

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL 2



CARLOS AUGUSTO ZILLI
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL 2



CARLOS AUGUSTO ZILLI
(ORGANIZADOR)

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 Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

iStock

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.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

Conselho Editorial

Ciências 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

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª 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. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
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. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª 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
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª 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 Alfenas

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 Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
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
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
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 da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª 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
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª 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
Profª 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. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª 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. Edson Ribeiro de Brito de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
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 Atílio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramirez – 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/UFGA
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
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Livia 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
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª 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. Me. Marcos Roberto Gregolin – Agência de Desenvolvimento Regional do Extremo Oeste do Paraná
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª 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
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof. Dr. Sullivan Pereira Dantas – Prefeitura Municipal de Fortaleza
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Universidade Estadual do Ceará
Profª 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

Coleção desafios das engenharias: engenharia civil 2

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os autores
Organizador: Carlos Augusto Zilli

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia civil 2 /
Organizador Carlos Augusto Zilli. – Ponta Grossa - PR:
Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-303-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.030211407>

1. Engenharia civil. I. Zilli, Carlos Augusto (Organizador).
II. Título.

CDD 624

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.arenaeditora.com.br

contato@arenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

DECLARAÇÃO DA EDITORA

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

APRESENTAÇÃO

Esta obra, intitulada “Coleção Desafios das Engenharias: Engenharia Civil”, em seu segundo volume, apresenta 19 capítulos que abordam pesquisas relevantes sobre os desafios enfrentados pela engenharia civil mundo afora, tais como: Enchentes e Ocupações Irregulares, Planejamento Urbano, Manifestações Patológicas em Edificações, Retrofit e Adequação Estrutural, Escolha de Estruturas de Fundação e uso de Tecnologia BIM.

Desta forma, esta obra se mostra potencialmente disponível para contribuir com discussões e análises aprofundadas acerca de assuntos atuais e relevantes, servindo como base referencial para futuras investigações relacionadas ao planejamento urbano, manifestações patológicas, tecnologia BIM, ou desenvolvimento da tecnologia *expander body*, por exemplo.

Deixo, aos autores dos capítulos, um agradecimento especial, e aos futuros leitores, anseio que esta obra sirva como fonte inspiradora e reflexiva.

Esta obra é indicada para os mais diversos leitores, tendo em vista que foi produzida por meio de linguagem fluída e abordagem prática, o que favorece a compreensão dos conceitos apresentados pelos mais diversos públicos, sendo indicada, em especial, aos amantes da área de engenharia.


Carlos Augusto Zilli

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ENCHENTES E OCUPAÇÕES IRREGULARES COMO DESAFIOS PARA O PLANEJAMENTO URBANO EM MARABÁ (PA): DELINEAMENTO DE ÁREAS ABAIXO DA COTA SEGUNDO O PLANO DIRETOR


Michael Vinícius Pontes Nunes
Flaviany Luise Nogueira de Sousa
Tháís Carolayne Bastos Rodrigues
Nuria Pérez Gallardo
Antonio Carlos Santos do Nascimento Passos de Oliveira
Alan Monteiro Borges

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0302114071>

CAPÍTULO 2..... 23

URBANIZAÇÃO DE ENCOSTAS – ESTRATÉGIAS PARA OCUPAÇÃO E CONTENÇÃO

Henrique Dinis

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0302114072>

CAPÍTULO 3..... 32

ESTUDO DAS CAUSAS E ORIGENS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OBRA PÚBLICA NO MUNICÍPIO DE TOLEDO-PR


Gladis Cristina Furlan
Neusa Eliana Figur
Elmagno Catarino Santos Silva
Calil Abumanssur
Silvana da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0302114073>

CAPÍTULO 4..... 46

APLICAÇÃO DO MÉTODO SCS PARA SUPORTE AO PLANEJAMENTO URBANO


Wanderson Ferreira dos Santos
Ed Carlo Rosa Paiva
Juliana Alves de Jesus Iraçabal
Bruna Gôbbo de Águas
Thaynara de Almeida Corrêa Silva
Lariane Fernanda de Deus Faria

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0302114074>

CAPÍTULO 5..... 68

PRAÇAS URBANAS NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DE MERITI: UMA ANÁLISE DA MANUTENÇÃO DAS PRAÇAS


Aline da Silva de Moraes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0302114075>

CAPÍTULO 6..... 80

UTILIZAÇÃO DA FIBRA DO AÇÁI NA COMPOSIÇÃO DE PAVIMENTOS INTERTRAVADOS PARA PASSEIO PÚBLICO NA CIDADE DE SANTARÉM-PA


Fernanda Camila Ramos Rodrigues
Liandra Caroline Avelino Rego
Marlon David Almeida da Silva
Suene Riley Guimarães da Silva
Sérgio Gouvêa de Melo
Hugo Ricardo Aquino Sousa da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0302114076>

CAPÍTULO 7..... 94

RETROFIT E ADEQUAÇÃO ESTRUTURAL PARA MUDANÇA DE USO DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL PARA COMERCIAL

Daniel de Oliveira Pereira
Elizabeth Montefusco Lopes
Guilherme Guelfi Binati
Lucas Gonçalves de Oliveira
Sthefanie Busch Andres Montes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0302114077>

