sem Manifestações Patológicas. **Revista Ibracon Concreto & Construções** - Edição 90, abr/jun 2018.

PONZONI, J. **Paredes de Concreto Moldada *in loco***: Verificação de atendimento às recomendações da norma NBR 16055/2012 nos procedimentos executivos em obra de edifício residencial. Trabalho de diplomação – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

Sem autor: SISTEMAS construtivos: tudo o que você precisa saber. Entenda Antes, 20 de janeiro de 2020. Disponível em: < <https://entendaantes.com.br/sistemas-construtivos/>>. Acesso em: 13, agosto e 2020.

CAPÍTULO 14

ESTUDO DE VIABILIDADE DE UMA ESTRUTURA METÁLICA COMO ALTERNATIVA PARA CONSTRUÇÕES: ESTUDO DE CASO EM GALPÃO INDUSTRIAL FEITO EM CONCRETO ARMADO PRÉ-FABRICADO

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 03/01/2021

Enrique Santana dos Santos

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Pato Branco – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/5286262311096216>

Fábio Rodrigo Mandello Rodrigues

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Pato Branco – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/3781294735790469>

RESUMO: Visando a comparação de custo entre estruturas de aço e concreto e a otimização de um projeto de um galpão industrial, a pesquisa em questão mostra a substituição dos pilares em concreto armado pré-fabricado para pilares metálicos de seção U e I. A pesquisa se tratou de modelar a estrutura do projeto existente, encontrar as mínimas dimensões das seções metálicas que suportariam os esforços atuantes, e o orçamento em empresas da região onde o projeto seria implantado (Pato Branco/PR). Através dos resultados obtidos nos valores dos orçamentos, conclui-se que a estrutura de aço, seja utilizando seção I ou U, são mais econômicas, suportam melhor os esforços atuantes e oferecerem maior rapidez de entrega e montagem, quando comparadas com a estrutura original utilizando pilares de concreto armado pré-fabricado.

PALAVRAS-CHAVE: Estruturas metálicas. Estruturas de concreto. Galpão Industrial.

VIABILITY STUDY OF A METALLIC STRUCTURE AS AN ALTERNATIVE FOR CONSTRUCTIONS: CASE STUDY IN AN INDUSTRIAL SHED MADE OF PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE

ABSTRACT: In order to compare the costs between steel and concrete structures and the optimization of a project for an industrial building, the research in question presents the replacement of prefabricated reinforced concrete columns for U and I metal columns. A structure of a real project case was modeled, and the minimum dimensions of the metal sections that would support the active efforts were determined, at the end a budget was made in companies in the region where the project would be implemented (Pato Branco / PR). Through the results obtained, it is concluded that the steel structure, whether using section I or U, have a lower cost, better support the acting efforts and offer faster manufacturing and assembly, when compared to the original structure using concrete pillars prefabricated armed.

KEYWORDS: Metallic structures. Concrete structures. Industrial Shed.

1 | INTRODUÇÃO

As primeiras construções em aço datam de 1750, quando foi possível produzir industrialmente o material. Seu uso foi inicialmente utilizado em escadarias na França, e em pontes na Inglaterra, mas só por volta de 1857 foi utilizado no Brasil, na Ponte de Paraíba

do Sul, localizada no Rio de Janeiro.

No Brasil, o material predominantemente utilizado para as estruturas das grandes obras é o concreto armado, mesmo possuindo um notável mercado produtor de aço. As estruturas de aço utilizadas mais comumente em construções industriais, ou como alternativa quando o uso do concreto armado se torna inviável.

Algumas vantagens no uso de estruturas de aço são facilmente notadas: a alta resistência aos estados de tensão utilizando seções menores que as de concreto; possibilidade de se realizar uma obra mais rápida e limpa por conta da facilidade de montagem; a possibilidade de reaproveitamento do material. Entretanto, algumas desvantagens também podem ser observadas, como a corrosão do material quando não são realizados métodos de proteção adequados.

Com o objetivo de evidenciar a diferença do uso de cada um desses materiais, o trabalho em questão tratou de substituir em um projeto realizado com elementos em concreto armado pré-fabricado por elementos metálicos, com duas seções diferentes, e realizar o comparativo final do custo dos materiais.

2 | METODOLOGIA

Para o estudo foi utilizado o projeto de um galpão industrial com pilares em concreto armado pré-fabricados e tesouras metálicas. O galpão mede 25 metros de vão por 80 metros de comprimento, sem beirais, com fechamentos laterais, frente e fundo em alvenarias e telhas de aço. É composto por 38 pilares de 6,00 metros de altura cada, as tesouras possuem uma altura de 2,20 metros.

O projeto foi fornecido pela empresa especializada Pressotto Estruturas e Prémoldados, e o local de execução é na região de Pato Branco, no sudoeste do Paraná e tem finalidade de armazenamento de materiais. A fim de ilustrar as características do galpão, foi gerado as imagens abaixo:

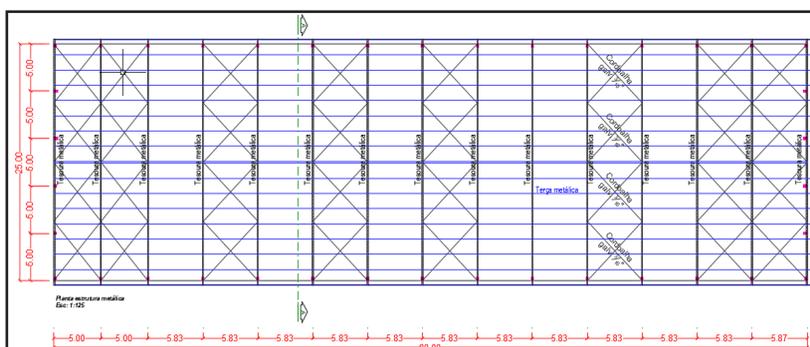


Figura 1 – Planta da estrutura do galpão.

Fonte: próprio autor.

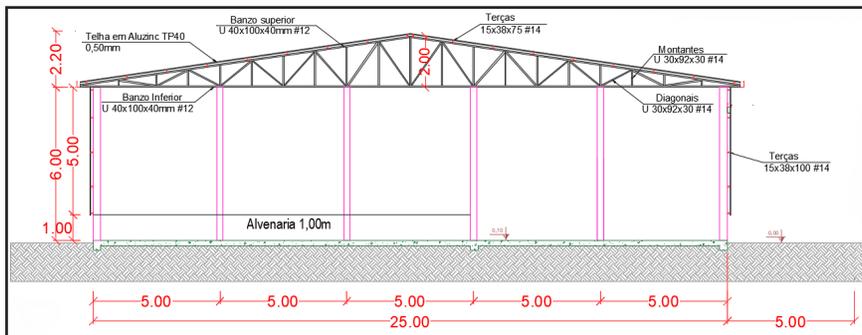


Figura 2 – Corte AA do galpão.

Fonte: próprio autor.

A partir do projeto inicial, feito com pilares de concreto armado, foi modelada a estrutura no software Metálicas3D para cálculo de estruturas metálicas, e substituídos então os pilares para diferentes seções de perfis metálicos.

Os perfis mais utilizados são aqueles cuja seção transversal possui as formas das letras I, H, U e Z, e recebem sua denominação conforme tal semelhança. Tais perfis podem ser fabricados por processos de laminação, formados a frio ou por soldagem. Como substituição aos pilares de concreto do galpão, foram propostos pilares com os perfis U e I.

A Figura 3 mostra o 3D da estrutura já modelada no software Metálicas3D:

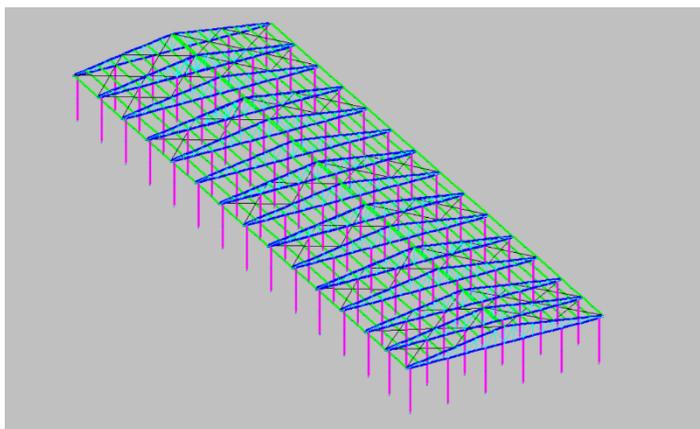


Figura 3 – Exemplo de figura

Fonte: próprio autor.

Para o cálculo da estrutura foram considerados esforços de vento, carga permanente, sobrecarga. A estrutura foi dimensionada de acordo com as normas técnicas:

- ABNT NBR 7190:1997 - Projeto de estruturas de madeira.
- ABNT NBR 14762:2010 - Estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio.
- ABNT NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas
- ABNT NBR 8681:2003 - Ações e segurança nas estruturas - Procedimento.
- ABNT NBR 6120:1980 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações.
- ABNT NBR 6123:1988 - Forças devidas ao vento em edificações.
- AISC ASD 89 - American Institute of Steel Construction.
- AISI 2007 - American Iron and Steel Institute.

Através do cálculo dos coeficientes de flambagem, o software determina automaticamente, em função dos nós da estrutura, os valores mais apropriados, sendo permitido também mudanças manuais posteriores.

Com a estrutura já dimensionada, foi possível partir para o orçamento dos materiais e realizar a comparação com a estrutura original. Para o orçamento foi realizado o contato com empresas da região.

3 I RESULTADOS

Através da modelagem inicial do projeto e a substituição do material dos pilares, foi obtido através do programa Metálicas3D as dimensões mínimas das seções (Figura 4 e 5), para cada um dos perfis.

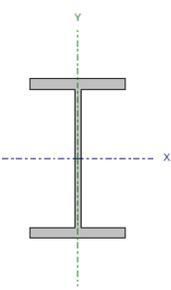
Perfil: I 127		Material: Aço (A-36 250Mpa)							
		Cotas do tramo (m)		Altura livre (m)	Características mecânicas				
		Ext.Inferior	Ext.Superior		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _x ⁽²⁾ (cm ⁴)	
		0.00	3.00	3.000	18.39	499.73	48.05	4.16	
		Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme							
				Flambagem		Flambagem lateral			
				Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
		β		1.00	1.00	0.00	0.00		
		L _k		3.000	3.000	0.000	0.000		
C _b		-		1.000					
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _k : Comprimento de flambagem (m) C _b : Fator de modificação para o momento crítico									

Figura 4 – Dimensões utilizadas para o perfil I.

Fonte: próprio autor.

Perfil: U 203.2 x 7.7 Material: Aço (A-36 250Mpa)								
Cotas do tramo (m)		Altura livre (m)	Características mecânicas					
Ext.Inferior	Ext.Superior		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _x ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _g ⁽³⁾ (mm)	y _g ⁽³⁾ (mm)
0.00	3.00	3.000	25.93	1490.00	62.40	6.20	-14.41	0.00
Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme ⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade								
			Flambagem		Flambagem lateral			
			Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
β			1.00	1.00	0.00	0.00		
L _k			3.000	3.000	0.000	0.000		
C _s			-		1.000			
Notação: β : Coeficiente de flambagem L _k : Comprimento de flambagem (m) C _s : Fator de modificação para o momento crítico								

Figura 5 – Dimensões utilizadas para o perfil U.

