

Helenton Carlos da Silva  
(Organizador)

# ENGENHARIA CIVIL:

Componentes sociais e ambientais  
e o crescimento autossustentado



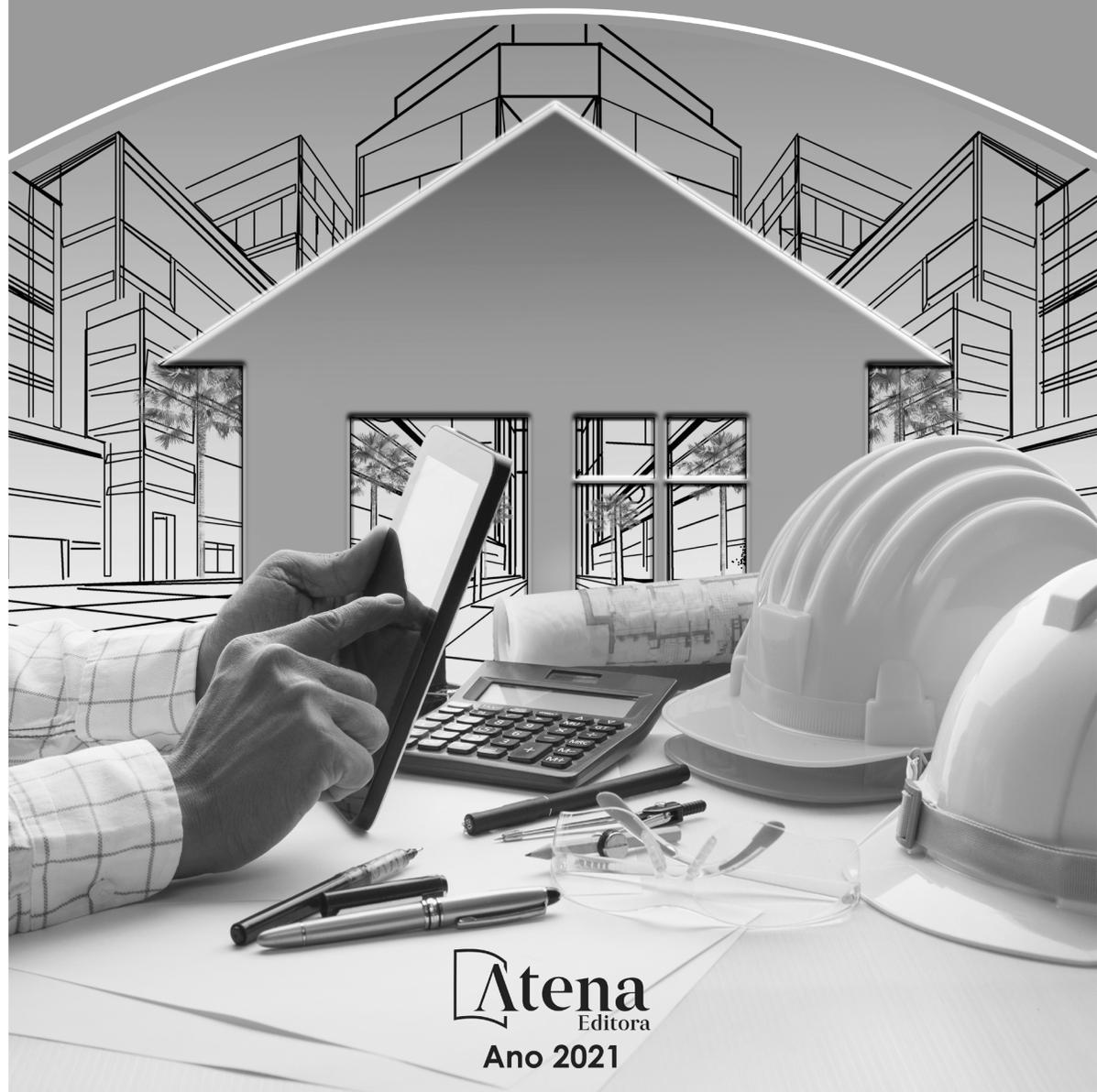
**Atena**  
Editora

Ano 2021

Helenton Carlos da Silva  
(Organizador)

# ENGENHARIA CIVIL:

Componentes sociais e ambientais  
e o crescimento autossustentado



**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  
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  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale 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  
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. 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 Rural 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 Federacl 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  
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 Gonçalves 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 Miraniide 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 Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
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 Britto 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 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  
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri  
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/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 Fenomenología & 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 Lúvia 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  
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  
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
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

# Engenharia civil: componentes sociais e ambientais e o crescimento autossustentado

**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Giovanna Sandrini de Azevedo  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizador:** Helenton Carlos da Silva

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia civil: componentes sociais e ambientais e o crescimento autossustentado / Organizador Helenton Carlos da Silva. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-5983-177-7  
DOI 10.22533/at.ed.777211406

1. Engenharia civil. I. Silva, Helenton Carlos da (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.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

## APRESENTAÇÃO

A obra *“Engenharia Civil: Componentes Sociais e Ambientais e o Crescimento Autossustentado”* aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora e apresenta, em seus 16 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca da importância dos componentes sociais e ambientais no crescimento autossustentado.

O setor da Construção Civil conta com variáveis que podem afetar o seu desempenho e qualidade. Com o objetivo de melhorar o controle sobre os processos produtivos e atender às normas e especificações técnicas, vários sistemas de gestão de qualidade e processo foram desenvolvidos por volta dos anos 80.

Vivemos um momento de mudanças econômicas e tecnológicas, onde cresce a preocupação com o meio ambiente, desta forma o mercado de tecnologias ambientais vem crescendo significativamente. Ao realizar uma construção sustentável há diversos benefícios, como a valorização do imóvel e a economia que ela poderá apresentar através dos anos.

Em contraponto, os acidentes de trabalho situam-se como a principal causa ocupacional de morte na construção civil, sendo considerada uma das indústrias mais perigosas em todo o mundo, liderando as taxas de acidentes de trabalho fatais e não fatais.

No Brasil, a construção civil é um dos segmentos que mais registram acidentes de trabalho, sendo o primeiro do país em incapacidade permanente, o segundo em mortes (perde apenas para o transporte terrestre) e o quinto em afastamentos com mais de 15 dias, onde destaca-se que as principais causas destes acidentes são impactos com objetos, quedas, choques elétricos e soterramento ou desmoronamento.

Destaca-se ainda que a história econômica do Brasil é marcada por um grande processo de ocupação e exploração dos seus recursos naturais, apoiado na expansão agrícola.

Sendo assim, os ambientes naturais sofrem imensuráveis impactos originados pelo avanço da sociedade moderna, e conseqüentemente com a evolução do ser humano ocorrem alterações no espaço.

Neste sentido, este livro é dedicado aos trabalhos que investigam a engenharia civil e a relação de seus componentes sociais e, principalmente, ambientais com o crescimento autossustentado. A importância dos estudos dessa vertente é notada no cerne da produção do conhecimento, tendo em vista a preocupação dos profissionais de áreas afins em contribuir para o desenvolvimento e disseminação do conhecimento.

Os organizadores da Atena Editora agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada.

Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ANÁLISE DAS TENSÕES DE CANTONEIRAS DE AÇO FORMADAS A FRIO**

Brenda Vieira Costa Fontes

Luciano Mendes Bezerra

Valdeir Francisco de Paula

**DOI 10.22533/at.ed.7772114061**

### **CAPÍTULO 2..... 18**

#### **ANÁLISE DE ACIDENTES NA INDÚSTRIA CERÂMICA VERMELHA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO NO PERÍODO DE 2012 A 2017**

Eusinia Louzada Pereira

Vívian Silva dos Santos

Wladimir Poletti Jorge

**DOI 10.22533/at.ed.7772114062**

### **CAPÍTULO 3..... 27**

#### **ANÁLISE DE FISSURAS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO**

Rodrigue Totolo Lungisansilu

Roberta Medici Felix

Luiz Carlos Mendes

**DOI 10.22533/at.ed.7772114063**

### **CAPÍTULO 4..... 39**

#### **ANÁLISE DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO CONFORME A NORMA 12655:2015 EM UM MUNICÍPIO DO INTERIOR DO RIO GRANDE DO SUL – ESTUDO DE CASO**

Cristiane Carine dos Santos

Joice Dalla Nora

Marina Munaretto Copetti

Tássia Fanton

**DOI 10.22533/at.ed.7772114064**

### **CAPÍTULO 5..... 53**

#### **APLICAÇÃO DA GESTÃO DE RESTRIÇÕES COM USO DE TECNOLOGIA E MELHORIA CONTÍNUA EM UMA CONSTRUTORA**

Izadora Zanella Scariot Costenaro

Maria Luiza Malkowski

Fernanda Fernandes Marchiori

Ramon Roberto Deschamps

**DOI 10.22533/at.ed.7772114065**

### **CAPÍTULO 6..... 62**

#### **CASA ECOLOGICAMENTE CORRETA SEUS BENEFÍCIOS E MALEFÍCIOS SE COMPARADO A CASA CONVENCIONAL**

Kevin Kaue Garcez

**DOI 10.22533/at.ed.7772114066**

<b>CAPÍTULO 7.....</b>	<b>67</b>
<b>COEFICIENTES DE IMPACTO DINÂMICOS EM PONTES RODOVIÁRIAS: UMA AVALIAÇÃO DA NORMA BRASILEIRA EM RELAÇÃO AOS CÓDIGOS INTERNACIONAIS</b>	
Anselmo Leal Carneiro Túlio Nogueira Bittencourt	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7772114067</b>	
<b>CAPÍTULO 8.....</b>	<b>78</b>
<b>DIMENSIONAMENTO A FLEXÃO DE LAJES LISAS PROTENDIDAS SEM ADERÊNCIA UTILIZANDO CARREGAMENTO EQUIVALENTE</b>	
Anselmo Leal Carneiro Lorenzo Augusto Ruschi e Luchi	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7772114068</b>	
<b>CAPÍTULO 9.....</b>	<b>90</b>
<b>ESTUDO DE DOSAGEM E AVALIAÇÃO DE CONCRETO CELULAR ESPUMOSO COM ADIÇÃO DE CAL E CINZAS DA BIOMASSA DE EUCALIPTO COM FINS ESTRUTURAIS</b>	
Stênio Cavalier Cabral Flávio Alchaar Barbosa Eduardo Lourenço Pinto Sérgio Antônio Brum Junior Érica Cantão da Fonseca Ricardo Ramalho dos Santos Taynara Borges de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7772114069</b>	
<b>CAPÍTULO 10.....</b>	<b>103</b>
<b>GESTÃO DE RISCOS DE ACIDENTES DE TRABALHO UTILIZANDO PRINCÍPIOS DE PSICODINÂMICA DO TRABALHO</b>	
Renata Moreira de Sá e Silva Claudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.77721140610</b>	
<b>CAPÍTULO 11.....</b>	<b>114</b>
<b>INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE DOSAGEM E SUAS INTERAÇÕES SOBRE O MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO</b>	
Cristiane Carine dos Santos Denise Carpena Coitinho Dal Molin Geraldo Cechella Isaia João Ricardo Masuero André Lübeck	
<b>DOI 10.22533/at.ed.77721140611</b>	
<b>CAPÍTULO 12.....</b>	<b>129</b>
<b>PROGRAMAS DE PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS NO BRASIL E AS PERSPECTIVAS DOS PRODUTORES RURAIS</b>	
Luiz Fernando de Moura Ferreira Ingrid Moreno Mamedes	

Paulo Tarso Sanches de Oliveira  
DOI 10.22533/at.ed.77721140612

**CAPÍTULO 13..... 137**

**PROJECT DEFINITION RATING INDEX NA IDENTIFICAÇÃO DE RISCOS NA CONSTRUÇÃO**

Luigi Carissimi Boff  
Cristine do Nascimento Mutti

DOI 10.22533/at.ed.77721140613

**CAPÍTULO 14..... 147**

**TOLERÂNCIA ALTIMÉTRICA PARA APLICAÇÃO EM ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÃO**

Frederico Mercer Guimarães Junior  
Vivian da Silva Celestino Reginato

DOI 10.22533/at.ed.77721140614

**CAPÍTULO 15..... 161**

**UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA PREDITIVA: AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS NA CONSTRUÇÃO DE UM SHOPPING CENTER NO MUNICÍPIO DE ARAL MOREIRA-MS**

Fernanda Adriéli Trenkel  
Bruno Henrique Feitosa  
Léia Mendes Guedes  
Lucas Limeira Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.77721140615

**CAPÍTULO 16..... 173**

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE LAPIDÁRIO NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO DECORATIVO**

Celso Amaral Cordeiro  
Stênio Cavalier Cabral  
João Pedro Rabelo de Sousa Araújo  
Sérgio Antônio Brum Junior

DOI 10.22533/at.ed.77721140616

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 184**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 185**

## ANÁLISE DAS TENSÕES DE CANTONEIRAS DE AÇO FORMADAS A FRIO

Data de aceite: 01/06/2021

### **Brenda Vieira Costa Fontes**

UnB  
Brasília, DF, Brasil  
0000-0002-2960-5359

### **Luciano Mendes Bezerra**

UnB  
Brasília, DF, Brasil

### **Valdeir Francisco de Paula**

UnB  
Brasília, DF, Brasil

**RESUMO:** Este trabalho é um estudo numérico das tensões de cantoneiras de aço formadas a frio, conectadas por parafusos e sob carga de tração, focando na análise das tensões ao redor dos furos, estudo pouco encontrado na literatura. Devido à conexão parafusada, a cantoneira geralmente não se deforma uniformemente, surgindo então um fenômeno conhecido como *shear lag*. Tal fenômeno pode reduzir substancialmente a capacidade resistente da cantoneira comprometendo a capacidade resistente da peça sob tração. Neste artigo, foram modeladas diversas cantoneiras com a ajuda do pacote comercial de análise por elementos finitos (EF) ABAQUS, considerando a não-linearidade geométrica e de material. Foram utilizados os resultados experimentais de Paula (2006) para validar o modelo em EF. Os resultados obtidos na análise numérica foram comparados com resultados de ensaios experimentais, chegando-

se a uma boa concordância entre os mesmos. Constatou-se a viabilidade da modelagem numérica da conexão parafusada como complementação das pesquisas experimentais envolvendo perfis de chapas finas, mostrando onde efetivamente se encontram os gradientes de tensão mais elevados, dando maior entendimento ao colapso pela seção líquida efetiva.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estruturas Metálicas, Cantoneiras, Conexões Parafusadas, Coeficiente de redução da seção líquida.

**ABSTRACT:** This work is a numerical study of stresses in cold-formed tensile-loaded steel angles with bolt-connections. This research focuses in the tensions analysis around the holes. This type of study is rarely carried out among researchers. Due to bolted connection, the angle does not deform evenly, resulting in a phenomenon known as *shear lag*. This phenomenon may substantially reduce the resistant capacity of the angle under tension. In this research, several angles were modeled using the ABAQUS commercial finite element (FE) analysis package. The models considered geometric and material nonlinearities. The experimental results of Paula (2006) were used to validate the FE models. The results obtained in the numerical analysis were compared with the results of experimental tests, reaching a good agreement between them. Numerical modeling of bolted connection was found to complement the experimental research of cold-formed members, showing where the highest stress gradients are actually located explaining the net section collapse.