CAPÍTULO 8..... 107

AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE MISTURAS RAP E SOLO PARA APLICAÇÃO EM VIAS VICINAIS


Adriely Maria Sandi
Gislaine Luvizão
Fabiano Alexandre Nienov

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0302114078>

CAPÍTULO 9..... 123

EVOLUÇÃO NORMATIVA BRASILEIRA SOBRE SISTEMAS PREDIAIS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

Luciano Zanella
Wolney Castilho Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0302114079>

CAPÍTULO 10..... 133

FUNDAÇÕES MAIS USUAIS DE AEROGERADOR: ESCOLHA EM FUNÇÃO DA INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA, PROCESSO EMPÍRICO

Adriana Dominique da Costa Rocha de Sá
Giovanni Maciel de Araújo Silva


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03021140710>

CAPÍTULO 11..... 151

O USO DA PLATAFORMA BIM PARA OTIMIZAÇÃO DAS OBRAS PÚBLICAS: UMA ANÁLISE DO MODELO DIGITAL E OS RESULTADOS ESPERADOS PELA ESTRATÉGIA

BIM BR


Michely Cristina Melo Kretschmer
Paulo Roberto Nascimento de Góes
Peter Ruiz Paredes
André Luís Oliveira Gadelha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03021140711>

CAPÍTULO 12..... 165

A TECNOLOGIA BIM NA CONSTRUÇÃO CIVIL


Ana Carolina Martins de Pádua
Pedro Lucio Bonifacio
Darlan Einstein do Livramento

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03021140712>

CAPÍTULO 13..... 173

PLANOS DE CONTINGÊNCIA PARA SITUAÇÕES EMERGENCIAIS EM BARRAGENS


Rafaela Baldi Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03021140713>

CAPÍTULO 14..... 179

REDUÇÃO DA AMPLITUDE TÉRMICA POR MEIO DE TECNOLOGIA VERDE: ESTUDO DE CASO NO INVERNO DE SÃO CARLOS-SP, BRASIL


Nuria Pérez Gallardo
Antonio Carlos Santos do Nascimento Passos de Oliveira
Alan Monteiro Borges
Flaviany Luise Nogueira de Sousa
Stéfane Mireles da Silva Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03021140714>

CAPÍTULO 15..... 190

ANÁLISE DO FENÔMENO DE *FLUTTER* EM UMA AERONAVE NÃO TRIPULADA


Robert Davis Cavalcanti Barros
Francisco Gilfran Alves Milfont

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03021140715>

CAPÍTULO 16..... 197

COMPARAÇÃO ENTRE A EFICIÊNCIA DOS MÉTODOS TABULAR E GRÁFICO NA DETERMINAÇÃO DO TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO EM VIGAS CONTÍNUAS

Jefferson Milton Muller Martins
Elie Chahdan Mounzer


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03021140716>

CAPÍTULO 17..... 215

COMER; BEBER E REZAR: UMA CIDADE DE 15 MINUTOS AMAZÔNICA

Arthur Gabriel Lopes Leal


Romerito Rodrigues Vieira
Antonio Carlos Santos do Nascimento Passos de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03021140717>

CAPÍTULO 18.....223

OSMOSE INVERSA UTILIZADA NA REMOÇÃO DE FLUOXETINA DE ÁGUA DE SOLUÇÕES MODELO


Talita Dalbosco
Gabriel Capellari Santos
Vandré Barbosa Brião
Nelson Miguel Grubel Bandeira
Aline Manfroi Soster

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03021140718>

CAPÍTULO 19.....228

O AVANÇO DA TECNOLOGIA *EXPANDER BODY* NO BRASIL

Carlos Medeiros Silva
Fernando Feitosa Monteiro
Renato Pinto da Cunha
Yago Machado Pereira de Matos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03021140719>

SOBRE O ORGANIZADOR.....238

ÍNDICE REMISSIVO.....239

O AVANÇO DA TECNOLOGIA *EXPANDER BODY* NO BRASIL

Data de aceite: 01/07/2021

Carlos Medeiros Silva

EMBRE Engenharia e Fundações Ltda.
Brasília – DF
<http://lattes.cnpq.br/1222667089273854>

Fernando Feitosa Monteiro

Universidade de Brasília
Brasília – DF
<http://lattes.cnpq.br/3204932197766528>

Renato Pinto da Cunha

Universidade de Brasília
Brasília – DF
<http://lattes.cnpq.br/9013693430617718>

Yago Machado Pereira de Matos

Universidade de Brasília
Brasília – DF
<http://lattes.cnpq.br/5533205384020554>

RESUMO: A tecnologia *Expander Body* (EB) tem sido usada com sucesso para aumentar a resistência de ponta de estacas escavadas em diversos tipos de solo ao redor do mundo, principalmente na Bolívia. Esta tecnologia foi inserida de forma pioneira no mercado brasileiro em 2018 e vem exibindo resultados satisfatórios em relação ao acréscimo de capacidade de carga das estacas e redução de deslocamentos para se atingir a carga de projeto desejada, quando comparada com estacas não equipadas com o sistema EB. Uma vantagem importante do sistema EB é a capacidade de monitorar o processo de expansão do EB, que fornece

informações importantes relativas a resistência e rigidez do solo ao redor da ponta da estaca. O presente trabalho tem o objetivo de apresentar o avanço da tecnologia *Expander Body* no Brasil, bem como avaliar resultados obtidos com a utilização desta tecnologia. Observa-se que esta tecnologia inovadora se apresenta como uma solução com grande versatilidade e potencial para uso na prática em solos lateríticos, porosos e não saturados.