Fonte: próprio autor.

A Tabela 1 mostra a relação entre os esforços atuantes e resistentes, que faz parte das verificações da Norma para dimensionamento das estruturas metálicas. Tais relações mostram que tais dimensões podem ser utilizadas como substituição ao concreto de forma segura.

Verificações da Norma	Perfil U	Perfil I
Índice de esbeltez (≤ 200)	193.4	185.6
Resistência à compressão (≤ 1)	0.204	0.261
Resistência à flexão eixo X (≤ 1)	0.204	0.284
Resistência ao esforço cortante Y (≤ 1)	0.011	0.017
Combinação esforço axial e flexão (≤ 1)	0.302	0.507

Tabela 1 – Relações entre os esforços solicitantes e resistentes nas verificações da Norma NBR 8800/2008

Fonte: próprio autor.

4 | CONCLUSÃO

A modelagem e dimensionamento da estrutura teve como objetivo garantir que fossem usados perfis com dimensões que garantissem sua estabilidade, evitando assim orçamentos com perfis superdimensionados ou peças dimensionadas nos seus limites de ruptura. Dessa forma, os orçamentos apresentados possuem definições precisas de fabricação, sem tendência aos padrões das empresas, e servem de parâmetros suficientes para comparação.

Para os pilares em concreto, foi solicitado orçamento para pilar pré-fabricado em concreto armado autoadensável, maciço, concreto Fck 30MPa, cimento ARI, seção até 25x40cm, comprimento até 6,00m, podendo ser incluso ou não chapa metálica com ancoragem em barra mecânica laminada redonda no topo para fixação da estrutura metálica da cobertura. Não foi considerado valores para execução da fundação, transporte e mão de obra de montagem da estrutura.

Para os pilares metálicos foi solicitado o orçamento de 38 pilares com o perfil I 127 5" e o perfil U 8" (203,2x7.7), que foram dimensionados anteriormente.

Não foi realizada nenhuma alteração nas tesouras do projeto original, o que por consequência permanece seu valor fixo para a execução com pilares metálicos, logo não foi solicitada orçamento para elas.

A partir dos valores apresentados pelas empresas apresenta-se: Para a execução de pilares em concreto armado pré-fabricados o valor do orçamento foi de R\$ 33.520,00 (Trinta e três mil, quinhentos e 20 reais), considerando apenas o valor de fabricação dos pilares. Para a concepção da estrutura com pilares de seção I, o valor apresentado foi de R\$ 21.891,00 (Vinte e um mil, oitocentos e noventa e um reais).

Para a concepção da estrutura com pilares de seção U, o valor apresentado foi de R\$ 24.031,52 (Vinte e quatro mil, trinta e um reais e cinquenta e dois centavos).

Substituir os pilares de concreto armado por pilares com seção I resultaria na economia de 34,70% no valor de fabricação do elemento estrutural. Utilizar a seção U resultaria na economia de 28,33% em comparação com a estrutura original. É importante enfatizar também, que foram considerados apenas os valores do material, em seus preços unitários.

REFERÊNCIAS

BELLEI, I. H. **Edifícios Industriais em aço: Projeto e Cálculo**. 2. ed. revisada. São Paulo: Pini, 1998.

PFEIL, W; PFEIL M. **Estruturas de aço: Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800:2008**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

TRAHAIR, N. S.; BRADFORD, M. A; NETHERCOT, D. A; GARDNER, L. **The Behaviour and Design of Steel Structures to EC3**. 4. ed. USA and Canada: Taylor & Francis, 2008.

ANÁLISE, DIAGNÓSTICO E METODOLOGIA DE REPARO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS: ESTUDO DE CASO EM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL NA CIDADE DE GUARUJÁ-SP

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 13/11/2020

Guilherme Gonzaga Pereira

Brasília-DF

<http://lattes.cnpq.br/7682551934780232>

Camilla Diniz Ribeiro

Brasília-DF

RESUMO: Os problemas de fachadas evidenciam-se pouco tempo após sua confecção, porém com a realização de manutenções periódicas e projeto adequado, pode ser evitado. Erros de projetos, execução e falhas de manutenções são frequentes quando o assunto é: fachadas de edificações. O estudo realizou-se em um condomínio residencial, onde apresentou manifestações patológicas relacionadas à deslocamentos do revestimento argamassado e cerâmico e de corrosão das armaduras do concreto armado. Este trabalho tem como objetivo identificar as manifestações patológicas e a prescrição de um método de reparo para sanar o problema identificado. Para obter o resultado da análise, foram realizadas inspeções visuais com registros fotográficos, testes in loco e coletas de testemunhos para provação laboratorial e visitas periódicas. Através dos resultados obtidos, concluiu-se que a principal causa das manifestações patológicas apresentadas no local está relacionado aos problemas de projeto, execução e contaminação de cloretos no traço do revestimento argamassado.

PALAVRAS-CHAVE: Manifestações Patológicas. Fachada. Corrosão. Revestimento. Cloretos.

ABSTRACT: The facades need periodic maintenance after they are made, but during their project phase, when they are made, the problems begin to become evident. Project errors, execution and maintenance failures are frequent when the subject is: building facades. The study was carried out in a residential condominium, where it showed pathological manifestations related to the displacement of mortar and ceramic coating and corrosion of reinforced concrete reinforcement. This work aims to identify the pathological manifestations and the prescription of a repair method to remedy the problem identified. To obtain the result of the analysis, visual inspections were performed with photographic records, on-site tests and collection of testimonies for laboratory trials and periodic visits. Through the results obtained, it was concluded that the main cause of the pathological manifestations presented at the site is related to the problems of design, execution and contamination of chlorides in the trace of the mortared coating.

KEYWORDS: Pathological Manifestations. Façade. Corrosion. Coating. Chlorides.

1 | INTRODUÇÃO

Possan e Demoliner [1] afirmam que a degradação precoce das edificações e consequente redução de desempenho são problemas frequentes. Esta degradação ocorre pelo envelhecimento precoce das mesmas,

que é desencadeado pela qualidade inferior dos materiais de construção utilizados, por problemas de projeto, execução e falta de manutenção.

Os fatores de degradação, segundo Bauer e Silva [2], resultantes do clima, como incidência de chuva, variações de umidade relativa e temperatura, interferem nas condições específicas de exposição das edificações pois afetam também a degradação dos materiais.

Ressaltam Araújo e Panossian [3], em função da alta agressividade existe uma constante preocupação quanto a durabilidade das estruturas de concreto no ambiente marinho. Considerando que a deterioração da estrutura pode ocorrer em curto intervalo de tempo, a estratégia mais apropriada para este ambiente seria adotar um concreto/ revestimento de qualidade.

É cultural o uso do revestimento cerâmico em fachadas. Devido à falta de cuidados nas regiões marinhas os casos de manifestações patológicas referentes ao deslocamento de revestimento, corrosão das armaduras e massas metálicas são frequentes. Segundo Lima e Lencioni [4], o ambiente marinho é reconhecidamente agressivo, influencia na durabilidade das construções, depende do micro-clima podendo cada um deles atuar de forma específica.

Os objetivos deste trabalho são: analisar as causas dos problemas relacionados à fachada da edificação; as causas dos deslocamentos dos revestimentos e da corrosão das armaduras; identificar as principais anomalias para o diagnóstico da edificação, considerando o ambiente agressivo.

Para alcançar estes objetivos, procedeu-se a análise visual com registros fotográficos da edificação, seguindo o ensaio de Teste de Percussão, Teste de Resistência de Aderência à Tração e remoção de amostras laboratoriais do Ensaio de Teor de Cloretos (Cl-).

2 | METODOLOGIA

2.1 Descrição e Localização da Edificação

A edificação analisada fica em Guarujá-SP, a 80m da praia; possui 15 pavimentos, estrutura de concreto armado e revestimento cerâmico nas fachadas laterais, frontal e posterior, revestimento argamassado e pintura. A edificação possui cerca de 50 anos de construção. A figura 1 demonstra a localização da edificação.

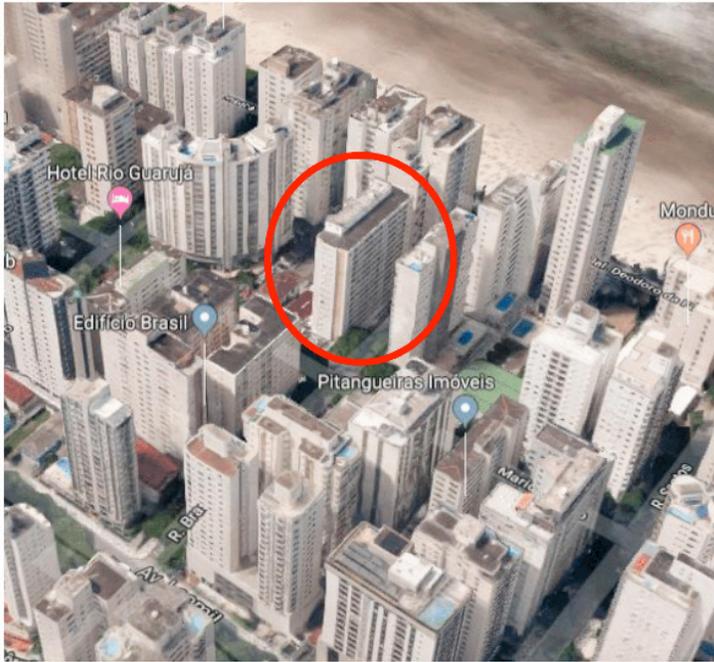


Figura 1 – Localização do Condomínio Residencial Brasil 70.



Figura 2 – Vista geral do Condomínio Residencial Brasil 70 (fachada posterior).

2.2 Metodologia de Inspeção

Para constatações das manifestações patológicas e posteriormente o método recomendado para solução das anomalias na edificação, foram utilizados cinco métodos de verificação: inspeção por imagens fotográficas, identificação de juntas de dilatação, teste de percussão em todas as faces de fachada, ensaios de resistência de aderência à tração seguindo os conceitos da NBR 13528:2010 [5] e NBR 12655:2006 [6] e ensaio de Teor de

Cloretos (Cl-) [6].

2.3 Ensaio de Percussão

Realizou-se o ensaio desde a cobertura da edificação até o térreo e por toda a superfície de revestimentos. O som cavo indicou a falta de aderência do revestimento argamassado e de expansão das armaduras provenientes da corrosão; a cor azul para deslocamentos de reboco e vermelho para deslocamentos de expansão do aço (corrosão), como mostram as figuras 3 a 6.