**KEYWORDS:** Steel Structures, Steel Angles, Bolted Connections, net section reduction coefficient.

## 1 | INTRODUÇÃO

Com o início da utilização das estruturas metálicas na construção civil no século XVIII até os dias atuais, o aço possibilitou aos engenheiros e arquitetos de todo o mundo construções mais eficientes, arrojadas, ousadas e com alta qualidade.

Hancock [1] concluiu em sua pesquisa de revisão que desenvolvimentos significativos continuam a ocorrer no projeto de membros e conexões estruturais de aço formados a frio. Isto é de se esperar, uma vez que o crescimento no uso de aço moldado a frio superou significativamente os componentes estruturais de aço laminado a quente, particularmente com o aumento do uso do aço formados a frio em construções residenciais em todo o mundo.

Os perfis de aço formados a frio começam como chapas planas de diversas espessuras, frequentemente com espessuras de até 6,35 mm, segundo Yu [2], estas chapas são enroladas e prensadas até que ganhem o tamanho e forma desejados.

Atualmente, no Brasil, está em grande uso as construções leves estruturadas em aço, também chamados de *light steel frames* (ou pórticos leves de aço), onde se pode utilizar os perfis de aço formados a frio. Dentre os tipos de conexões, a parafusada apresenta algumas vantagens sobre a soldada, como, por exemplo, a praticidade de execução, permite montagem e desmontagem da estrutura in loco, não necessita de fonte energética específica, podendo assim ser usada em qualquer lugar, e é mais resistente sob carregamento alternado. Sendo assim, a conexão é um fator de extrema importância para o bom funcionamento e segurança das estruturas, pois conecta vigas, pilares e contraventamentos.

Um dos perfis mais utilizados para realizar a conexão de peças em aço é o perfil L, também conhecidos como cantoneira, formado a frio, que apresentam extrema importância na estabilidade das estruturas. As cantoneiras são perfis compostos por duas abas simétricas ou não, formando um ângulo de 90 graus, e o efeito *shear lag* é um dos fenômenos que mais influencia na resistência da conexão em perfis formados a frio por ligações parafusadas e sob tração. Tal fenômeno ocorre quando o perfil não é conectado através de todas as suas abas, ocasionando a redução na resistência à tração da peça pela ruptura da seção líquida [3]. Segundo Salmon e Johnson [4], o fenômeno *shear lag* é uma condição de distribuição de tensões não-uniforme na vizinhança da ligação. A importância do estudo de tensões em conexões metálicas está também associada à importância das mesmas no colapso de estruturas metálicas e estruturas mistas. Mais de 90% dos colapsos em estruturas metálicas ocorrem em conexões [4]. Portanto, o entendimento do campo e dos gradientes de tensões nas conexões é essencial para a segurança das construções. Nota-

se ainda que a linha de pesquisa de conexões de aço no programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC) da Universidade de Brasília (UnB) foi recentemente premiada no Congresso IBRACON de 2018, em Foz do Iguaçu, com a melhor tese [5, 6] nesta área em 2018 voltada para conexões em estruturas mistas de aço-concreto. Portanto esta pesquisa vem a colaborar ainda mais com o entendimento dos mecanismos de ruptura e resistência das conexões em aço no PECC/UnB.

## 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Pesquisas experimentais e/ou numéricas são a seguir apresentadas relativas a alguns trabalhos de pesquisadores que consideraram o problema da quantificação da perda de eficiência da seção de uma cantoneira com conexão parafusada em razão do efeito do fenômeno *shear lag*, seja ela em perfil laminado ou formado a frio.

Paula [3] fez um estudo experimental e numérico de cantoneiras de aço formadas a frio, conectadas por parafusos e sob carga de tração, focando no efeito do fenômeno *shear lag*. A partir de uma análise estatística sobre os dados experimentais, propôs uma nova equação que quantifica a redução da eficiência da seção transversal das cantoneiras. O estudo numérico foi realizado por meio do programa ANSYS, e seus resultados foram satisfatórios. A Figura 1 ilustra um dos casos estudados por Paula [3], especificamente a cantoneira C141, um perfil 100x100, em aço COR 420, com espessura de 2,25mm e 4 seções de parafusos em uma linha. Nas análises realizadas pelo autor, concluiu-se que a equação prescrita pela norma brasileira destinada ao dimensionamento de perfis formados a frio, a NBR 14.762-2001 [7], baseada na norma norte-americana AISI-2001 [8] resulta, em um grande número de situações com valores de cargas de ruptura da seção líquida de cantoneiras superiores àqueles efetivamente encontrados nos ensaios realizados. Na citada norma, os modos de falha de esmagamento e de ruptura da seção líquida indicados para cantoneiras, não foram comprovados na maioria dos ensaios, devido, principalmente, à estimativa inadequada da carga de ruptura da seção líquida, tanto para mais como para menos. Portanto, há esta imprecisão a ser estudada na NBR 14.762-2001 [7].

Fasoulakis, Raftoyiannis e Avraam [9] realizaram análises experimental e numérica em cantoneiras de aço formadas a frio conectadas por parafusos e sob tração ou compressão. A análise numérica foi feita pelo Método dos Elementos Finitos (MEF) utilizando o software ABAQUS/CAE [10]. Os citados autores utilizaram um modelo simplificado multilinear com base nos resultados dos experimentos para os parâmetros do material e não consideraram o efeito perfil (ou seja; tensão / tensão residual) oriunda do processo da formação a frio do perfil analisado. Os citados autores adotaram como condições de contorno nós fixos para as bordas externas das placas finais, perpendiculares ao eixo longitudinal da viga. Além disso, 14 interações de contato são consideradas usando elementos de contatos superfície-superfície entre as peças: parafuso-porca-arruela-cantoneira-placa. Os elementos sólidos

C3D8R foram selecionados para a simulação das placas finas, porcas, parafusos e arruelas, enquanto os elementos C3D8I foram os preferidos para os elementos angulares.

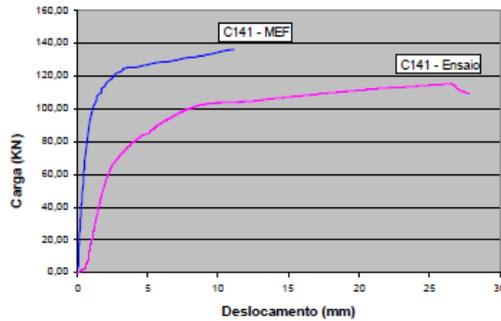


Figura 1 - Curva carga-deslocamento do ensaio e do modelo numérico da cantoneira C141 [3].

A Figura 2 mostra a configuração do ensaio experimental utilizado, paralelamente e de forma complementar, um modelo de elementos finitos. Na figura é possível observar a geometria da malha, e a comparação dos resultados obtidos comparando os dados experimentais e numéricos dos modelos C29, C30, C31 e ABAQUS, provando uma boa aproximação entre os resultados.