PALAVRAS-CHAVE: *Expander Body*, DywiExpander, Estacas, Desempenho.

THE ADVANCE OF THE EXPANDER BODY TECHNOLOGY IN BRAZIL

ABSTRACT: The *Expander Body* (EB) technology has been successfully used to increase the tip resistance of excavated piles in several soil types around the world, mainly in Bolivia. This technology was pioneered in the Brazilian market in 2018 and has been showing satisfactory results regarding the increase of pile load capacity and reduction of displacements to reach the desired design load, when compared to piles not equipped with the EB system. An important advantage of the EB system is the ability to monitor the EB expansion process, which provides important information regarding the strength and stiffness of the soil around the pile tip. This work aims to present the advance of the *Expander Body* technology in Brazil, as well as to evaluate results obtained with the use of this technology. It was observed that this innovative technology presents itself as a solution with great versatility and potential for practical use in lateritic, porous and unsaturated soils.

KEYWORDS: Expander Body, DywiExpander, Piles, Performance.

1 | INTRODUÇÃO

O *Expander Body* (EB) é produzido a partir de chapas de aço dobradas, sanfonadas, em forma de um corpo cilíndrico, sendo estes instalados na ponta da estaca. O conceito *Expander Body* (EB) foi desenvolvido pelo engenheiro sueco Bo Skogberg durante a década de 80 na Suécia e aperfeiçoado na Bolívia durante a última década (Terceros Herrera e Terceros Arce, 2016). A partir da injeção de calda de cimento, o EB pode ser inflado, gerando um balão de aço de alta resistência à prova de água (Figura 1).



Figura 1. Etapas de expansão do *Expander Body*.

Segundo Silva et al. (2018), o EB foi prioritariamente aplicado em solos arenosos, considerando esses solos como ótimos para densificação. Entretanto, nas últimas duas décadas, o sistema recebeu inovações, tal como o melhoramento do processo de dobramento, sanfonamento do aço e um novo dispositivo de pós-injeção da ponta. A injeção da ponta permite melhorar o solo abaixo do EB. Aproximadamente 20.000 EBs já foram instalados nas Américas (Brasil, Bolívia, Argentina, Paraguai, Peru, México, EUA e Canadá). Ainda segundo Silva et al. (2018), o sistema foi instalado em uma ampla gama de solos, desde argilas moles a muito rijas, solos sedimentais e areias, bem como rochas brandas. O tipo de instalação do *Expander Body* (EB) pode variar em função das condições de solo, disponibilidade de espaço para a execução da estaca e da capacidade de carga requerida da mesma.

2 | A TECNOLOGIA EXPANDER BODY

A Figura 2 apresenta o processo executivo de estacas escavadas equipadas com a tecnologia *Expander Body*. No caso de estacas escavadas, o EB é instalado em conjunto com a armadura da estaca até que o EB atinja a cota de projeto na base da estaca. Após à instalação, o EB é expandido por injeção de calda de cimento, através de uma tubulação de pequeno diâmetro, criando um bulbo hermético de alta resistência. Durante esta etapa, valores de pressão e volume são registrados manualmente ou automaticamente, obtendo

dados que apresentam grande semelhança com o ensaio pressiométrico de Ménard. A expansão do EB acarreta em um acréscimo do diâmetro da estaca (principalmente em sua base), bem como a redução do comprimento do EB. O encurtamento do EB desenvolve uma zona não comprimida abaixo da ponta. A segunda fase de injeção da calda de cimento é convencionalmente executada através de um tubo de menor diâmetro que se encontra dentro do tubo principal durante a primeira fase de injeção do EB (passando pelo EB). Esta segunda injeção de calda de cimento também comprime o solo na ponta da estaca, aprimorando a sua capacidade de carga e a sua rigidez.

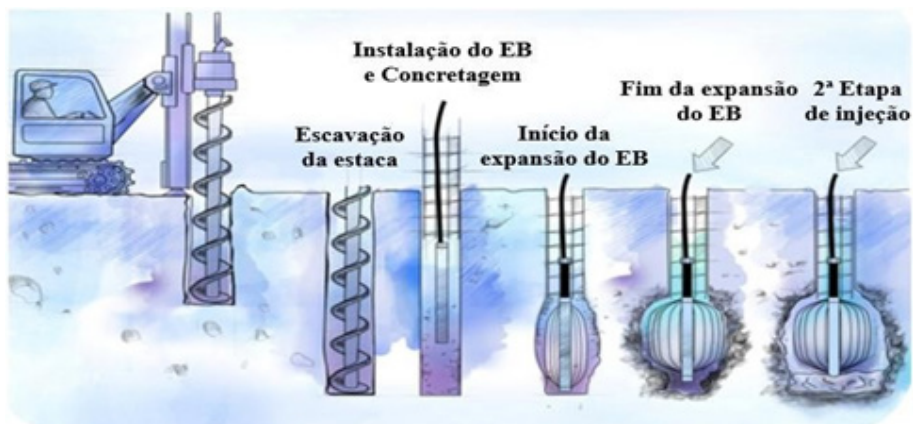


Figura 2. Processo executivo da tecnologia EB.