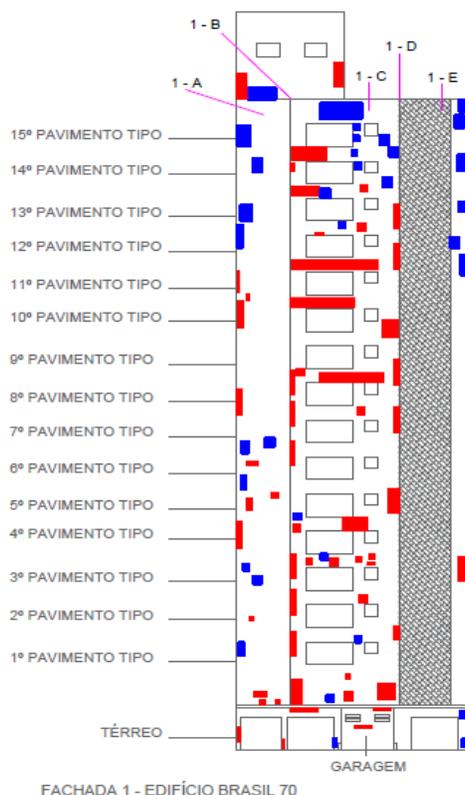


Figura 3 – Mapeamento da lateral esquerda.

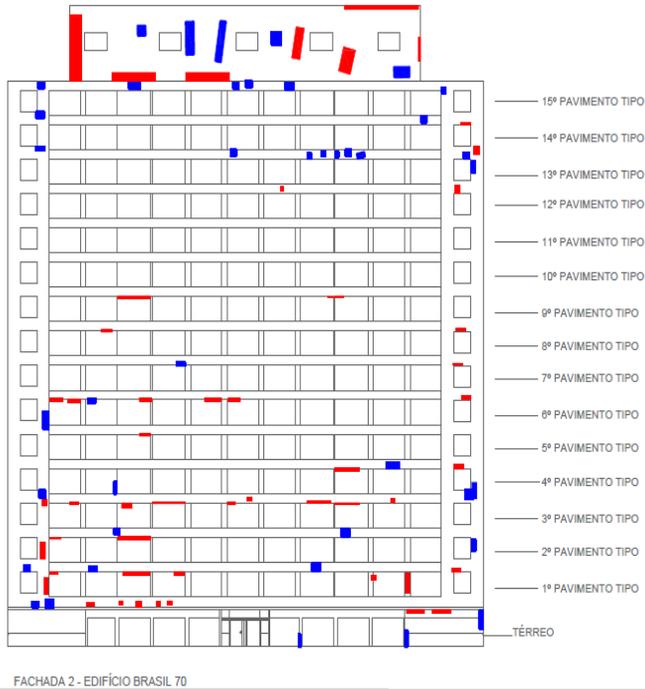


Figura 4 – Mapeamento da fachada frontal.

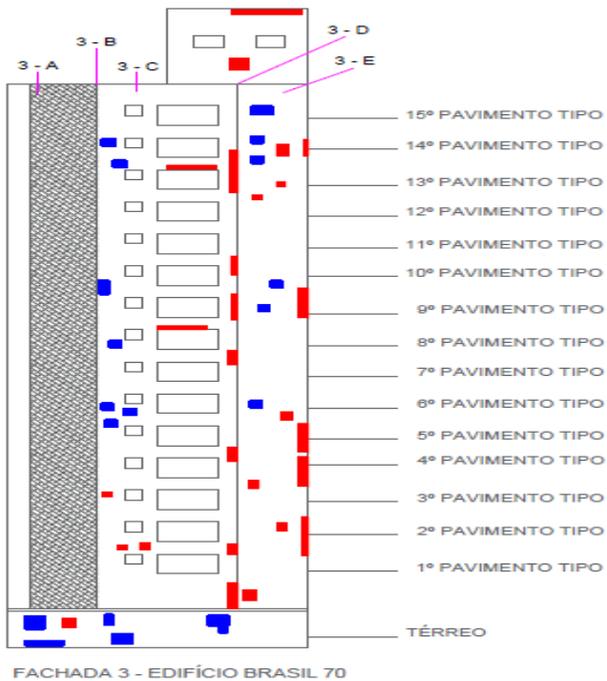


Figura 5 – Mapeamento da lateral direita.

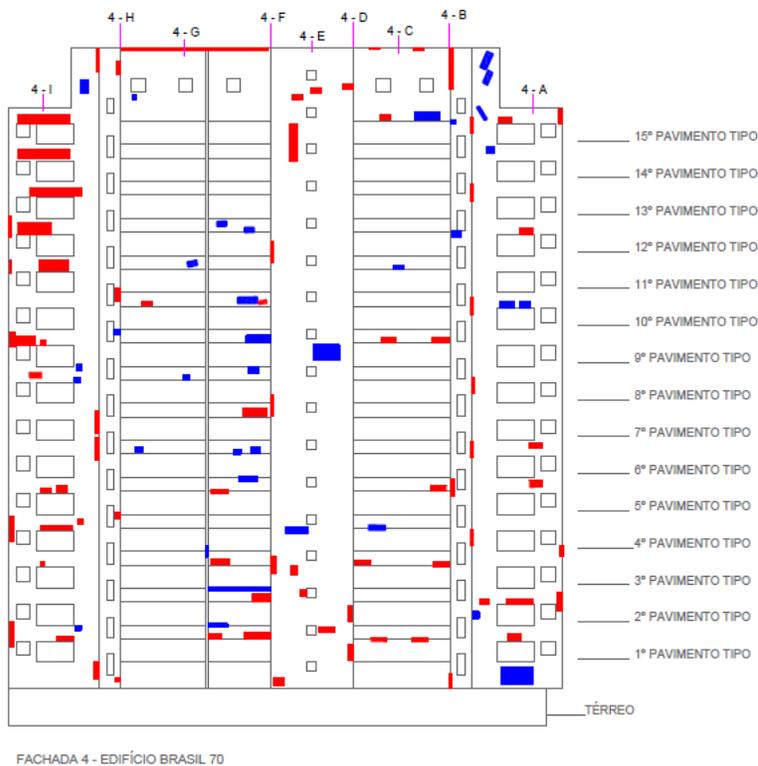


Figura 6 – Mapeamento da fachada posterior

2.4 Ensaios de Resistência de Aderência à Tração

O ensaio foi elaborado em todas as fachadas da edificação na altura do primeiro pavimento, usado como padrão de execução a NBR 13528:2010 [5], para identificar as falhas de aderência referentes ao revestimento argamassado ao substrato e revestimento cerâmico ao revestimento argamassado. Utilizou-se o equipamento Proseq dy-225 com 12 corpos-de-prova metálicos em formato circular com diâmetro de 5cm e serra copo de 50mm de diâmetro e coletados resultados de 12 corpos-de-prova por amostragem, com corte executado até ao substrato.

3 | RESULTADOS

3.1 Análise Visual

Identificou que nas fachadas não existem juntas de movimentação e dessolidarização, nos sentidos verticais e horizontais. No projeto, a localização das juntas de movimentação horizontais e verticais têm como ponto favorável a interface base da viga/alvenaria e pilar/alvenaria e em locais de mudanças direcionais de planos do revestimento. Ressalta

Paladini [7], a junta de movimentação é definida como separação entre duas partes da estrutura que possam deformar-se, permitindo as movimentações da edificação. As figuras 7 a 10 ilustram os relatos citados.



Figura 7 e 8 – Deslocamento do sistema argamassado, ausência de junta de movimentação.



Figura 9 e 10 – Ausência de juntas de movimentação e deslocamento do revestimento.

No revestimento da fachada, observou-se a presença de trincas e fissuras onde se localiza a estrutura da edificação. Esta anomalia ocorre devido à falta de preparo da base e corrosão, pela penetração de agentes agressivos após a formação da ferrugem ocasionando a expansão do aço e surgimento de fissuras, posteriormente fragmentação do concreto e redução da seção do aço, deixando a armadura exposta ao meio ambiente. As figuras 11 a 15 ilustram os relatos citados.



Figura 11 e 12 – Deslocamento, corrosão da armadura e fissuras causadas pela expansão do aço.



Figura 13 e 14 – Fissuras de expansão do aço, deslocamento e corrosão do aço.



Figura 15 – Deslocamento e perda da seção do aço.

3.2 Revestimento Argamassado

O Teste de Resistência de Adrência à Tração (item 2.4) indicou que antes da pintura havia sido realizada a aplicação de massa PVC para regularização na fachada posterior, com espessura de aproximadamente 1mm e atrapalhava a realização completa do ensaio, por isso optou-se pela remoção dessa camada regularizadora para a conclusão do ensaio.

Como isso, todas as fachadas foram reprovadas perante o valor referido na NBR 13528:2010 [5], que afirma que para fachadas externas o valor mínimo obtido teria que ser igual ou superior a 0,3MPa.

Através dos corpos-de-prova extraídos no ensaio mencionado, identificou-se que o reboco das fachadas tem espessura média de 4,3cm, superior ao preconizado na NBR 13749:1996 [8], que é entre 2 e 3cm. E não foi utilizado chapisco para melhorar a aderência do revestimento argamassado ao substrato. As figuras 16 a 20 mostram os resultados obtidos pelo ensaio e as figuras 21 a 23 ilustram a execução do procedimento e espessura do revestimento argamassado.

LOCAL DE ENSAIO												
1º PAVIMENTO, FACHADA POSTERIOR (SEM RETIRADA DA CAMADA REGULARIZADORA)												
RESULTADOS												
CP	Ø Médio (mm)	Resistência de aderência à ruptura (MPa)	FORMAS DE RUPTURA (%)									
			Substrato	Substrato/Chapisco	Chapisco	Chapisco/argamassa	Substrato/argamassa	Argamassa	Argamassa/Cola	Cola/Pastilha	OBSERVAÇÃO	
1	50	0							100			CAPA
2	50	0							100			CAPA
3	50	0						100				
4	50	0							100			CAPA
5	50	0						100				
6	50	0						100				
7	50	0							100			CAPA
8	50	0							100			CAPA
9	50	0							100			
10	50	0							100			
11	50	0							100			CAPA
12	50	0							100			CAPA

Resistência Média (MPa)	0
Desvio Padrão (DP)	0
Mediana (MPa)	0

Tabela 16 – Resultado dos ensaios de Resistência de aderência à Tração.

LOCAL DE ENSAIO												
1º PAVIMENTO, FACHADA POSTERIOR (COM RETIRADA DA CAMADA REGULARIZADORA)												
RESULTADOS												
CP	Ø Médio (mm)	Resistência de aderência à ruptura (MPa)	FORMAS DE RUPTURA (%)									
			Substrato	Substrato/Chapisco	Chapisco	Chapisco/argamassa	Substrato/argamassa	Argamassa	Argamassa/Cola	Cola/Pastilha	OBSERVAÇÃO	
1	50	0,15						100				
2	50	0,21						100				
3	50	0,12						100				
4	50	0,25						100				
5	50	0						100				
6	50	0,3						100				
7	50	0,2						100				
8	50	0,29	100					100				
9	50	0,13	100									
10	50	0,43	100									
11	50	0,15	100									
12	50	0,32	100									

Resistência Média (MPa)	0,21
Desvio Padrão (DP)	0,11
Mediana (MPa)	0,21

Tabela 17 – Resultado dos ensaios de Resistência de aderência à Tração.