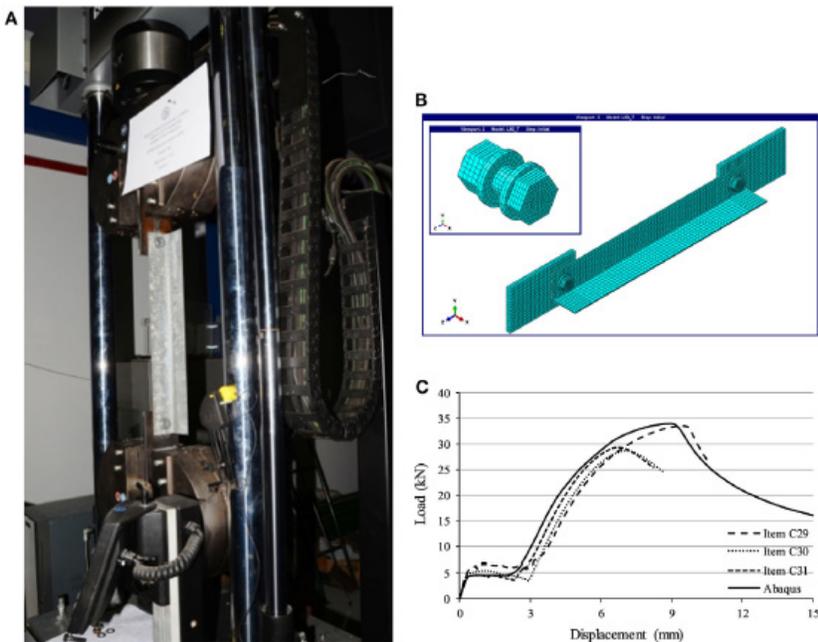


Figura 2 - Visão geral de (A) a configuração do ensaio de tração, (B) modelo do ABAQUS FEM, e (C) comparação de curvas de flambagem experimentais e numéricas para a seção transversal L45 [7].

Makeesh e Arivalagan [11] realizaram um estudo numérico pelo método dos elementos finitos utilizando o software ANSYS para simular o comportamento de cantoneiras de aço formadas a frio e sob tração com uma ou duas abas de 2mm de espessura, comparando com resultados experimentais e com normas internacionais. Eles concluíram que as cargas últimas das cantoneiras são entre 10% e 12% menores que todas as prescrições das normas internacionais NAS [12], AISI [8], AS/NZS [13] e BS [14]. Os autores concluíram também que as tensões obtidas na análise de elementos finitos indicam que ocorrem tensões máximas nos orifícios dos parafusos mais internos a partir dos quais as falhas experimentais foram iniciadas.

### 3 | MODELAGEM NUMÉRICA

Dois cantoneiras de mesmas dimensões, espessura e material foram escolhidas para serem modeladas numericamente. Os modelos experimentais ensaiados por Paula [3] foram utilizados nesse estudo para a calibração e validação do modelo numérico e se partir para diferentes análises. O experimento modelado foi a simulação de um ensaio de tração em cantoneiras de aço formadas a frio e parafusadas em chapas de fixação, sendo a carga aplicada na extremidade superior da chapa de fixação e a chapa na extremidade inferior foi presa por garras da máquina de ensaio a tração.

Neste trabalho, para o desenvolvimento do modelo numérico de tração em cantoneiras parafusadas, foi utilizado o software ABAQUS/CAE. O modelo é composto por uma cantoneira, duas chapas de fixação e a parafusos, onde a quantidade de parafusos varia de acordo com o perfil utilizado.

Os parafusos e as chapas de fixação foram modelados utilizando o elemento C3D8R. Devido à grande concentração de tensões nos furos da cantoneira, a cantoneira foi modelada com o elemento SC6R (elemento plano de casca contínua de prisma triangular de 6 nós e integração reduzida) contido na biblioteca ABAQUS [10] como *continuum shell*, sendo necessário apenas a redução do tamanho dos elementos mais próximo aos furos. A malha dos elementos no modelo é mostrada na Figura 3.

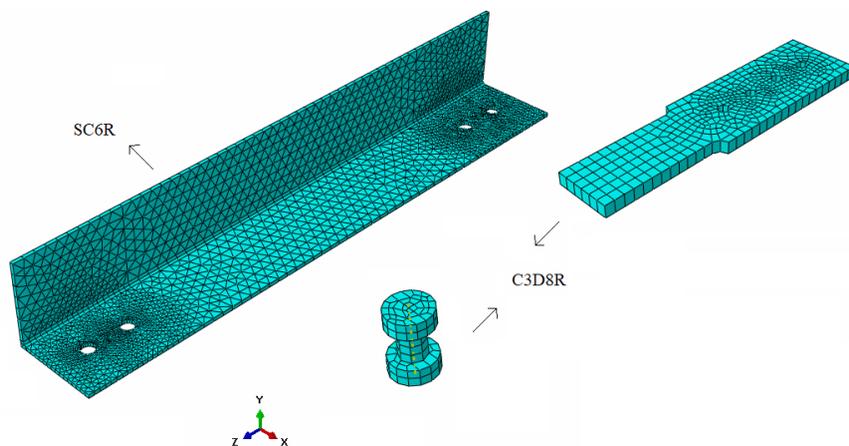


Figura 3 - Malhas e tipos de elementos finitos.

As cantoneiras foram modeladas em aço COR 420, as chapas de fixação em aço SAE 1040 e os parafusos em aço ASTM A325. A modelagem dos aços neste trabalho se concretizará com a utilização de um modelo constitutivo elástico-plástico, com escoamento isotrópico. Este modelo está disponível na biblioteca de materiais do ABAQUS [10], com a denominação PLASTIC. No modelo constitutivo elástico-plástico a resposta obtida é independente da taxa de deformação. Devido ao comportamento uniaxial implementado no modelo, consistiu na relação tensão-deformação bi-linear para todos os componentes modelados.

Na modelagem, houve interação de contato com a formulação *small sliding*, (pequeno deslizamento) com o método de discretização *surface-to-surface* (face a face), com a propriedade normal *hard* (dura). O contato foi introduzido entre a chapa de fixação e a cantoneira na extremidade da aplicação da carga, e entre o lado esquerdo da parte inferior da cabeça dos parafusos e a parte superior da cantoneira.

Houve restrição *tie* (amarração) entre as chapas de fixação e o fuste de todos os parafusos e entre o fuste dos parafusos e a cantoneira. Esta providência unifica os deslocamentos dos nós das superfícies envolvidas, desta maneira, o deslizamento entre as superfícies é eliminado, reduzindo muito a deformação da peça.

Para simular a execução do ensaio de tração nas cantoneiras, as chapas de fixação foram restringidas para deslocamentos, podendo apenas transladar na direção Z (longitudinal da peça sob tração) de aplicação da carga. A chapa de fixação travada no aparelho do experimento também foi simulada restringindo qualquer tipo de movimento nessa extremidade.

A aplicação do carregamento foi modelada como uma carga concentrada aplicada na seção transversal da chapa de fixação da extremidade livre tracionando a cantoneira.

Neste estudo, foi aplicado o método de análise estática implícita. Esse método

foi escolhido por ser uma modelagem simplificada do ensaio experimental, de modo que poucas variáveis fossem aplicadas e se tornar uma fácil utilização. A carga aplicada na simulação foi feita por meio do método de Riks, o qual usa a magnitude da carga como um adicional desconhecido; resolve simultaneamente para cargas e deslocamentos – para detalhes ver [10].

#### 4 I RESULTADOS DA ANÁLISE NUMÉRICA

Foram modeladas numericamente duas cantoneiras de aço formado a frio, sendo todas de dimensões 80x80 (mm) e espessura de 3,35mm, variando apenas a quantidade de linha de parafusos e de seções de parafusos por linha, sendo a cantoneira B231 com 3 seções de parafusos em uma linha e a cantoneira B232 com 3 seções de parafusos em duas linhas. Estes dois perfis (B231, B232) foram escolhidos por serem peças comumente encontradas na prática e com isso se poder fazer uma análise da influência da variação das tensões quando acrescentada uma segunda linha de parafusos.

A validação (ou sincronização, ajuste) do modelo em elementos finitos desenvolvido foi realizada com os ensaios de tração de Paula [3].

As curvas carga-deslocamento obtidas pelos ensaios experimentais foram comparadas com as curvas numéricas obtidas pelo Método dos Elementos Finitos (MEF), como visto nas Figura 4 e 5.