A primeira etapa de injeção do EB é caracterizada por sucessivas medidas de pressão que o EB exerce nas paredes da escavação e volume injetado durante a expansão do balão metálico, podendo analisar o acréscimo da rigidez e da resistência do solo adjacente à ponta da estaca. A expansão do EB no solo possui uma semelhança significativa com o ensaio pressiométrico realizado em um pré-furo (Terceros Arce e Terceros Herrera, 2017). A Figura 3 exibe uma curva típica de pressão- volume durante a primeira etapa de injeção (expansão do EB). Na primeira etapa de injeção, observa-se uma razoável semelhança com o ensaio pressiométrico de Ménard. A pressão limite e a pressão de injeção necessária para expandir o EB são afetadas pelo tipo de instalação da estaca e pelo tipo de solo em que o EB está inserido (Broms e Nord, 1985).

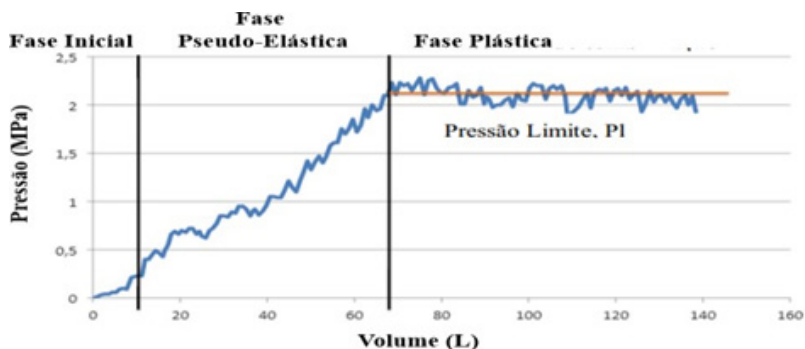


Figura 3. Curva pressão x volume do EB.

O sistema é disponibilizado em diferentes dimensões em função dos requisitos de projeto. A Tabela 1 apresenta as diferentes geometrias dos modelos de EB. Os modelos de EB apresentam comprimentos entre 1 e 2 m, largura de 0,12 m (estado inicial). Os modelos permitem expansão, obtendo diâmetros finais entre 0,4 a 0,8 m.

| Modelo | L_i (m) | L_f (m) | \varnothing_f (m) | A_P (m^2) | A_L (m^2) | V (m^3) |
|--------|-----------|-----------|---------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| EB 310 | 1,0 | 0,91 | 0,3 | 0,13 | 0,86 | 0,06 |
| EB 410 | 1,0 | 0,86 | 0,4 | 0,13 | 1,10 | 0,11 |
| EB 612 | 1,2 | 0,96 | 0,6 | 0,28 | 1,83 | 0,27 |
| EB 615 | 1,5 | 1,26 | 0,6 | 0,28 | 2,38 | 0,36 |
| EB 815 | 1,5 | 1,26 | 0,6 | 0,50 | 3,17 | 0,63 |
| EB 820 | 2,0 | 1,76 | 0,8 | 0,50 | 4,42 | 0,88 |

Onde: L_i é comprimento do EB antes da expansão; L_f é o comprimento do EB após a expansão; \varnothing_f é o diâmetro final do EB após a expansão; A_P é área da base do EB após a expansão; A_L é a área lateral do EB após a expansão; V é o volume do EB após a expansão.

Tabela 1. Modelos de EB.

Recentemente, Silva et al. (2019) descrevem a criação de um novo sistema similar ao EB no Brasil, o sistema DywExpander (DWE). O sistema é composto por barra vazada onde é realizada as fases injeção do *Expander Body* e da consolidação da ponta do DywExpander (DWE) quando necessário. Segundo Silva et al. (2019), o monitoramento do DWE é feito por meio da aquisição de dados durante a injeção de argamassa, medindo-se a pressão de injeção e o volume de argamassa injetado. Com estes dados podem ser criados três registros básicos: volume versus tempo; pressão versus tempo e pressão versus volume. A curva de pressão versus volume, é necessária para a interpretação do comportamento do DWE. Como a argamassa é cercada pelo corpo de aço impermeável,

esta não penetra e nem fratura o maciço. A área da ponta do corpo parcialmente ou totalmente expandido pode ser estimada com base no volume de argamassa medido (Silva et al., 2019).

Ainda de acordo com Silva et al. (2019), os Dywexpander podem ser dotados de proteção anticorrosiva a base de zinco ou por meio da dupla proteção anticorrosiva. Segundo Hoffemann (2005), as barras, dotadas de revestimento por imersão em banho de zinco, estão sujeitas à agressividade de dois ambientes totalmente diferentes, que são a atmosfera e o solo. Na atmosfera, o metal é atacado lentamente, enquanto que no solo a presença de íons livres em profundidade pode proporcionar a formação de um gradiente iônico ao longo da fundação, fazendo com que as regiões mais ricas em sais se tornem anódicas. Processo que com o passar do tempo, pode corroer totalmente as armaduras da fundação, principalmente se forem em grelhas (Silva et al., 2019). Para combater a corrosão, o DywExpander pode ser submetido a um sistema de dupla proteção contra corrosão (*Double Corrosion Protection – DCP*) que é comumente utilizado nos tirantes tipo Dywidag quando instalados em meios agressivos. O sistema DCP é composto de revestimento corrugado ao redor da barra em todo o comprimento da barra, garantindo proteção permanente contra a corrosão. O DCP confere ao sistema de proteção contra corrosão uma durabilidade superior a 100 anos (Silva et al., 2019).