LOCAL DE ENSAIO											
1º PAVIMENTO, FACHADA LATERAL DIREITA - FRENTE AO MAR (SEM RETIRADA DA CAMADA REGULARIZADORA)											
RESULTADOS											
FORMAS DE RUPTURA (%)											
CP	Ø Médio (mm)	Resistência de aderência à ruptura (MPa)	Substrato	Substrato/Chapisco	Chapisco	Chapisco/argamassa	Substrato/argamassa	Argamassa	Argamassa/Revestimento Cerâmico	Cola/Pastilha ou argamassa	OBSERVAÇÃO
1	50	0					100				
2	50	0					100				
3	50	0,26							100		CAPA
4	50	0,19					100				
5	50	0,15					100				
6	50	0					100				
7	50	0					100				
8	50	0					100				
9	50	0					100				
10	50	0					100				
11	50	0					100				
12	50	0					100				

Resistência Média (MPa)	0,05
Desvio Padrão (DP)	0,09
Mediana (MPa)	0,00

Tabela 18 – Resultado dos ensaios de Resistência de aderência à Tração.

LOCAL DE ENSAIO											
1º PAVIMENTO, FACHADA FRONTAL (SEM RETIRADA DA CAMADA REGULARIZADORA - SUBSTRATO DE CONCRETO)											
RESULTADOS											
FORMAS DE RUPTURA (%)											
CP	Ø Médio (mm)	Resistência de aderência à ruptura (MPa)	Substrato	Substrato/Chapisco	Chapisco	Chapisco/argamassa	Substrato/argamassa	Argamassa	Argamassa/Revestimento Cerâmico	Cola/Pastilha ou argamassa	OBSERVAÇÃO
1	50	0,31						100			
2	50	0							100		CAPA
3	50	0,25						100			
4	50	0						100			
5	50	0,23						100			
6	50	0,17						100			
7	50	0,19							100		CAPA
8	50	0,37						100			
9	50	0,14					100				
10	50	0						100			
11	50	0						100			
12	50	0,36						100			

Resistência Média (MPa)	0,17
Desvio Padrão (DP)	0,14
Mediana (MPa)	0,18

Tabela 19 – Resultado dos ensaios de Resistência de aderência à Tração.

LOCAL DE ENSAIO												
1º PAVIMENTO, FACHADA LATERAL ESQUERDA - FRENTE A AVENIDA MARIO RIBEIRO (COM RETIRADA DA CAMADA REGULARIZADORA E REVESTIMENTO CERÂMICO)												
RESULTADOS												
CP	Ø Médio (mm)	Resistência de aderência à ruptura (MPa)	FORMAS DE RUPTURA (%)								Cola/Pastilha ou argamassa	OBSERVAÇÃO
			Substrato	Substrato/Chapisco	Chapisco	Chapisco/argamassa	Substrato/argamassa	Argamassa	Argamassa/Revestimento Cerâmico			
1	50	0,34								100		
2	50	0,46								100		
3	50	0,3								100		
4	50	0								100		
5	50	0,36								100		
6	50	0,17								100		
7	50	0,3								100		
8	50	0,13								100		
9	50	0,23								100		
10	50	0,23								100		
11	50	0,36						100				
12	50	0,49								100		

Resistência Média (MPa)	0,28
Desvio Padrão (DP)	0,14
Mediana (MPa)	0,30

Referência Normativa
A NBR 13749/1996, coloca que o revestimento será aceito se de cada 6 (seis) corpos-de-prova, pelo menos 4 (quatro) valores forem iguais ou maiores que 0,30 MPa para revestimentos externos e internos com acabamento em cerâmica ou laminado ou 0,20 MPa para revestimentos internos com acabamento em pintura.

Tabela 20 – Resultado dos ensaios de Resistência de aderência à Tração.



Figura 21 e 22 – Colagens das pastilhas para ensaio e espessura do reboco.

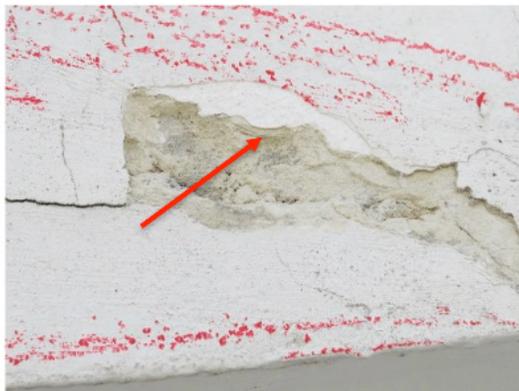


Figura 23 – amostra da massa de regularização no reboco.

3.3 Ensaio Laboratorial de Teor de Cloretos (Cl-)

O síndico da edificação informou que, devido à proximidade com a praia, havia suspeita de que a empresa construtora fez o uso de areia contaminada com sal no traço do reboco para o revestimento de fachada. Diante disso e dos resultados do teste de resistência de aderência à tração ter sido inferior ao recomendado, foram retirados testemunhos da argamassa usada no revestimento e levado ao laboratório para o ensaio.

Para execução, retiraram-se duas amostras, sendo uma da fachada lateral esquerda (frente ao mar) e uma da fachada posterior (fachada com os piores resultados de resistência de aderência à tração). As amostras constituíram-se em fragmentos do primeiro, segundo e terceiro centímetro de profundidade do revestimento argamassado, para então saber se a contaminação foi devido à maresia ou se usou o traço de reboco com areia contaminada de cloretos.

Na NBR 6118:2014 [9] não foi encontrada especificação do teor máximo de cloretos, então foi considerado os valores presentes na NBR 12655:2006 [6], que permite o teor máximo de cloreto no concreto de 0,15% sobre a massa de cimento.

Após a análise laboratorial, os resultados obtidos foram calculados através do consumo de cimento. Como não há informações do traço utilizado pela construtora, considerou o consumo médio de cimento por m³ de 330kg, devido à falta de tecnologia e informações limitadas da época de construção. A figura 24 mostra os resultados dos teores de cloreto em partes por milhão (ppm)

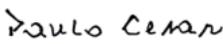
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA:		SOLO
DETERMINAÇÕES ESPECIAIS (ppm)		CLORETO
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA:		
POSTERIOR 1cm		7,48
POSTERIOR 2cm		17,30
POSTERIOR 3cm		8,91
LATERAL 1cm		13,10
LATERAL 2cm		28,00
LATERAL 3cm		20,00
ABERTURA: METODO MAPA, CAPITULO I, METODO 21. PESO: 1 g para 50 mL. ANALISE: CROMATOGRAFO DE IONS, METODO SMEWW, 22ª EDIÇÃO, APHA 2012, 4110 B.		
 PAULO CESAR V. FURTADO CRQ 12ª REGIÃO 12100079		

Figura 24 – Resultados obtidos da fachada posterior e lateral direita, em partes por milhão.

Para a fachada posterior com profundidade de 1cm, o valor foi de 0,0059%, para a profundidade de 2cm, o valor foi de 0,014% e para a profundidade de 3cm, o valor foi de 0,0068%. Para a fachada lateral direita (frente ao mar), o valor com profundidade de 1 cm foi de 0,10%, para a profundidade de 2cm, o valor foi de 0,022% e para a profundidade de 3cm, o valor foi de 0,015%. Assim, as fachadas estão dentro do limite de cloreto por m³ de concreto.

4 | ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Metodologia de Reparo da Edificação

De acordo com os resultados obtidos pelos ensaios anteriores, identificou-se que edificação necessita da troca total do revestimento argamassado e cerâmico juntamente com o tratamento para os pontos de corrosão das armaduras.

O primeiro passo para a tomada de ações, será a remoção dos resíduos do revestimento argamassado antigo com o auxílio de escova de aço acoplada em furadeira e posteriormente a limpeza com hidrojateamento de alta pressão, deixando a alvenaria e peças estruturais aparentes.

A recuperação das peças estruturais corroídas inicia-se pelo apicoamento do concreto nos locais delimitados pelo Teste de Percussão. Considerando Souza e Ripper [10], o corte pode ser definido como sendo a remoção profunda de concreto degradado. O objetivo é a remoção integral de todo o concreto danificado, deixando à vista os locais afetados pela corrosão do aço. A profundidade do corte deverá ir além da armadura por aproximadamente 2cm ou o diâmetro das barras, facilitando o manuseio no processo de recuperação. As barras de aço devem ser limpas até que atinja a parte de aço não

corroída, para que toda a parte afetada por corrosão seja recuperada. Portanto, em caso de degradação intensa, a peça afetada poderá ser escorada, respeitando os critérios de segurança.

Após a limpeza instaura-se o processo de recuperação estrutural verificando o estado final das armaduras. As barras de aço que perderam até 10% de sua massa, não precisam de reparos; as que perderam de 10 a 20%, faz-se complementação, ou seja, considera-se que a armadura existente ainda é atuante; e, para as que perderam massa superior a 20%, ignora-se a existente e faz a ancoragem de nova barra com a seção original de projeto. Onde são necessárias as reposições das barras de estribos corroídas, de acordo com a NBR 6118 [9], a ancoragem dos estribos deve necessariamente ser garantida por meio de ganchos ou barras longitudinais soldadas. A ancoragem de novas barras segue os parâmetros da norma citada.

Nos pontos de complementação do aço (traspasse), de acordo com a NBR 6118 [9] e Chrust [11], existem limitações à utilização das emendas por traspasse: não são permitidas para barras de bitola superior a 32mm. Do mesmo modo, caso seja necessária a realização de emendas, há limitação no número de emendas de uma mesma seção. A norma NBR 6118 [9] diz que as emendas devem estar afastadas pelo menos 20% do comprimento do maior trecho de traspasse, e se houver barras com o diâmetro diferente, o cálculo de traspasse deve ser realizado através da barra de maior diâmetro.

Após os reforços estruturais, para retardar o aparecimento de corrosão nos locais reparados, aplica-se inibidores de corrosão. Por se tratar de um local marinho, é indicado o uso de inibidores de corrosão catódicas à base de cimento, resina ou nitrito de sódio. É recomendado que o produto seja aplicado nas barras existentes e nas novas instaladas.

O processo de tamponamento dos locais de recuperação inicia-se com o uso de ponte de aderência, utilizando produtos à base de epóxi, para melhorar a ancoragem do concreto “novo” com o “velho”. Após a superfície do concreto e as barras de aço serem recuperadas, os pontos de aberturas são selados com o uso de Graute fluido Tixotrópico. Onde a profundidade da cavidade para tratamento do concreto/aço for superior a 6cm, recomenda-se adicionar até 30% de brita 0 lavada na mistura.