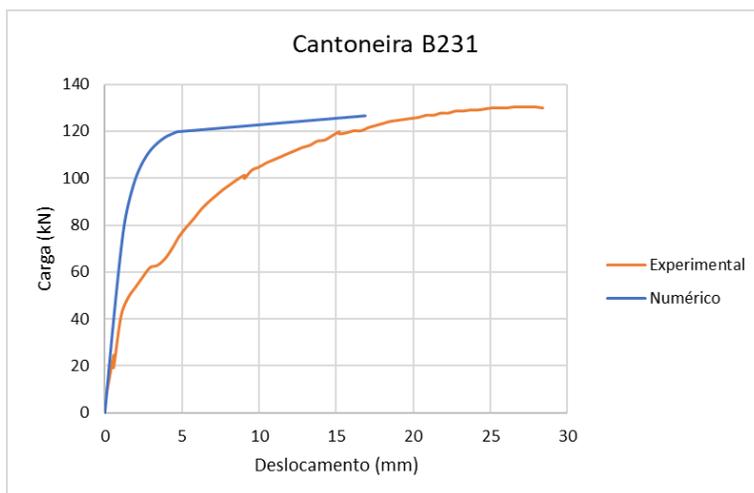


Figura 4 - Curva carga-deslocamento da cantoneira B231 modelada.

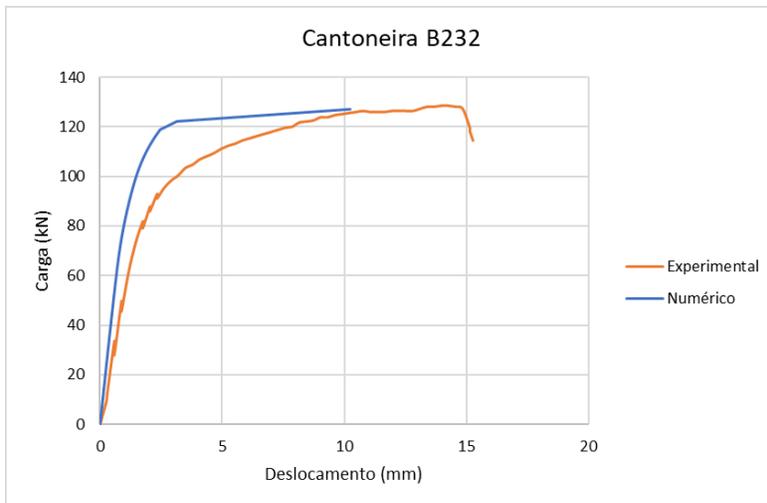


Figura 5 - Curva carga-deslocamento da cantoneira B232 modelada.

A diferença de deslocamento é justificada pela quantidade de restrições *tie* no modelo, esse tipo de restrição impede qualquer tipo de deslocamento, aumentando muito a rigidez do modelo, o que não acontece no ensaio real. Também, existe acomodação inicial dos perfis aos parafusos durante os ensaios e sensibilidade do transdutor de deslocamento a outras deformações além da deformação estritamente longitudinal (ao longo do eixo Y) e acomodação dos furos.

De qualquer maneira, é de se esperar que o modelo numérico pelo método dos elementos finitos leve a menores deslocamentos, uma vez que os deslocamentos dos ensaios incorporam os deslocamentos ocorridos após a ruptura da seção líquida (abertura da seção por onde passa o parafuso). O ajuste entre as curvas experimentais e numéricas é satisfatório para a análise das tensões e carga última na cantoneira, comprovando a eficiência do modelo de elementos finitos proposto neste estudo.

A Tabela 1 apresenta as cargas últimas das cantoneiras obtidas pelos ensaios de tração experimentais ( $P_{exp}$ ) e pela análise de elementos finitos ( $P_{MEF}$ ). Esses resultados evidenciam a eficácia do modelo de elementos finitos proposto em simular a capacidade resistente das cantoneiras, diminuindo sua precisão com o aumento do número de parafusos.

Cantoneira	$P_{exp}$ (kN)	$P_{MEF}$ (kN)	$P_{exp}/P_{MEF}$
B231	130,39	126,59	1,03
B232	128,49	127,05	1,01
Média			1,02
Coeficiente de Variação (%)			1,29

Tabela 1 - Comparação entre as cargas últimas das cantoneiras obtidas pelos ensaios experimentais e modelo numérico proposto.

A Tabela 2 apresenta as deformações das cantoneiras obtidas pelos ensaios de tração experimentais ( $D_{exp}$ ) e pela análise de elementos finitos ( $D_{MEF}$ ). Esses resultados mostram que o modelo numérico é mais rígido que os ensaios experimentais, como justificado acima, aumentando a diferença de deformações com o aumento do número de parafusos.

Cantoneira	$D_{exp}$ (mm)	$D_{MEF}$ (mm)	$D_{exp}/D_{MEF}$
B231	31,70	16,89	1,88
B232	15,27	10,24	1,49
Média			1,68
Coeficiente de Variação (%)			16,21

Tabela 2 - Comparação entre as deformações das cantoneiras obtidas pelos ensaios

Com observações experimentais dos ensaios de tração, Paula [3] constatou que o modo de ruptura das cantoneiras de aço formado a frio parafusadas e submetidas a tração consiste em ruptura da seção líquida, equivalente aos modos de falha ocorrido nas simulações numéricas.

As Figura 6 e Figura 7 mostram a distribuição das tensões de Von Mises, nas cantoneiras modeladas no momento do início da carga de ruptura nos bordos dos furos. Os furos centrais são sempre os primeiros a sofrerem o efeito da tração aplicada e são os que mais deformam, observando o início da ruptura por seção líquida devido aos altos valores de tensão concentrados nesse bordo. Confirmando a equivalência entre os modos de ruptura visualizados nos resultados das simulações numéricas e a constatação observada por Paula [3]. Uma das vantagens da análise numérica por EF de experimentos é calibrar o comportamento das espécies testadas em laboratório, tendo segurança nos resultados de outras configurações que não foram sequer testadas.

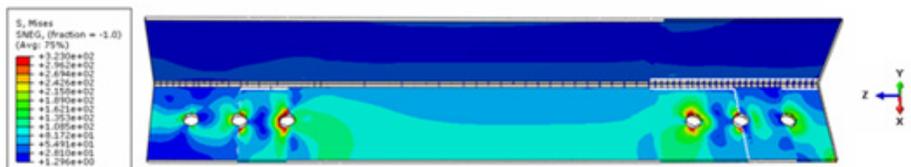


Figura 6 - Distribuição das tensões de Von Mises (em MPa) no momento do início da ruptura da seção líquida da cantoneira B231.

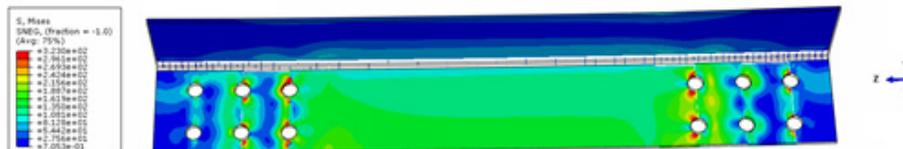


Figura 7 - Distribuição das tensões de Von Mises (em MPa) no momento do início da ruptura da seção líquida da cantoneira B232.

Comparando as Figura 8 e Figura 9, evidencia-se a conformidade entre os modos de ruptura nos ensaios experimentais e nas simulações numéricas com o modelo proposto. Observa-se a semelhança na deformação das cantoneiras para resultados numéricos e experimentais. Estes resultados demonstram a capacidade do modelo em elementos finitos proposto de simular numericamente o comportamento das cantoneiras de aço formado a frio conectadas por parafusos e submetidas a tração, comprovando o mesmo tipo de ruptura por seção líquida pela perda de capacidade decorrente do efeito *shear lag*.