3 | ESTUDOS REALIZADOS NO BRASIL

A tecnologia *Expander Body* foi implementada de modo pioneiro no Brasil em 2018 (Silva et al., 2018 e Silva et al., 2019). Provas de carga em estacas mecanicamente escavadas equipadas com e sem a tecnologia *Expander Body* foram realizadas no Campo Experimental de Fundações e Ensaio de Campo da Universidade de Brasília. As estacas foram submetidas a esforços axiais de compressão e tração, apresentando comprimentos entre 8 e 10 m e diâmetros entre 0,25 e 0,3m. O modelo EB 612 foi empregado em todas as estacas, resultando em um diâmetro final da ponta de 0,6 m nas estacas escavadas mecanicamente. A Figura 4 exibe curvas carga – deslocamento para estacas mecanicamente escavadas equipadas com e sem o EB assentes a uma profundidade de 10 m. O perfil estratigráfico do Campo Experimental de Fundações e Ensaio de Campo da Universidade de Brasília é exibido na Figura 5.

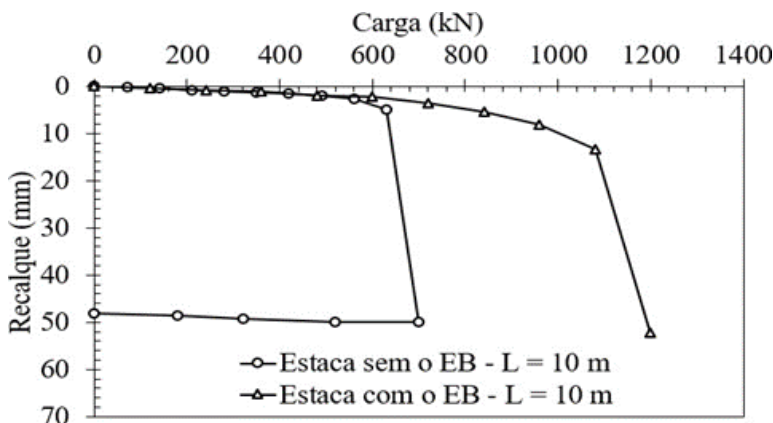


Figura 4. Curvas carga – deslocamento de estacas equipadas com e sem o EB.

| Profundidade (m) | Estatigrafia do solo | N_{SPT} | q_c (MPa) | f_s (MPa) |
|------------------|----------------------|-----------|-------------|-------------|
| 0.0 | | 2 | 0.66 | 0.02 |
| | | 2 | 0.47 | 0.02 |
| | Areia Siltosa | 3 | 0.65 | 0.04 |
| | Solo laterítico | 3 | 0.86 | 0.05 |
| | | 6 | 1.13 | 0.07 |
| 6.0 | | 5 | 1.46 | 0.09 |
| 8.0 | Síte Arenoso | 10 | 2.42 | 0.14 |
| | | 22 | 3.69 | 0.21 |
| 10.0 | Camada de transição | 23 | 3.89 | 0.21 |
| | | 28 | 4.54 | 0.23 |
| 12.0 | Argila Siltosa | 25 | 4.64 | 0.23 |
| | Saprólito | 33 | 4.40 | 0.23 |

Figura 5. Perfil estratigráfico do campo experimental.

As estacas equipadas com o EB submetidas à compressão, apresentaram um ganho de capacidade de carga da ordem de 70 a 80%, enquanto que as estacas acopladas com o EB sujeitas a esforço de tração apresentam um acréscimo da ordem de 40% em termos de carga de ruptura quando comparadas com as estacas escavadas mecanicamente sem a utilização do EB. Verifica-se ainda que a inclusão do sistema EB na ponta das estacas, bem como a sua expansão induz tensões ao maciço terroso, alterando o estado de tensões do solo, acarretando em uma redução significativa de deslocamentos da estaca, ou seja, aferindo um ganho significativo de capacidade de carga quando comparado com a estaca sem a tecnologia *Expander Body*. A Figura 6 apresenta as curvas pressão – volume da primeira (expansão do EB) e segunda etapa (injeção de fundo) de injeção. A curva obtida durante a expansão do EB apresenta razoável semelhança com a curva obtida em um ensaio pressiométrico Menárd. Desta forma, este controle tecnológico no entorno da ponta

da estaca permite conhecer as condições do solo, além de possibilitar a interpretação de parâmetros geotécnicos similares aos obtidos em ensaios pressiométricos.

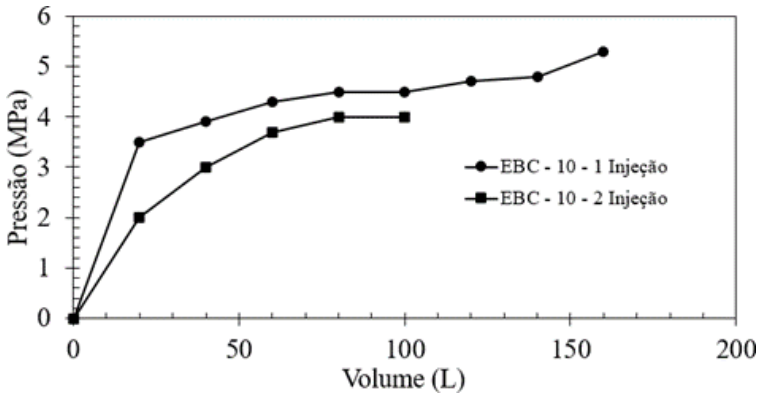


Figura 6. Curvas pressão – volume da primeira e segunda etapa de injeção.