O novo revestimento argamassado é iniciado pela preparação da base com disco de desbaste e após, a aplicação de chapisco convencional lançado nas áreas das alvenarias e nas peças estruturais recomenda-se o uso de chapisco desempenado colante. Com pinos, parafusos ou grampos, são fixadas telas de aço galvanizado com função de transmitir os esforços recebidos pelo revestimento argamassado. Tais telas, devem ser utilizadas em interfaces alvenaria/estrutura, balanços e platibandas, onde também irá reforçar a aderência com o novo revestimento recebido, pois mesmo com a limpeza completa, sobram resquícios do antigo revestimento argamassado, prejudicando a aderência. As telas devem respeitar o traspasse de no mínimo 25cm para ambos os lados, garantindo o padrão de execução.

Nos cantos inferiores das janelas deve instalar telas do tipo peneira de malha quadrada para evitar trincas diagonais, devido aos esforços solicitantes das quinas das janelas. Caso o reboco ultrapasse a espessura de 4 cm, indica-se a aplicação dessa tela no ponto médio do reboco, afim de tornar o reboco armado.

Devido à sua Classe de Agressividade Ambiental de grau III, o traço de argamassa para o revestimento da edificação deve conter materiais resistentes à região marinha e menor porosidade, dificultando novos ataques de cloretos (Cl⁻). Recomenda-se o uso de cimento de baixo calor de hidratação, baixo teor de (aluminato trícálcio) e alto teor de (Ferro Aluminato Tetracálcico). Cimento com essas características, como o cimento CP-IV e CP-IV-RS (Resistente aos sulfatos) possuem liberação de calor menor, cerca 15 a 30% em relação aos cimentos comuns (CP-I e II) e do tipo III. Como o revestimento cerâmico/pintura é executado a partir do 14º dia de execução, normalmente não respeitando os 28 dias de cura, opta-se pelo uso do cimento CP-II-Z ou CP-II-F, facilitando a execução do serviço, dando agilidade à execução afim de que no 14º dia tenha resistência suficiente (revestimento argamassado possuem resistência máxima entorno de 4 a 5 MPa em 28 dias). Destaca-se que todo material cimentício necessita de cura por 28 dias, para atingir a resistência mínima de 0,3 MPa e com espessuras de reboco variando de 20 a 30mm, como preconizam a NBR 13755:2017 [12] e NBR 13749:2013 [8].

Com o processo de cura do reboco ainda em andamento e para facilitar a execução do serviço, faz-se os cortes no reboco para a confecção das juntas de movimentação, horizontais e verticais. Tais juntas em revestimentos aderidos de fachadas têm como objetivo, de acordo com Ribeiro e Barros [13], minimizar a propagação de esforços neles atuantes que provêm, usualmente, dos elementos com os quais se conectam (estrutura, vedação, revestimento). Em seu dimensionamento, considera-se o movimento térmico.

As juntas de movimentação horizontais seguem o critério de espaçamento máximo entre elas de 3m ou a altura do pé direito, sendo seu corte na região do encunhamento (local que separa a alvenaria da peça estrutural), obedecendo a proporção de 1:2. As juntas de movimentação verticais, devem ser espaçadas em no máximo 6m entre elas, sendo situada no local de interface da alvenaria com a peça estrutural. Após a confecção dos cortes e instalação do tarugo, todas as juntas devem ser complementadas com selante de poliuretano para a total vedação.

De acordo com Ribeiro e Barros [13], as juntas de dessolidarização permitem dissipar tensões pela subdivisão de áreas extensas de revestimentos, subdividindo-as em encontros de painéis de revestimentos perpendiculares, posicionadas nas mudanças de direção do revestimento, em quinas internas ou externas.

Nos revestimentos cerâmicos, recomenda-se o uso de argamassa colante tipo AC-III, devido sua resistência a altas tensões de cisalhamento. Deve realizar a dupla colagem, aplicando a argamassa na peça cerâmica e no revestimento argamassado, no sentido perpendicular. Após a aplicação, o executor do serviço deve pressionar as placas

de revestimento cerâmico, afim de “quebrar” os cordões de argamassa, para uma melhor aderência. O pano de abertura de argamassa não pode ultrapassar 20 minutos, como preconiza a NBR 14083:2004 [14].

Nos locais em que receberá pintura, de acordo com Almeida [15], as tintas são aplicadas, em geral, como agentes de proteção dos materiais ou com fins decorativos e podem ser definidas como uma “composição pigmentada líquida, pastosa ou sólida”. Neste caso, a tinta ganha papel fundamental no bloqueio contra agentes agressivos e à água, sendo indicado o uso de tintas vinílicas que possuem resistência à ácidos, água, álcalis e abrasão. Como alternativa pode usar tintas acrílicas que tem boa resistência a intempéries, durabilidade e adesão ao substrato em condições úmidas.

5 | CONCLUSÃO

Em relação ao Ataque de cloretos (Cl⁻), o resultado obtido por laboratório não atingiu os valores mínimos preconizados por normas. Porém, estes resultados podem sofrer interferências devido ao local de extração, proximidade ao mar e fachada escolhida. Ainda, é notório que a edificação sofre ataques de cloretos (Cl⁻) e que há grandes chances do traço usado na argamassa de revestimento esteja contaminado com estes sais, mostrando resultados com variações de acordo com a profundidade de extração da amostra para análise.

As falhas de projeto com ausência de juntas de movimentação e dessolidarização nas fachadas, provocando tensões no revestimento cerâmico e argamassado, tendo como consequência o deslocamento.

O cobrimento das estruturas de concreto, sendo inferior aos 40mm para o grau de Agressividade III, como preconiza a ABNT NBR 6118 [6], onde torna o concreto vulnerável aos ataques de cloreto (Cl⁻), possibilitando o contato rápido destes agentes às armaduras da estrutura, gerando a corrosão.

Espessura do revestimento argamassado superior aos 30mm como especificado por norma, gerando cargas extras nas fachadas e facilitando o aparecimento de manifestações patológicas.

Assim, as anomalias prescritas geram desconforto e riscos aos moradores e à edificação, podendo gerar o colapso, caso a corrosão continue atuante se nenhuma medida for realizada.

Desta forma, o presente objeto de estudo, demonstra a necessidade da recuperação total das peças estruturais que apresentam problemas relacionados à corrosão, recuperação, revitalização das fachadas e, para maior vida útil da edificação e de todos os seus sistemas, necessitando que as manutenções periódicas estejam sempre em dia.

REFERÊNCIAS

- [1] POSSAN, E; DEMOLINER, C.A., **Desempenho, Durabilidade e vida útil das edificações: Abordagem geral** - Revista Técnico-Científica do CREA-PR – CREA, Paraná, Brasil, 2013.
- [2] SILVA, F. G. S.; BAUER, E. **Avaliação da fissuração em argamassas**. VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas - Curitiba, Brasil.
- [3] ARAUJO, A.; PANOSSIAN, Z.; **Durabilidade de estruturas de concreto em ambiente marinho: estudo de caso** - INTERCORR ABRACO 2010 – INTERCORR 2010, Fortaleza, Brasil, 2010.
- [4] LIMA, M. G.; LENCIONI, J. W., **A problemática da corrosão e da durabilidade das construções em ambientes agressivos – o caso do ambiente marinho urbano e das estruturas de concreto** – Simpósio Internacional de Ciências Integradas da UNAERP Campus Guarujá – São Paulo, Brasil, 2015.
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13528 – **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração**, Rio de Janeiro 2010.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT- NBR 12655/2006. **Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle e recebimento**, Rio de Janeiro, 2006.
- [7] PALADINI, N. B., **Juntas de dilatação em revestimentos de fachada – Estudo de caso: Prédio da Escola de Minas/UFOP** – Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto, Brasil, 2015.
- [8] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13749/2013. **Revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânicas - Especificação**, Rio de Janeiro, 2013.
- [9] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118/2014. **Projetos de Estruturas de Concreto – Procedimentos**, Rio de Janeiro, 2014.
- [10] RIPPER, T.; DE SOUZA, V. C. M., **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. PINI - São Paulo, Brasil.
- [11] CHRUST, R. C; FILHO, J. R. F., **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. Segundo a NBR 6118:2014, vol I – EDUSCar, Brasil.
- [12] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR13755/2017. **Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante**, Rio de Janeiro, 2017.
- [13] RIBEIRO, F. A.; BARROS, M. M. S. B., **Juntas de Movimentação em Revestimentos Cerâmicos de Fachada** – Câmara Brasileira do Livro, PINI, São Paulo, Brasil 2010.
- [14] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14083/2004. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Determinação do tempo em aberto**, Rio de Janeiro, 2004.
- [15] DE ALMEIDA, M. L, **Critérios para Realização de Pintura de Alvenaria em Ambientes não Agressivos**. Curso de Especialização em Construção Civil – UFMG, Minas Gerais, Brasil.

CAPÍTULO 16

SOFTWARE ON-LINE PARA ESTIMATIVA DE CUSTOS E INSUMOS DE EDIFICAÇÕES: ALVENARIA, REVESTIMENTO E ACABAMENTO

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 12/01/2021

Ana Beatriz Laluce Vaz

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Votuporanga - São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/8094385476962881>

Gustavo Cabrelli Nirschl

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Votuporanga – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/1264758453590854>

RESUMO: Na área da engenharia civil existem vários níveis de orçamento e o engenheiro nem sempre dispõe de tempo e recursos suficientes para avaliações mais detalhadas. Pensando nisso, foi desenvolvido um programa de computador com o intuito de criar uma estimativa do quantitativo dos materiais e mão de obra e de seu custo, de forma rápida e detalhada. O programa aqui apresentado é um novo módulo do referido programa, chamado IFESTIMA e já disponível *on-line*, porém incompleto, para a estimativa da alvenaria, revestimento e acabamento.

PALAVRAS-CHAVE: Construção civil. Estimativa. Custo. Software.

ON-LINE SOFTWARE FOR ESTIMATE OF COSTS AND BUILDING SUPPLIES: MASONRY, COATING AND FINISHING

ABSTRACT: In the field of civil engineering there are several levels of budget and the engineer does not always have enough time and resources for more detailed assessments. With that in mind, a computer program was developed in order to create a quick and detailed estimate of the quantity of materials and labor and their cost. The program presented here is a new module of that program, called IFESTIMA and already available online, but incomplete, for the estimate of masonry, coating and finishing.

KEYWORDS: Civil construction. Cost. Estimate. Software.

1 | INTRODUÇÃO

Sabe-se que, para estimar os custos e quantidades de insumos para uma obra de Engenharia Civil pode ser feito um orçamento analítico na fase inicial do projeto utilizando, por exemplo, a estimativa de custo via CUB (Custo Unitário Básico). Entretanto, esse custo total da obra não fornece os detalhes que seriam necessários para intervenções, como economia em áreas que apresentarem custos mais elevados, alterando materiais ou procedimentos, além de não permitir que o cliente acompanhe todas as etapas e insumos.

Visando a contribuir nessa problemática, foi criado um programa que estima os custos e insumos de maneira detalhada, onde o usuário

deve entrar somente com informações referentes à quantidade de metro quadrado da construção e ao valor do metro quadrado em reais estimado (presente, por exemplo, no CUB de seu estado).