Figura 8 - Deformação numérica (a) e experimental (b) da cantoneira B231 no momento de carga última.



Figura 9 - Deformação numérica (a) e experimental (b) da cantoneira B232 no momento de carga última.

Para a cantoneira B231 modelada numericamente, analisando-se a tensão longitudinal (S12 –Figura-10) no momento da deformação elástica, com carga aplicada de 20kN, temos a distribuição de tensões ao longo da cantoneira (Figura 10).

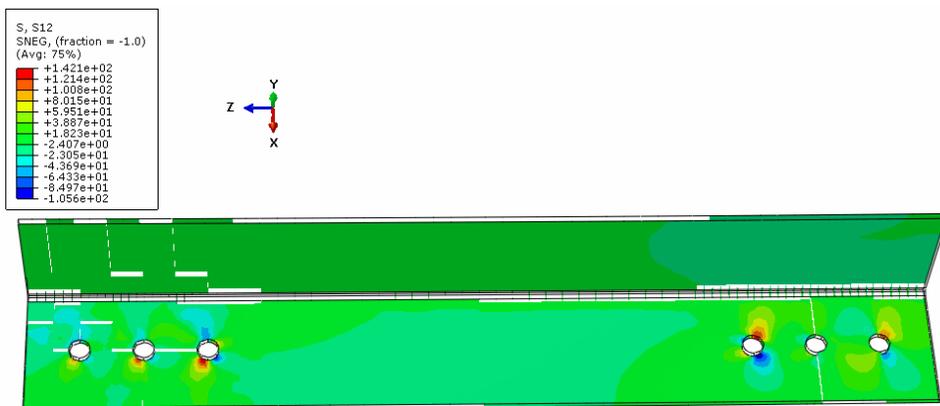


Figura 10 - Tensão longitudinal com 20kN aplicados na cantoneira B231.

De acordo com cada corte (ver linhas interceptando os parafusos nas figuras), foram elaborados os gráficos da distribuição das tensões em cortes verticais (Figuras 11, 12 e 13) e corte horizontal (Figura 14) passando pelos furos.

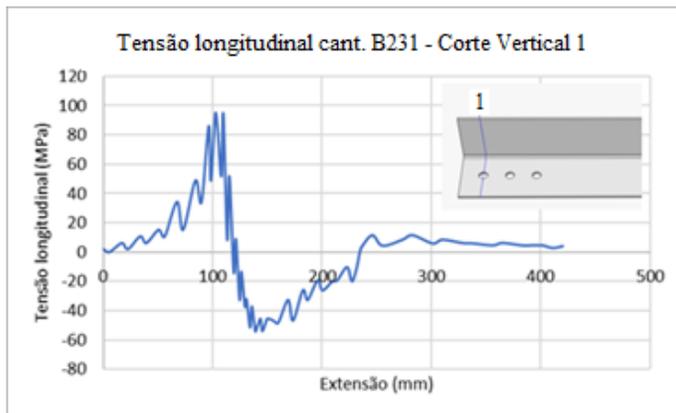


Figura 11 - Tensões no corte vertical 1 na cantoneira B231.

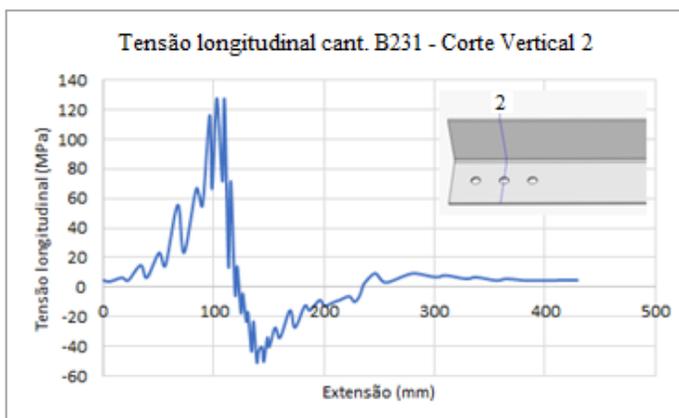


Figura 12 - Tensões no corte vertical 2 na cantoneira B231.

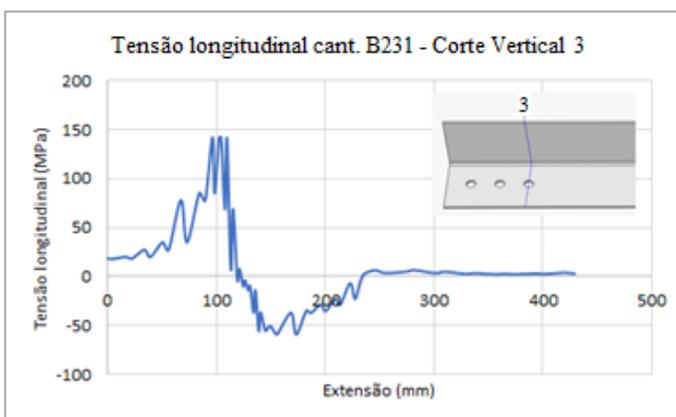


Figura 13 - Tensões no corte vertical 3 na cantoneira B231.

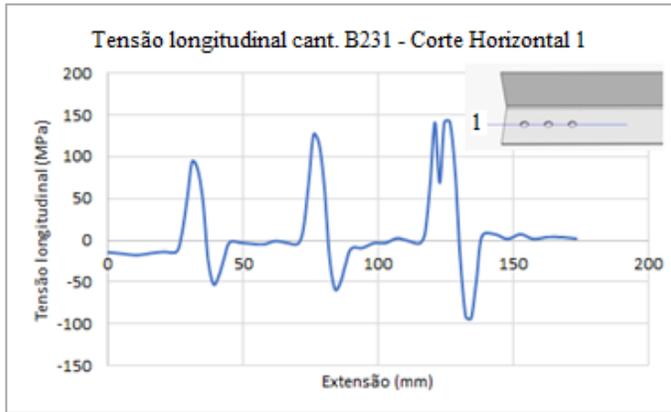


Figura 14 - Tensões no corte horizontal 1 na cantoneira B231.

Comparando o corte vertical 1, com o corte vertical 2 e com o corte vertical 3 (cada um passando por um furo), notamos que a tensão é maior no furo mais interno, 94MPa, 126MPa, 141MPa, respectivamente, uma diferença de 34% a mais do primeiro furo em relação ao segundo furo e de 11% do segundo em relação ao terceiro furo.

Observa-se no corte horizontal 1 que as tensões aumentam no furo mais interno, sendo, respectivamente, 94MPa, 126 MPa e 142MPa, bem semelhante às tensões encontradas nos cortes verticais.

Para a cantoneira B232 modelada numericamente, analisando a tensão longitudinal (S12) no momento de deformação elástica, com carga aplicada de 20kN, temos a distribuição de tensões ao longo da cantoneira (Figura 15).

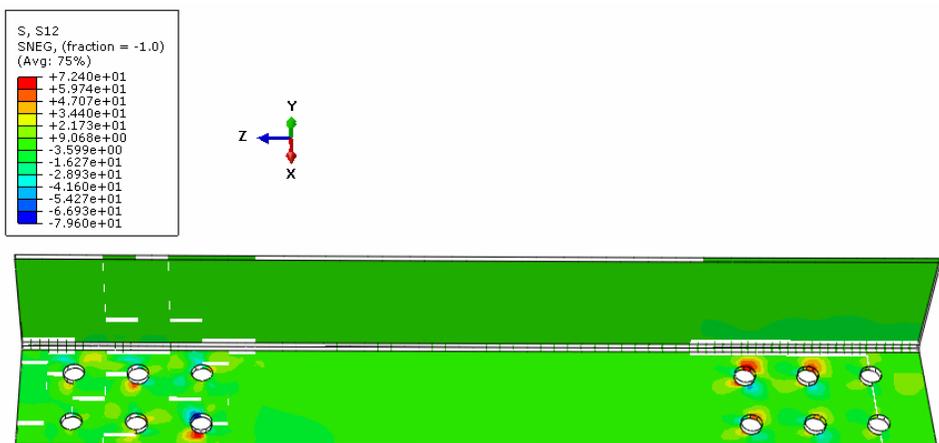


Figura 15 - Tensão longitudinal com 20kN aplicados na cantoneira B232.