Silva et al. (2019) reporta que os ensaios realizados em Montes Claros, Minas Gerais, Brasil, foram executados em solos argilo arenosos caracterizados pela sondagem apresentada na Figura 7. A formação geológica da região é a pré-cambriana antiga, com ocorrência de siltito, ardósia, calcário e filito. Neste local, o sistema *Expander Body* foi empregado com barras de aço de alta resistência do tipo Dywidag, sistema DYWEXPANDER (DWE). O sistema DWE permite que a injeção seja realizada pelo eixo da monobarra vazada ou paralela a monobarra.

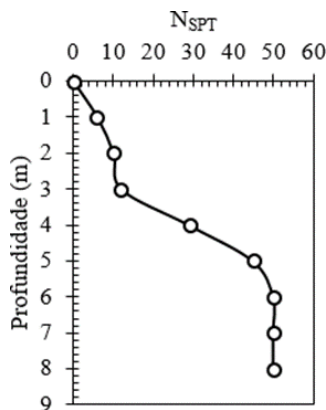


Figura 7. Valores de N_{SPT} ao longo da profundidade.

Na Figura 8 são apresentados os dados obtidos durante a injeção realizada em dois Dywexpander (DWE) instalados na cidade de Montes Claros, Minas Gerais. De acordo com Silva et al. (2019), os ensaios foram realizados para comprovar a eficiência de aplicabilidade

do sistema em ancoragens de estais de torres de linha de transmissão de energia para verificar o ganho de desempenho e de capacidade de carga para diferentes diâmetros de bulbo. Os dois Dywexpander foram instalados no mesmo horizonte, profundidade aproximada de 7,50m em relação a cota de boca do furo de sondagem SPT (Figura 7), fato que possibilitou a comparação dos resultados obtidos. O DWE 33, apresenta um comprimento de 8,5m e inclinação de 33 graus com a vertical, enquanto DWE 0, esta assente a uma profundidade de 7,50 m e inclinação de zero graus com a horizontal. Foram injetados 80 litros de argamassa do DWE 0, acarretando assim, em um bulbo com diâmetro final de 0,4 m e 200 litros de argamassa no DWE 33, obtendo um bulbo com 0,6 m de diâmetro final. Um terceiro Dywexpander foi instalado sem injeção de argamassa (SI), o DWE 0 (SI), foi instalado com comprimento de 8,50m e zero graus com a horizontal. Conseqüentemente, o DWE 0 (SI) não possui bulbo e manteve sua ponta no diâmetro de perfuração do tirante, sendo este igual a 0,3 m. A Figura 8 apresenta as curvas pressão – volume de injeção dos Dywexpander. Nota-se que o DWE 33 induziu pressões da ordem de 5 MPa ao maciço terroso de solo, ao passo que o DWE 0 apresenta pressões da ordem de 4,5 MPa.

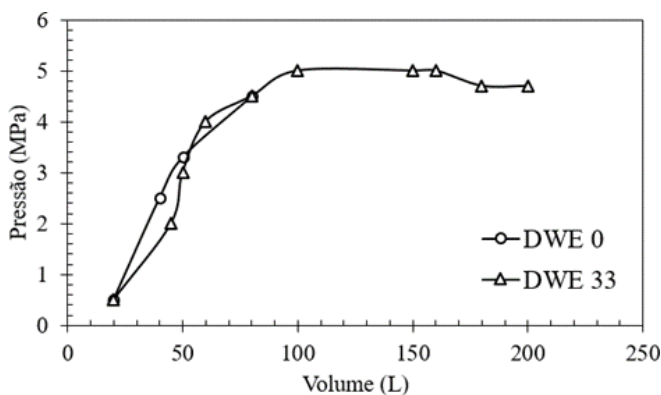


Figura 8. Curvas pressão – volume dos DWE.

Nesta localidade, foram realizadas 3 provas de cargas à tração nas estacas equipadas com o DWE. A prova de carga à tração DWE 0 (SI) foi realizada em ancoragem sem bulbo e as DWE 33 e DWE 0 em ancoragens com bulbos de 0,6 m e 0,4 m de diâmetro, respectivamente. As curvas carga - deslocamento são apresentadas na Figura 9. As Provas de Carga nas estacas DWE 0 e DWE 0 (SI) foram interrompidas com 20 mm de deslocamento, pois não foi possível estabilizar os deslocamentos, observando assim, que o solo atingiu o estado último em termos de capacidade carga. Entretanto a prova de carga realizada no DWE 33, com um bulbo de 0,6 m de diâmetro foi interrompida com 900 kN devido a monobarra Dywidag DW37 estar próxima do seu patamar de escoamento, ou seja,

verificando que o solo ainda apresentava capacidade resistiva.

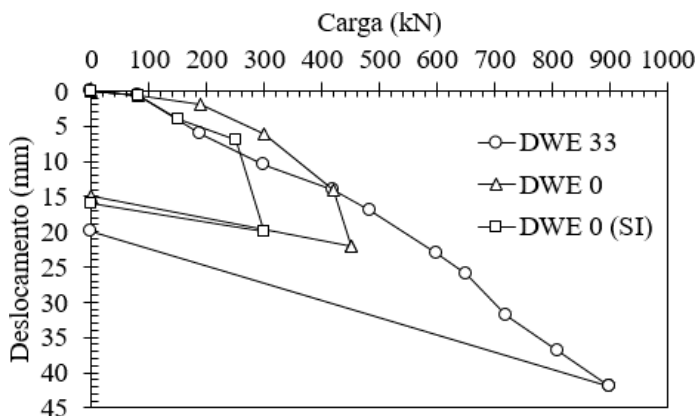


Figura 9. Curvas carga-deslocamento dos DWE.