O programa, chamado IFESTIMA e já disponível *on-line*, já contém uma estimativa de distribuição de valores entre as etapas de uma obra residencial e contém o detalhamento estimado de custos e insumos para a estrutura e necessita de atualizações para outras etapas (módulos).

Neste artigo é apresentado os módulos que estimam os custos e insumos para a alvenaria, para o revestimento e para o acabamento.

2 | DESENVOLVIMENTO

Para realizar as estimativas de insumos das etapas de alvenaria, revestimento e acabamento, são necessários índices de quantidades e de custos relativos, mostrados no item “Resultados”, como estimativa de metro linear de parede por metro quadrado de área construída, estimativa da relação entre os preços dos insumos numa dada composição unitária, porcentagem de cada etapa do revestimento sobre o todo, entre outros. Tais índices foram obtidos, na falta de bibliografia, por meio da análise de vários projetos reais, fornecidos por profissionais e empresas da área, pelos quais calculou-se a área total de alvenaria entre outras necessárias. Dado o relativo grau de incerteza dos mesmos, o programa coloca estes índices como valores iniciais, podendo o usuário alterá-los livremente, de acordo com as particularidades de sua obra. As composições unitárias foram retiradas da TCPO (2012).

Para a criação do *software* citado na introdução, utilizou-se a linguagem de programação *HTML/Javascript*, que permite que o programa seja disponibilizado *on-line*.

3 | RESULTADOS

Na figura 1, encontra-se a tela inicial do programa onde estão os dados de entrada da obra (área total de construção e o custo por metro quadrado de construção) e a porcentagem de cada etapa, que são livremente alteráveis pelo usuário, adotadas como valores iniciais do programa. Consideram-se os valores mostrados como o exemplo a ser detalhado na continuação do artigo.

DADOS DA EDIFICAÇÃO:

Área total (m²):

Custo do m² de construção (R\$/m²):

Sugere-se consultar, por exemplo, [CUB \(exceto SP\)](#) ou [CUB SP](#)

Se for utilizado o CUB, acrescentar uma porcentagem para projetos e para fundações. Sugere-se cerca de 15%.

Custo total estimado da obra (R\$) = 160000.00

Número de pavimentos: Apenas utilizado na estimativa do volume de pilares.

ETAPA	% DO CUSTO	CUSTO (R\$)
1-Projetos e aprovações	<input type="text" value="9"/>	14400.00
2-Serviços preliminares	<input type="text" value="3"/>	4800.00
3-Fundações	<input type="text" value="7"/>	11200.00
4-Estrutura	<input type="text" value="16"/>	25600.00
5-Alvenaria	<input type="text" value="5"/>	8000.00
6-Cobertura	<input type="text" value="6"/>	9600.00
7-Instalações hidráulicas	<input type="text" value="9"/>	14400.00
8-Instalações elétricas	<input type="text" value="6"/>	9600.00
9-Impermeabilização/Isolamento Térmico	<input type="text" value="3"/>	4800.00
10-Esquadrias	<input type="text" value="7"/>	11200.00
11-Revestimento/Acabamento	<input type="text" value="20"/>	32000.00
12-Vidros	<input type="text" value="2"/>	3200.00
13-Pintura	<input type="text" value="5"/>	8000.00
14-Serviços Complementares	<input type="text" value="2"/>	3200.00
TOTAL	100.00	160000.00

FIGURA 1. Exemplo de estimativa de custos da obra e distribuição entre as etapas de edificação.

Fonte: o próprio autor.

No programa citado, existem botões que levam à visualização dos detalhes dos custos estimados para cada etapa da obra, como mostrado na figura 2.

DETALHAMENTO DOS CUSTOS ESTIMADOS DE CADA ETAPA:

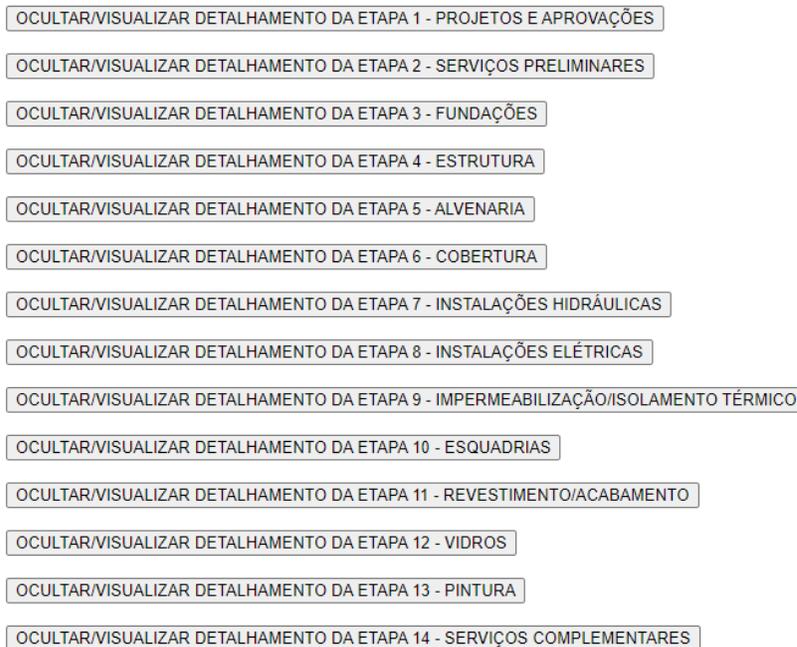


FIGURA 2. Tela do *software* que leva ao detalhamento de custos.

Fonte: o próprio autor.

Antes da publicação deste artigo, somente a etapa 4 estava detalhada e disponível *on-line*, considerando a numeração da figura 1. Neste artigo, apresentam-se os detalhamentos estimados das etapas 5 e 11.

Apresentam-se, na tabela 1, os primeiros índices estimados que aparecem no programa.

	Índice
m ² de alvenaria/m ² de área construída	1,5
m linear de gesso/m ² de área construída	0,5
m ² de parede com revestimento cerâmico/m ² total de parede	0,26
Custo do m ² de revestimento parede sem cerâmica/custo do m ² revestimento parede cerâmico	0,88
Custo do m ² revestimento parede com cerâmica/custo do m ² revestimento piso cerâmico	1,05
Custo do m ² revestimento teto/custo do m linear de gesso	10,08

TABELA 1. Índices estimados e colocados como dados iniciais no programa (livremente alteráveis).

Fonte: o próprio autor.

A figura 3 apresenta a tela do *software* com a composição unitária da alvenaria e o consumo total para o exemplo da figura 1, considerando o primeiro índice da tabela 1. Além disso, apresenta os índices de custos estimados e colocados como dados iniciais no programa (livremente alteráveis), tornando possível a distribuição R\$8.000,00 da etapa 5 (conforme figura 1).

OCULTAR/VISUALIZAR DETALHAMENTO DA ETAPA 5 - ALVENARIA

Considerando alvenaria de vedação com bloco cerâmico furado de 9x19x19 cm (furos horizontais).

Índices médios de bibliografias: (altere livremente)

m² de alvenaria / m² de construção:

m de alvenaria = 50,00

m² de alvenaria = 150,00

Composição unitária considerada para a alvenaria (TCPO) (altere livremente os índices):

Alvenaria de vedação com cerâmico furado 9x19x19 cm (furos horizontais), espessura da parede 9 cm, juntas de 10 mm com argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia traço 1:2:8 - unidade: m²

m² de alvenaria = 150,00

custo total de alvenaria (R\$) = 8000,00

custo unitário de alvenaria (R\$/m²) = 53,33

COMPONENTE	UNIDADE	CONSUMO UNIT.	ÍNDICE CUSTO UNIT.	CUSTO UNIT. (R\$)	CONSUMO TOTAL	CUSTO TOTAL (R\$)
Servente	h	0,38	0,057	3,04	57,00	456,00
Pedreiro	h	0,64	0,287	15,31	96,00	2296,00
*Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	m ³	0,0013	<input type="text" value="0,010"/>	0,53	0,19	80,00
**Cal hidratada	m ³	0,0025	0,051	2,72	0,38	408,00
Areia tipo média	m ³	0,01	0,085	4,53	1,50	680,00
Bloco cerâmico	unidade	27,203	0,510	27,20	4080,45	4080,00
SOMA	-	-	1,00	53,33	-	8000,00

* 0,19 m³ de cimento = 234,00 kg de cimento

FIGURA 3. Tela do *software* com a composição unitária da alvenaria.

Fonte: o próprio autor.

A partir dos três últimos índices da tabela 1, foram obtidos os índices de custo da tabela 2, tornando possível a distribuição dos R\$32.000,00 da etapa 11 (figura 1) entre os componentes do revestimento e acabamento.

Componentes do revestimento e acabamento	Índice de custo	Custos (R\$)
Chapisco parede	0,110	3.535,07
Emboço parede	0,270	8.654,83
Chapisco teto	0,096	3.088,11
Emboço teto	0,157	5.038,49
Revestimento cerâmico parede	0,110	3.573,47
Regularização da base para piso	0,031	1.001,91
Piso cerâmico	0,209	6.705,12
Gesso	0,010	403,01
Total	1,000	32.000,00

TABELA 2. Quantidade e custo das etapas do revestimento e acabamento sobre o valor total.

Fonte: o próprio autor.

Com os valores finais de cada componente do revestimento e acabamento, é possível realizar a distribuição entre seus insumos.

A tabela 3 apresenta a composição unitária do revestimento de parede sem cerâmica, e o consumo total para o exemplo da figura 1, considerando o primeiro índice da tabela 1. Além disso, apresenta os índices de custos estimados e colocados como dados iniciais no programa (livremente alteráveis), tornando possível a distribuição dos custos de revestimento da parede (tabela 3).

Chapisco					
Componente	Unidade	Consumo unitário	Consumo total	Índice de custo	Custos (R\$)
Pedreiro	h	0,2	60	0,322	1.136,59
Servente	h	0,25	75	0,176	623,74
Areia sem peneirar	m ³	0,01	3	0,392	1.384,20
Cimento	kg	2,45	735	0,110	390,54
Total:	-	-	-	1,000	3.535,07
Emboço					
Pedreiro	h	0,57	171	0,375	3.246,10
Servente	h	0,34	102	0,098	850,07
Areia sem peneirar	m ³	0,0225	6,75	0,361	3.121,01
Cimento	m ³	0,0075	2,25	0,166	1.437,64
Total:	-	-	-	1,000	8.654,83

TABELA 3. Quantidade e custo dos insumos para o revestimento de parede sem cerâmica.

Fonte: TCPO (2012) e o próprio autor.

A tabela 4 apresenta a composição unitária do acabamento com gesso no encontro das paredes com o teto, e o consumo total para o exemplo da figura 1, considerando o segundo índice da tabela 1. Além disso, apresenta os índices de custos estimados e colocados como dados iniciais no programa (livremente alteráveis), tornando possível a distribuição dos custos de gesso (tabela 2).