De acordo com cada corte, foram elaborados os gráficos das tensões em cortes verticais (Figuras 16, 17 e 18) e cortes horizontais (Figura 19 e 20) passando pelos furos.

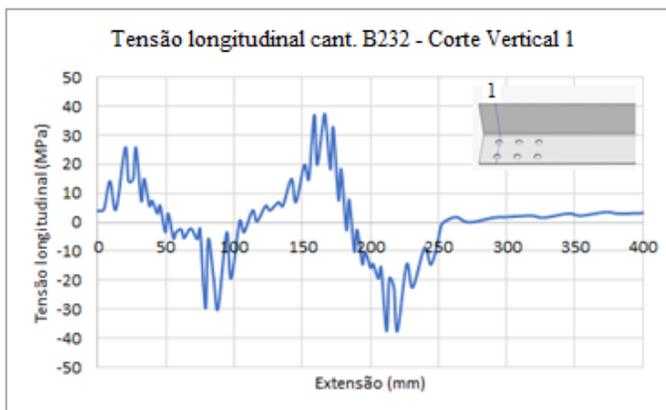


Figura 16 - Tensões no corte vertical 1 na cantoneira B232.

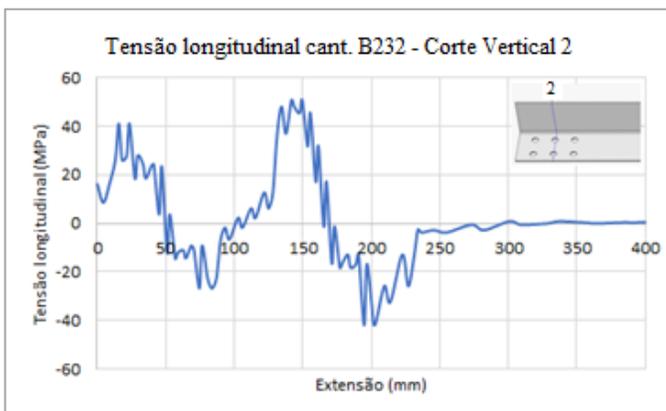


Figura 17 - Tensões no corte vertical 2 na cantoneira B232.

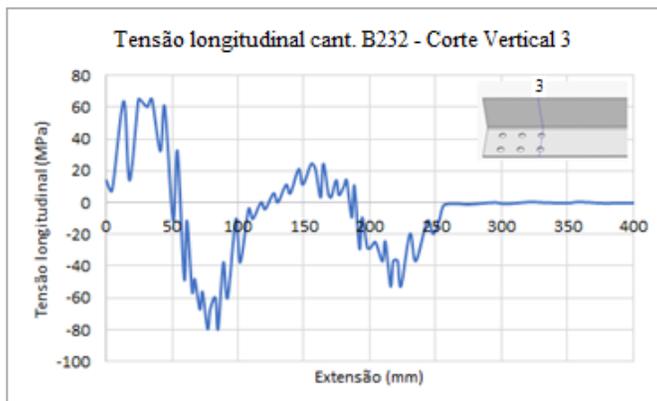


Figura 18 - Tensões no corte vertical 3 na cantoneira B232.

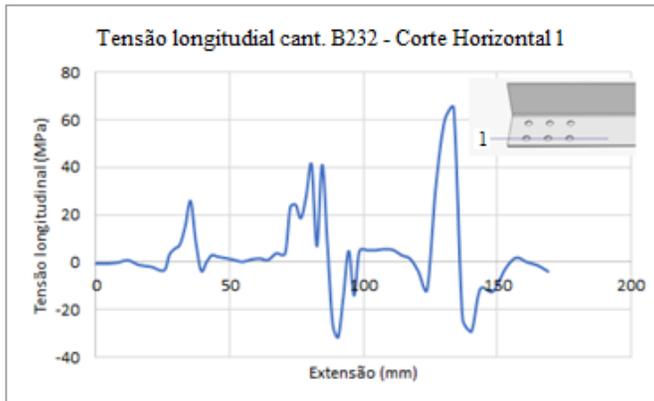


Figura 19 - Tensões no corte horizontal 1 na cantoneira B232.

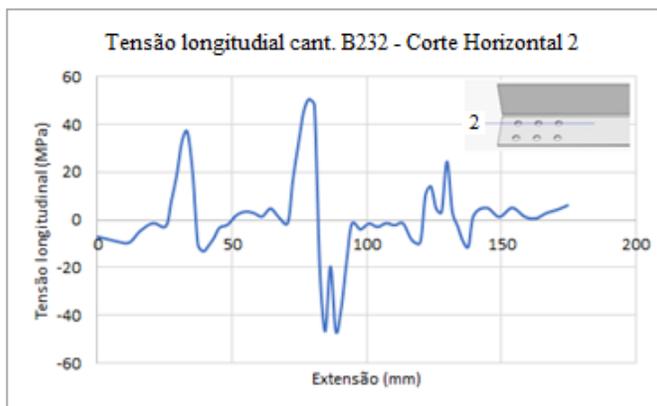


Figura 20 - Tensões no corte horizontal 2 na cantoneira B232.

Comparando o corte vertical 1, com o corte vertical 2 e com o corte vertical 3 (cada um passando por dois furos), os resultados mostram que no corte 1 as tensões são 37MPa e 26MPa para os furos 1a e 1b, respectivamente. Já no corte 2, as tensões são 50MPa e 41MPa para os furos 2a e 2b, respectivamente. No corte 3, as tensões são 25MPa e 65MPa para os furos 3a e 3b, respectivamente, com tensão maior no furo mais interno da cantoneira e mais próximo da borda da cantoneira.

Podemos perceber no corte horizontal 1 que as tensões aumentam no furo mais interno, sendo, respectivamente, 26 MPa, 41 MPa e 65 MPa, e no corte horizontal 2 as tensões são 37 MPa, 48 MPa e 25 MPa, apresentando uma diferença quando comparados aos outros casos no furo mais interno e próximo da borda.

## 5 | CONCLUSÃO

A boa concordância entre as curvas numéricas e experimentais no que diz respeito

à carga aplicada vs. deslocamento mostram que a metodologia empregada neste estudo é capaz de simular o comportamento de cantoneiras parafusadas submetidas sob tração. Apesar das condições altamente não lineares da estrutura, a análise implícita do ABAQUS/Standard foi suficiente para gerar um modelo simplificado das cantoneiras e obter resultados satisfatórios. Ao longo deste estudo, foi possível obter as seguintes conclusões: os perfis ensaiados são bem representadas pelos modelos numéricos, incorporando análises de grandes deformações e grandes deslocamentos, simulando adequadamente as tensões surgidas nas abas e nos furos das cantoneiras, que são valores compatíveis com o comportamento macro Carga vs. Deslocamento das cantoneiras analisadas. No caso com uma linha de parafusos, o orifício mais interno da cantoneira foi o primeiro a atingir a resistência última da peça. Já no caso com duas linhas de parafusos, o orifício mais interno da cantoneira e o mais próximo da borda livre foi o primeiro a atingir a resistência última da peça. Nota-se ainda que o furo que apresenta maior tensão longitudinal é sempre o mais interno da cantoneira e mais próximo da borda., isso ocorre, pois, a linha de furos mais próxima da extremidade livre apresenta menor rigidez e maior deformabilidade, absorvendo assim a maior tensão. Na deformação elástica, o aumento do número de parafusos aumenta a distribuição das tensões em cada furo, reduzindo a tensão máxima. Com o aumento da segunda linha de furos, a tensão máxima nos orifícios da cantoneira, como esperado, se reduz em 50%. Tanto no caso com três furos e com seis furos a análise de tensão mostrou as regiões da conexão mais sujeitas ao aumento ou gradiente de tensão, explicando em parte o colapso por seção líquida que se verifica em perfis formados a frio.