Verifica-se que o sistema DywExpander promoveu um ganho de desempenho para as ancoragens, em termo de capacidade de carga. Observa-se que a capacidade de carga última da estaca sem bulbo, o DWE 0 (SI), foi de 300 kN, enquanto que a capacidade de carga para o sistema DywExpander com bulbo de 0,4 m de diâmetro foi de 450kN, ou seja, um acréscimo de capacidade de carga da ordem de 50%. Para o DywExpander com bulbo de 0,6 m de diâmetro, a capacidade estrutural do sistema foi atingida sem extinguir a capacidade geotécnica do sistema, que no caso deste ensaio foi da ordem de 900kN, devido a paralisação do ensaio por questões de segurança. Desta forma, verifica-se que a capacidade da ancoragem foi acrescida em uma ordem de 200%. Vale mencionar ainda que, para uma carga de 400 kN, o DWE 33 apresenta um deslocamento de 14 mm, ao passo que DWE 0 exibe um deslocamento de 22 mm. Tal fato é importante, pois obras como estais de linhas transmissões apresentam deslocamentos limitantes. Desta forma, o sistema DywExpander se mostra como uma alternativa técnica versátil que além de aprimorar a capacidade de carga da estaca, reduz os deslocamentos necessários para se atingir a capacidade de carga desejada, quando comparada com estacas convencionais não equipadas com o sistema.

Observa-se que os estudos realizados no Brasil até o presente momento, indicam que o sistema DywExpander e *Expander Body* apresentam-se como soluções alternativas para projetos de fundações em solos tropicais.

4 | CONCLUSÕES

Um importante desenvolvimento da tecnologia de fundações por estacas tem sido a possibilidade de monitorar e controlar o processo de execução. Essas informações

podem ser usadas para determinar a profundidade necessária de instalação e estimar, com base em correlações empíricas, a capacidade de carga das estacas após a instalação. A utilização de novas tecnologias como o *Expander Body* e o *DywExpander* estabelece uma alternativa de soluções para fundações visando atender diversos tipos de empreendimento. A partir dos estudos realizados, foi possível perceber o avanço desta tecnologia no Brasil e como sua aplicabilidade em solos tropicais comumente encontrados no Brasil pode ser vantajosa em termos de ganho de capacidade de carga e redução dos deslocamentos para se atingir a carga de projeto desejada. Nota-se assim que esta tecnologia inovadora se apresenta como uma solução com grande versatilidade e potencial para uso na prática em solos lateríticos, porosos e não saturados.

Vale mencionar ainda que a partir das curvas pressão – volume de injeção dos EBs e dos DWEs, é possível obter parâmetros de resistência do solo utilizando os mesmos princípios de interpretação de ensaios pressiométricos. Além de possuir um controle do do comportamento em termos de resistência do solo circundante a ponta da estaca.

REFERÊNCIAS

BROMS, B.B., NORD, B. (1985). **Axial Bearing Capacity of the Expander Body Pile**. *Soils and Foundations*, Vol. 25(2), p. 35-44.

HOFFMANN, J. N. (2005). **Proteção Contra Corrosões nas Fundações das Torres Metálicas Utilizando Energia Induzida pelo Campo Elétrico da Linha de Transmissão**. In: Espaço e Energia, ed.2. Curitiba: COPEL, 37p.

SILVA, C.M., TERCEROS H.M.A., TERCEROS M., ESPOSITO, C., FERNÁNDEZ, D.H., CUNHA, R.P. (2018). **Uso da Tecnologia Expander Body em Estacas Solicitadas a Tração e a Compressão Assentes em Solo Tropical do Brasil**. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Geotecnia e Desenvolvimento Urbano, Vol. 3, p. 16-28.

SILVA, C.M., TERCEROS H.M.A., LENTZ, L., CUNHA, R.P. (2019). **A Tecnologia Expander Body em Tirantes e Estacas no Brasil**. IX Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, v. 2, p. 46-56.

TERCEROS HERRERA, M.A., TERCEROS ARCE, M. (2016). **Recent Advances in The Expander Body Technology**. XVIII Brazilian Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol. 2, p 31-38.

TERCEROS ARCE, M., TERCEROS HERRERA, M.A. (2017). **Expander Body and Toe-Box: Expansion Devices for Deep Foundations Enhancement**. 3rd Bolivian conference on deep foundations, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, Vol.1, p. 209-227.