Componente	Unidade	Consumo unitário	Consumo total	Índice de custo	Custos (R\$)
Gesseiro	h	0,5	25	0,436	175,59
Servente	h	0,13	6,5	0,108	43,56
Gesso	kg	5,9	295	0,456	183,86
Total:	-	-	-	1,000	403,01

TABELA 4. Quantidade e custo dos insumos para acabamento com gesso no encontro das paredes com o teto.

Fonte: TCPO (2012) e o próprio autor.

A tabela 5 apresenta a composição unitária do revestimento para teto, e o consumo total para o exemplo da figura 1, considerando a área total de teto como sendo a área total de construção. Além disso, apresenta os índices de custos estimados e colocados como dados iniciais no programa (livremente alteráveis), tornando possível a distribuição dos custos de revestimento do teto (tabela 2).

Chapisco					
Componente	Unidade	Consumo unitário	Consumo total	Índice de custo	Custos (R\$)
Pedreiro	h	0,25	25	0,244	752,61
Servente	h	0,25	25	0,107	330,42
Areia sem peneirar	m ³	0,00375	0,375	0,089	274,97
Cimento	m ³	0,00125	0,125	0,041	126,66
Adesivo à base de resina sintética	l	0,3	30	0,519	1.603,44
Total:	-	-	-	1,000	3.088,11
Emboço					
Pedreiro	h	0,7	70	0,428	2.155,78
Servente	h	0,7	70	0,188	946,44
Areia sem peneirar	m ³	0,015	1,5	0,223	1.125,18
Cimento	m ³	0,0017	0,17	0,035	176,22
Cal hidratada	m ³	0,0034	0,34	0,126	634,87
Total:	-	-	-	1,000	5.038,49

TABELA 5. Quantidade e custo dos insumos para o revestimento de teto.

Fonte: TCPO (2012) e o próprio autor.

A tabela 6 apresenta a composição unitária do revestimento de parede com cerâmica, e o consumo total para o exemplo da figura 1, considerando o terceiro índice da tabela 1. Além disso, apresenta os índices de custos estimados e colocados como dados iniciais no programa (livremente alteráveis), tornando possível a distribuição dos custos de revestimento cerâmico de parede (tabela 2).

Componente	Unidade	Consumo unitário	Consumo total	Índice de custo	Custos (R\$)
Azulejista	h	0,35	13,65	0,167	595,41
Servente	h	0,12	4,68	0,025	89,62
Areia peneirada	m ³	0,0144	0,5616	0,167	596,67
Cimento	m ³	0,0018	0,0702	0,029	103,07
Cal hidratada	m ³	0,0036	0,1404	0,104	371,32
Cimento branco não estrutural	kg	0,25	9,75	0,026	92,14
Azulejo cerâmico	m ²	1,1	42,9	0,483	1.725,23
Total:	-	-	-	1,000	3.573,47

TABELA 6. Quantidade e custo dos insumos para revestimento de parede cerâmico.

Fonte: TCPO (2012) e o próprio autor.

A tabela 7 apresenta a composição unitária do piso cerâmico, e o consumo total para o exemplo da figura 1, considerando a área total de piso como sendo a área total construída. Além disso, apresenta os índices de custos estimados e colocados como dados iniciais no programa (livremente alteráveis), tornando possível a distribuição dos custos de regularização da base para piso e piso cerâmico (tabela 2).

Regularização da base para piso					
Componente	Unidade	Consumo unitário	Consumo total	Índice de custo	Custos (R\$)
Pedreiro	h	0,35	38,5	0,430	430,79
Servente	h	0,12	13,2	0,065	64,84
Areia peneirada	m ³	0,0144	1,584	0,431	431,71
Cimento	m ³	0,0018	0,198	0,074	74,57
Total:	-	-	-	1,000	1.001,91
Piso cerâmico					
Ladrilhista	h	0,44	48,4	0,081	543,13
Servente	h	0,22	24,2	0,018	119,22

Argamassa	kg	9	990	0,133	890,11
Porcelanato	m ²	1,19	130,9	0,768	5.152,66
Total:	-	-	-	1,000	6.705,12

TABELA 7. Quantidade e custo dos insumos para o piso cerâmico.

Fonte: TCPO (2012) e o próprio autor.

Nas figuras de 4 a 7, estão as telas do *software* que mostram as tabelas anteriores.

Composições unitárias consideradas para revestimento cerâmico para parede (TCPO) (altere livremente os índices):

Azulejo assentado com argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia peneirada traço 1:2:8 - unidade: m²

custo total de revestimento cerâmico para parede(R\$) = 3840.00

m² de parede com revestimento cerâmico / m² total de parede:

paredes a ter revestimento cerâmico (m²) = 37.50

custo unitário revestimento cerâmico para parede (R\$/m²) = 102.40

COMPONENTE	UNIDADE	CONSUMO UNIT.	ÍNDICE CUSTO UNIT.	CUSTO UNIT. (RS)	CONSUMO TOTAL	CUSTO TOTAL (RS)
Azulejista	h	0.35	0.166	17.00	13.13	637.44
Servente	h	0.12	0.025	2.56	4.50	96.00
Areia tipo média	m ³	0.0144	0.167	17.10	0.54	641.28
*Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	m ³	0,0018	0.029	2.97	0.07	111.36
**Cal hidratada	m ³	0.0036	0.104	10.65	0.14	399.36
Cimento branco (não estrutural)	kg	0.25	0.026	2.66	9.38	99.84
Azulejo cerâmico	m ²	1.1	0.483	49.46	41.25	1854.72
SOMA	-	-	1.00	102.40	-	3840.00

* 0.07 m³ de cimento = 81.00 kg de cimento

** 0.14 m³ de cal = 243.00 kg de cal

FIGURA 4. Tela do *software* com a composição unitária do revestimento com cerâmica para parede.

Fonte: o próprio autor.

Consideram-se revestimento de parede com e sem cerâmica, de teto, piso e acabamento de gesso.

custo total de revestimento e acabamento(R\$) = 32000.00

Índices médios de bibliografias: (altere livremente)

R\$/m ² de revestimento sem cerâmica para parede / R\$/m ² de revestimento total:	0,38	12160.00
R\$/m ² de revestimento para teto / R\$/m ² de revestimento total:	0,25	8000.00
R\$/m ² de revestimento com cerâmica para parede / R\$/m ² de revestimento total:	0,12	3840.00
R\$/m ² de revestimento com cerâmica para piso / R\$/m ² de revestimento total:	0,24	7680.00
R\$/m ² de acabamento com gesso no encontro das paredes com o teto / R\$/m ² de revestimento total:	0,01	320.00
SOMA	1.00	32000.00

Revestimento para parede sem cerâmica: (altere livremente os índices):

custo total de revestimento sem cerâmica para parede(R\$) = 12160.00

área total construída (m²) = 100.00

m² de alvenaria / m² de construção = 1.50

m² total de alvenaria = 150.00

faces de alvenaria a revestir com chapisco e emboço = 2

m² de alvenaria a revestir com chapisco e emboço: 300.00

R\$/m ² de chapisco / R\$/m ² de revestimento sem cerâmica para parede:	0,29	3526.40
R\$/m ² de emboço / R\$/m ² de revestimento sem cerâmica para parede:	0,71	8633.60
SOMA	1.00	12160.00

Composições unitárias consideradas do chapisco (TCPO) (altere livremente os índices):

Chapisco rolado com mistura de cimento e areia traço 1:3- unidade: m²

custo total do chapisco(R\$) = 3526.40

m² de parede a ser revestida pelo chapisco = 300.00

custo unitário do chapisco (R\$/m²) = 11.75

COMPONENTE	UNIDADE	CONSUMO UNIT.	ÍNDICE CUSTO UNIT.	CUSTO UNIT. (R\$)	CONSUMO TOTAL	CUSTO TOTAL (R\$)
Servente	h	0.25	0.176	2.07	75.00	620.65
Pedreiro	h	0.20	0.322	3.79	60.00	1135.50
Areia tipo média	m ³	0.01	0.391	4.60	3.00	1378.82
*Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	2,45	0,111	1.30	735.00	391.43
SOMA	-	-	1.00	11.75	-	3526.40

* 735.00 kg de cimento = 0.61 m³ de cimento

Composições unitárias consideradas do emboço (TCPO) (altere livremente os índices):

Emboço para parede com argamassa de cimento e areia sem peneirar traço 1:3, e=30mm - unidade: m²

custo total do emboço(R\$) = 8633.60

m² de parede a ser revestida pelo emboço = 300.00

custo unitário do emboço (R\$/m²) = 28.78

COMPONENTE	UNIDADE	CONSUMO UNIT.	ÍNDICE CUSTO UNIT.	CUSTO UNIT. (R\$)	CONSUMO TOTAL	CUSTO TOTAL (R\$)
Servente	h	0.34	0.098	2.82	102.00	846.09
Pedreiro	h	0.57	0.375	10.79	171.00	3237.60
Areia tipo média	m ³	0.0225	0.361	10.39	6.75	3116.73
*Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	m ³	0,0075	0.166	4.78	2.25	1433.18
SOMA	-	-	1.00	28.78	-	8633.60

* 2.25 m³ de cimento = 2700.00 kg de cimento

FIGURA 5. Tela do *software* com a composição unitária do revestimento sem cerâmica para parede.

Fonte: o próprio autor.

Revestimento para o teto (altere livremente os índices):

custo total de revestimento para teto(R\$) = 8000.00

R\$/m ² de chapisco / R\$/m ² de revestimento para o teto:	0.38	3040.00
R\$/m ² de emboço / R\$/m ² de revestimento para o teto:	0.62	4960.00
SOMA	1.00	8000.00

Composições unitárias consideradas do chapisco (TCPO) (altere livremente os índices):

Chapisco em teto com argamassa de cimento e areia sem peneirar traço 1:3, com adição de adesivo à base de resina sintética, e=5mm - unidade: m²

custo total de chapisco para o teto(R\$) = 3040.00

m² de teto a ser revestido pelo chapisco = 100.00

custo unitário chapisco para o teto (R\$/m²) = 30.40

COMPONENTE	UNIDADE	CONSUMO UNIT.	ÍNDICE CUSTO UNIT.	CUSTO UNIT. (R\$)	CONSUMO TOTAL	CUSTO TOTAL (R\$)
Servente	h	0.25	0.107	3.25	25.00	325.28
Pedreiro	h	0.25	0.244	7.42	25.00	741.76
Areia tipo média	m ³	0.00375	0.089	2.71	0.38	270.56
*Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	m ³	0,00125	0.041	1.25	0.13	124.64
Adesivo à base de resina sintética	l	0.30	0.519	15.78	30.00	1577.76
SOMA	-	-	1.00	30.40	-	3040.00

* 0.13 m³ de cimento = 150.00 kg de cimento

Composições unitárias consideradas do emboço (TCPO) (altere livremente os índices):

Emboço em teto com argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar, e=20mm - unidade: m²

custo total de emboço para teto(R\$) = 4960.00

m² de teto a ser revestido pelo emboço = 100.00

custo unitário emboço para teto(R\$/m²) = 49.60

COMPONENTE	UNIDADE	CONSUMO UNIT.	ÍNDICE CUSTO UNIT.	CUSTO UNIT. (R\$)	CONSUMO TOTAL	CUSTO TOTAL (R\$)
Servente	h	0.70	0,188	9.32	70.00	932.48
Pedreiro	h	0.70	0,428	21.23	70.00	2122.88
Areia tipo média	m ³	0.015	0,223	11.06	1.50	1106.08
*Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	m ³	0,0017	0,035	1.74	0.17	173.60
**Cal hidratada	m ³	0.0034	0,126	6.25	0.34	624.96
SOMA	-	-	1.00	49.60	-	4960.00

* 0.17 m³ de cimento = 204.00 kg de cimento

** 0.34 m³ de cal = 612.00 kg de cal

FIGURA 6. Tela do software com a composição unitária do revestimento para teto.