## REFERÊNCIAS

- [1] HANCOCK, G. J. **Cold-formed steel structures**. Journal of Constructional Steel Research, 473-487, University of Sydney, Australia, 2003.
- [2] YU, W. W. **Cold-formed Steel Design**, In New York, John Wiley e Sons, 3rd Ed, 2000.
- [3] PAULA, V. F. de. **Análise Experimental e Numérica de Cantoneiras de Aço Formadas a Frio, sob Tração e Conectadas por Parafusos**. Publicação n.º E.TD 005A/06, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 167p, 2006.
- [4] SALMON, C. G., JOHNSON, J. E. **Steel Structures, Design and Behavior**. Five Edition. New York, Harper Collins College Publishers, 2009.
- [5] BARBOSA, Wallison Carlos de Sousa. **Estudo de conectores de cisalhamento em barras de aço para vigas mistas de aço e concreto**. 2016. xxxi, 511 f., il. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- [6] Prêmio de Teses e Dissertações. In: **Revista Concreto & Construções**. n. 92. São Paulo, p. 39, 2018.

- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT (2001). NBR 14.762 – **Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio –Procedimento**. Rio de Janeiro. 2001.
- [8] AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE – AISI. **North American specification for the design of cold-formed steel structural members**. Washington DC, 2001.
- [9] FASOULAKIS, Z. C.; RAFTOYIANNIS, I. G. E AVRAAM, T. P. **Experimental and numerical study on single-bolted cold-formed angles under tension and compression**. Frontiers in Built Environment, Vol. 3(75), National Technical University of Athens, Greece, 2017.
- [10] ABAQUS, User's Manual, Version 6.14-4, **Dessault Systèmes Simulia Corp**, Providence, RI, USA, 2014.
- [11] MAKESH, A. P. E ARIVALAGAN, S. **Experimental and analytical study on behaviour of cold formed steel using angle section under tension members**. International Journal of Engineering Technologies and Management Research, 5(1), 20-28. India, 2018.
- [12] NAS (2001). **Specification for the Design of Cold-formed Steel Structural Members**, North American Specification, Washington, D.C.Google Scholar, 2001.
- [13] AS/NZS: 4600 (2005), '**Cold-formed Steel Structures**', Australia / New Zealand Standard, 2005.
- [14] BS: 5950-Part 5 (1998), '**Structural Use of Steelwork in Building-Code of practice for design of cold-formed thin gauge sections**', British Standards Institution, 1998.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aceitação 39, 40, 41, 42, 44, 45, 49, 50, 52, 98, 137

Acidente de trabalho 26, 103, 105, 113

Acidentes de trabalho 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 103, 104, 105, 106, 111

Agregado graúdo 114, 115, 116, 117, 118, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 128, 177

Ambiente 20, 54, 61, 62, 64, 66, 83, 101, 106, 107, 110, 119, 126, 128, 129, 130, 145, 161, 162, 163, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 174, 175, 176, 184

Análise estrutural 27

Areia artificial 173, 174, 177, 180, 182

### C

Cal 44, 85, 86, 87, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 97, 98, 100, 101, 119, 175, 176

Cantoneiras 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 16

Carregamento equivalente 78, 80, 81, 83, 85

Cinza de biomassa de eucalipto 90, 91

Cobrimento 27, 28, 29, 79

Coefficiente de redução da seção líquida 1

Coefficientes de impacto dinâmicos 67, 68

Concreto 3, 16, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 62, 63, 68, 70, 71, 74, 76, 77, 79, 83, 85, 86, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 167, 173, 174, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183

Concreto armado 27, 28, 29, 32, 37, 38, 41, 70, 76

Concreto celular espumoso 90, 91, 92, 94, 98, 100, 101

Conexões parafusadas 1

Consistência 39, 40, 42, 43, 45, 49, 50, 126, 179, 180, 182

Construção 2, 3, 16, 18, 19, 20, 26, 40, 44, 52, 54, 61, 62, 63, 64, 66, 78, 91, 92, 101, 102, 103, 104, 105, 107, 109, 110, 111, 113, 126, 137, 138, 142, 143, 148, 158, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 175, 176, 182, 183, 184

Construção civil 2, 3, 16, 18, 19, 20, 26, 44, 54, 61, 91, 92, 102, 103, 104, 105, 109, 110, 111, 113, 126, 138, 142, 161, 162, 163, 167, 169, 170, 171, 172, 173, 175, 176, 182, 184

Controle tecnológico 39, 40, 41, 45, 51, 52

### D

Dimensionamento a flexão 78, 88

## **E**

Engenharia civil 16, 26, 27, 52, 62, 67, 78, 90, 101, 126, 128, 129, 147, 160, 172, 177, 183, 184

Escopo 137, 138, 139, 141, 142

Estruturas metálicas 1, 2, 63

## **F**

Forma do agregado graúdo 114, 117, 120, 121, 123, 124, 125

## **G**

Gestão 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 111, 112, 131, 137, 138, 139, 141, 145, 147, 148, 170, 171, 172, 182, 183, 184

## **L**

Laje lisa 78, 88

Lajes 44, 68, 69, 72, 74, 78, 81, 83, 89

## **M**

Medidas mitigadoras 161, 168

Mosaico de pedras 173

## **N**

Nivelamento geométrico 147, 150, 151, 152, 155, 156, 157, 158, 159, 160

Nivelamento GNSS 147, 149, 152, 158, 159

## **P**

PDRI-buildings 137, 138, 140, 141, 142, 145

Pedras semipreciosas 173, 174, 178, 181

Planejamento 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 107, 139, 144, 162, 166, 184

Pontes rodoviárias 32, 67, 68, 75, 77

Prazo 41, 45, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 61, 63, 93, 139, 165, 175

Pré-projeto 137, 139, 140, 141, 145

Produtor de água 129, 136

Protensão sem aderência 78

Psicodinâmica do trabalho 103, 104, 105, 108, 112

## **R**

Resíduo de pó de lapidário 173

Resistência 2, 3, 16, 19, 28, 31, 32, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 50, 51, 52, 79, 84, 85, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 98, 100, 114, 115, 116, 119, 120, 125, 128, 173, 174, 178, 179, 180, 182

Resistência característica à compressão 41, 79, 114

Restauração ecológica 129

Restrições 8, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 148

Riscos 18, 19, 20, 24, 25, 26, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 110, 111, 112, 113, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 148, 162, 167, 184

## **S**

Segurança do trabalho 18, 19, 24, 103, 104, 105, 111, 184

Serviços ecossistêmicos 129

Sociedade 130, 131, 135, 161, 162, 163, 169

Sustentável 25, 61, 62, 63, 64, 132, 170, 172, 184

## **T**

Tecnologia 24, 26, 53, 55, 61, 90, 126, 149, 151, 159, 171, 172, 182, 183

Teor de pasta 114, 116, 119, 120, 121, 122, 125

## **V**

Vigas 2, 16, 27, 28, 29, 32, 36, 37, 38, 69, 86

# ENGENHARIA CIVIL:

**Componentes sociais e ambientais  
e o crescimento autossustentado**

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

# ENGENHARIA CIVIL:

**Componentes sociais e ambientais  
e o crescimento autossustentado**

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