SOBRE O ORGANIZADOR

CARLOS AUGUSTO ZILLI - Possui graduação em Engenharia Civil e Matemática pela Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL (2015 e 2005). É doutorando em Engenharia e Gestão do Conhecimento pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC (2021) e mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (2020). Possui especialização em Avaliação de Imóveis e Perícias de Engenharia pelo Instituto de Pós-Graduação - FAPAN (2018), em Gestão de Obras e Projetos pela Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL (2017), e em Engenharia de Segurança do Trabalho pelo Centro Universitário de Capivari - FUCAP (2016). É docente no Instituto Federal de Educação de Santa Catarina (IFSC) - Campus São Carlos. Possui experiência na área de Matemática, com ênfase em Educação Matemática e em Engenharia de Avaliações e Perícias, com ênfase em Inferência Estatística. Tem interesse em temas relacionados à Ciência de Dados, Engenharia de Avaliações e Planta de Valores Genéricos.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Abastecimento complementar 123
AeroDesign 190, 191, 195, 196
Aeroelasticidade 190, 191
Água de chuva 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132
Alteração de ocupação 95
Atualização de edifícios existentes 95

B

Barragens 173, 174, 175, 177, 178
Bioarquitetura 179

C

Cidade de 15 minutos 215, 216, 217
Coberturas verdes 179, 184, 188, 189
Comportamento térmico 179, 181
Concreto 26, 28, 29, 34, 36, 38, 39, 43, 44, 69, 70, 71, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 102, 106, 110, 120, 121, 136, 140, 184, 197, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 207, 208, 210, 211, 213, 214
Construção 2, 5, 8, 10, 14, 21, 22, 25, 26, 29, 32, 33, 44, 69, 70, 76, 77, 79, 80, 95, 96, 97, 100, 103, 104, 105, 106, 116, 126, 136, 151, 152, 153, 154, 156, 157, 158, 159, 162, 163, 165, 166, 168, 170, 171, 172, 174, 180, 181, 183, 184, 197

D

Desempenho 9, 32, 96, 106, 107, 111, 114, 115, 127, 152, 188, 191, 225, 228, 235, 236
Diretrizes 6, 7, 10, 47, 66, 72, 123, 174, 221
DywiExpander 228, 229

E

Enchente 1, 17, 18
Energia eólica 133, 134, 135, 140, 148, 149
Estacas 26, 27, 28, 30, 31, 140, 141, 142, 145, 146, 148, 228, 229, 232, 233, 235, 236, 237
Estratégia BIM BR 151, 152, 158, 164
Expander body 228, 229, 231, 232, 233, 234, 236, 237

F

Fachadas verdes 179, 183, 189

Fibra de açaí 80, 81, 92

Flutter 190, 191, 192, 193, 195, 196

Fontes alternativas 123, 124, 129, 130, 131, 188

Fresagem 107, 108, 110, 120

I

Incêndio 125, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 206, 213, 214

Intertravado 71, 78, 80, 81, 92

M

Manutenção 12, 30, 32, 47, 65, 68, 69, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 97, 106, 108, 109, 120, 121, 126, 127, 151, 152, 153, 158, 163, 174

Marabá 1, 2, 3, 6, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 179, 215, 216, 221, 222

Matriz de significância 68, 72, 74

Método gráfico 197, 199, 201, 202, 205, 206, 207, 208, 209, 211, 212, 214

Método SCS 46, 48, 51, 61

Método tabular 197, 199, 201, 202, 203, 206, 207, 209, 211, 212, 213

Modelagem 97, 151, 152, 153, 155, 158, 160, 161, 162, 163, 165, 166, 170

Modelo virtual 151, 158, 159, 162, 163

Modernização de edifícios 95

O

Obras de contenção 23, 25, 26, 28, 30

Obras públicas 32, 44, 151, 152, 158, 162, 163, 168, 170

Ocupação não planejada de encostas 23

Ocupações irregulares 1, 4, 6, 12, 13, 14, 15, 21, 22, 25, 30

Osmose inversa 223, 224

Otimização 151, 158, 163, 170

P

Patologias 32, 33, 34, 44, 97, 103

Pavimentação 14, 69, 71, 93, 107, 109, 110, 120, 121

Planejamento de obras 95

Planejamento urbano 1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 15, 20, 21, 22, 46

Plano diretor 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 55, 58, 59, 65, 67, 106

Plataforma BIM 151, 158, 159, 163

Poluentes emergentes 223, 224

Praças urbanas 68, 69, 73

R

RAP 107, 108, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 117, 118, 119, 121

Reabilitação de edifícios 95

S

Serviços 14, 31, 33, 44, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 109, 136, 164, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221

Situações emergenciais 173

Solo 2, 7, 8, 11, 12, 18, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 34, 47, 48, 50, 51, 52, 53, 54, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 73, 107, 108, 111, 112, 113, 114, 115, 118, 119, 120, 121, 126, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 141, 143, 144, 145, 147, 148, 149, 174, 177, 216, 228, 229, 230, 232, 233, 234, 235, 236, 237

Solução técnica 133

Sondagem 133, 134, 137, 138, 147, 149, 234, 235

Sustentabilidade 7, 8, 22, 62, 67, 80, 97, 152, 153, 158, 170, 174, 181, 225

T

Tecnologia 94, 97, 106, 124, 152, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 179, 228, 229, 230, 232, 233, 236, 237

Tratamento de água 223, 226

TRRF 197, 199, 201, 202, 205, 206, 207, 208, 209, 211, 212, 213

U

Urbanização 2, 4, 7, 9, 11, 12, 13, 20, 22, 23, 24, 25, 46, 47, 48, 54, 55, 60, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 180

V

Vicinais 107, 108, 109, 111, 116, 119, 121, 122

Volume de escoamento superficial 46, 48, 51, 54, 58, 61, 63, 64, 65

Z

Zoneamento 1, 4, 7, 8, 12, 21, 22, 177


COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL 2



 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

 **Atena**
Editora




Ano 2021

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL 2



-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br