Fonte: o próprio autor.

Revestimento cerâmico para o piso (altere livremente os índices):

custo total de revestimento para piso(R\$) = 7680.00

R\$ m ² de regularização da base / R\$ m ² de revestimento para o piso:	0.13	998.40
R\$ m ² do revestimento cerâmico para piso / R\$ m ² de revestimento para o piso:	0.87	6681.60
SOMA	1.00	7680.00

Índice considerado para acrescimo do rodapé: 1.1

Composições unitárias consideradas da regularização de base para piso (TCPO) (altere livremente os índices):

Regularização sarrafeada de base para revestimento de piso com argamassa de cimento e areia peneirada e=3cm - unidade: m²

custo total de regularização(R\$) = 998.40

m² de piso a ser regularizado = 110.00

custo unitário da regularização (R\$/m²) = 9.08

COMPONENTE	UNIDADE	CONSUMO UNIT.	ÍNDICE CUSTO UNIT.	CUSTO UNIT. (R\$)	CONSUMO TOTAL	CUSTO TOTAL (R\$)
Servente	h	0.12	0,065	0.59	13.20	64.90
Pedreiro	h	0.35	0,43	3.90	38.50	429.31
Areia tipo média	m ³	0.0144	0,431	3.91	1.58	430.31
*Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	m ³	0,0018	0,074	0.67	0.20	73.88
SOMA	-	-	1.00	9.08	-	998.40

* 0.20 m³ de cimento = 237.60 kg de cimento

Composições unitárias consideradas do revestimento cerâmico para o piso (TCPO) (altere livremente os índices):

Porcelanato polido assentado com argamassa pré-fabricada de cimento colante (dimensão: 40x40cm) - unidade: m²

custo total do revestimento cerâmico para piso(R\$) = 6681.60

m² de piso a ser revestido = 110.00

custo unitário do revestimento cerâmico para piso (R\$/m²) = 60.74

COMPONENTE	UNIDADE	CONSUMO UNIT.	ÍNDICE CUSTO UNIT.	CUSTO UNIT. (R\$)	CONSUMO TOTAL	CUSTO TOTAL (R\$)
Servente	h	0.22	0.018	1.09	24.20	120.27
Ladrilhista	h	0.44	0.081	4.92	48.40	541.21
Argamassa	kg	9.00	0.133	8.08	990.00	888.65
Porcelanato	m ²	1.19	0.768	46.65	130.90	5131.47
SOMA	-	-	1.00	60.74	-	6681.60

Composições unitárias consideradas do acabamento de gesso nos encontros da parede com teto (TCPO) (altere livremente os índices):

Gesso desempenado - unidade: m

custo total de acabamento com gesso(R\$) = 320.00

m de gesso / m² de área construída:

m linear de gesso(m) = 50.00

custo unitário de acabamento com gesso(R\$/m) = 6.40

COMPONENTE	UNIDADE	CONSUMO UNIT.	ÍNDICE CUSTO UNIT.	CUSTO UNIT. (R\$)	CONSUMO TOTAL	CUSTO TOTAL (R\$)
Servente	h	0.13	0.108	0.69	6.50	34.56
Gesseiro	h	0.5	0.436	2.79	25.00	139.52
Gesso	kg	5.9	0.456	2.92	295.00	145.92
SOMA	-	-	1.00	6.40	-	320.00

FIGURA 7. Tela do *software* com a composição unitária do revestimento cerâmico para piso e do acabamento com gesso.

Fonte: o próprio autor.

4 | CONCLUSÕES

Esse programa irá auxiliar discentes, docentes e profissionais da área de construção civil a fazer estudos de orçamentos estimativos com detalhamento, de maneira rápida e prática. Um diferencial é também permitir a realização de intervenções no projeto antes mesmo do início do mesmo, ou seja, intervenção diretamente na concepção do projeto, além do conhecimento de cada etapa da obra e seu respectivo valor, permitindo ao usuário a economia de acordo com sua preferência. Trabalhos futuros deverão abordar as outras etapas da obra, que não a estrutura, alvenaria e revestimento/acabamento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia e ao meu orientador por toda a ajuda.

Os autores atentam-se aos direitos de publicação inicial ao 11º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12721**: avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios. Rio de Janeiro, 2006.

SINDUSCON-MG. **Custo Unitário Básico (CUB/m²)**: principais aspectos. Belo Horizonte: SINDUSCON-MG, 2007, p.112. Acesso em: <http://www.cub.org.br/static/web/download/cartilha-principais-aspectos-cub.pdf>. 20 maio 2019.

SINDUSCON-PR. **Custos unitários básicos de construção**. Paraná, 2019. Disponível em: <https://sindusconpr.com.br/tabela-completa-370-p>. Acesso em: 12 junho 2019.

TCPO. **Tabela de Composições de Preço para Orçamentos**. São Paulo: PINI, 2012. 441p.

SOBRE A ORGANIZADORA

FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO - Engenheira Civil (Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG/2006), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2009, Mestre em Ensino de Ciências e Tecnologia (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2016). Trabalha como Engenheira Civil na administração pública, atuando na fiscalização e orçamento de obras públicas. Atua também como Perita Judicial em perícias de engenharia. E-mail para contato: francielebmachado@gmail.com

ÍNDICE REMISSIVO

A

Abrigo 110, 111

Acidentes 44, 46, 112, 124, 125, 126, 127, 131, 132, 133, 136

AHP 124, 125, 127

Alvenaria estrutural 135, 137, 138, 139, 142, 143, 144, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161

Análise 1, 2, 3, 8, 9, 10, 12, 14, 19, 20, 22, 23, 24, 26, 33, 41, 42, 43, 44, 45, 48, 63, 71, 74, 80, 83, 84, 93, 96, 98, 99, 102, 103, 106, 108, 111, 117, 119, 124, 127, 130, 133, 134, 137, 138, 139, 141, 142, 143, 144, 146, 147, 154, 157, 159, 169, 170, 174, 180, 181, 184, 187

C

Canteiro de obras 124, 134

Casa ecológica 87

Casa inteligente 87

Conforto térmico 89, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 105, 108, 113, 145

Construção civil 25, 44, 61, 62, 63, 71, 72, 74, 76, 81, 82, 84, 88, 104, 105, 108, 111, 112, 125, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 144, 148, 185, 186, 198

Custo 20, 21, 74, 87, 90, 91, 92, 93, 95, 96, 102, 135, 137, 139, 140, 141, 144, 145, 146, 149, 152, 159, 160, 163, 164, 186, 187, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 199

D

Distribuição transversal 24, 28, 35, 36, 37, 41

E

Engenharia 23, 42, 43, 44, 45, 46, 49, 63, 71, 72, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 88, 91, 96, 100, 108, 111, 134, 136, 138, 140, 144, 146, 147, 151, 161, 162, 185, 186, 200

Engenharia civil 23, 42, 43, 44, 63, 71, 72, 80, 82, 83, 84, 85, 86, 111, 134, 136, 140, 144, 146, 147, 185, 186

Engesser-Courbon 24, 26, 27, 31, 35, 40, 42, 43

EPS 98, 100, 105, 106, 107, 109

Erros de cálculo 44, 45

Esforços estruturais 110, 118, 122

Estabilidade 1, 2, 3, 8, 9, 10, 14, 19, 20, 21, 22, 24, 26, 91, 111, 167

Estimativa 135, 137, 139, 141, 186, 187, 188

Estrutura 1, 2, 3, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 26, 28, 31, 32, 38, 39, 46, 48, 72, 75, 90, 93, 98, 110, 111, 113, 115, 116, 117, 118, 119, 123, 124, 127, 130, 131,

133, 141, 143, 144, 150, 151, 152, 154, 155, 158, 159, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 170, 175, 182, 183, 184, 187, 198

Estruturas de concreto 22, 23, 161, 163, 170, 184, 185

Estruturas metálicas 47, 163, 165, 167

F

Familiares 82, 136

Fibra de bambu 72, 74, 75, 76, 79, 80

Filtro anaeróbio 87, 91, 92, 93, 94, 95, 96

Filtro de areia 87, 92, 93, 94, 95, 96

G

Galpão industrial 146, 163, 164

H

Habitação de interesse social 148

Habitações populares 108, 135, 138, 139, 140, 146, 147

L

Leonhardt 24, 25, 26, 27, 31, 32, 35, 40, 41, 42

M

Madeira 24, 25, 42, 43, 47, 63, 75, 103, 104, 105, 106, 107, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 121, 122, 123, 138, 152, 155, 156, 159, 161, 166

MEF 24, 26, 41

Método CLT 110, 115, 117

Método construtivo 135, 136, 137, 138, 140, 142, 144, 146, 149, 152, 160

Módulo de elasticidade 3, 31, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 159

Mulheres 82, 83, 84, 85, 86

O

Obras sociais 98, 135, 136, 144

P

Parede de concreto 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161

PEAD 72, 73, 74, 75, 76, 78, 79, 80, 81

Pintura externa das telhas 98

Preconceito 82, 83, 84, 85, 86

Produtividade na construção civil 135

Profissionais 1, 82, 83, 84, 86, 88, 124, 125, 128, 129, 131, 133, 145, 152, 187, 198

R

Reforma de cobertura 98

Resistência à compressão 61, 62, 70, 71, 72, 75, 117, 167

Resistência à tração 62, 70, 73, 74, 76

S

Segurança do trabalho 124, 125, 133, 134, 200

Sistemas construtivos 90, 108, 138, 141, 147, 148, 149, 150, 152, 160

Software 1, 2, 3, 14, 18, 26, 30, 31, 33, 40, 48, 49, 60, 119, 135, 139, 142, 165, 166, 186, 187, 189, 190, 194, 196, 197, 198

Sustentabilidade 87, 110

Sustentável 71, 72, 73, 80, 87, 88, 89, 94, 134

T

Telhado verde 87, 89, 92, 93, 94, 95, 96

Tetra Pak 98, 107, 108

Tilt-up 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147

TQS 1, 2, 3, 8, 10, 11, 12, 14, 18, 19, 22

FORÇA, CRESCIMENTO E QUALIDADE DA ENGENHARIA CIVIL NO BRASIL 4



www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2021

FORÇA, CRESCIMENTO E QUALIDADE DA ENGENHARIA CIVIL NO BRASIL 4



www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2021