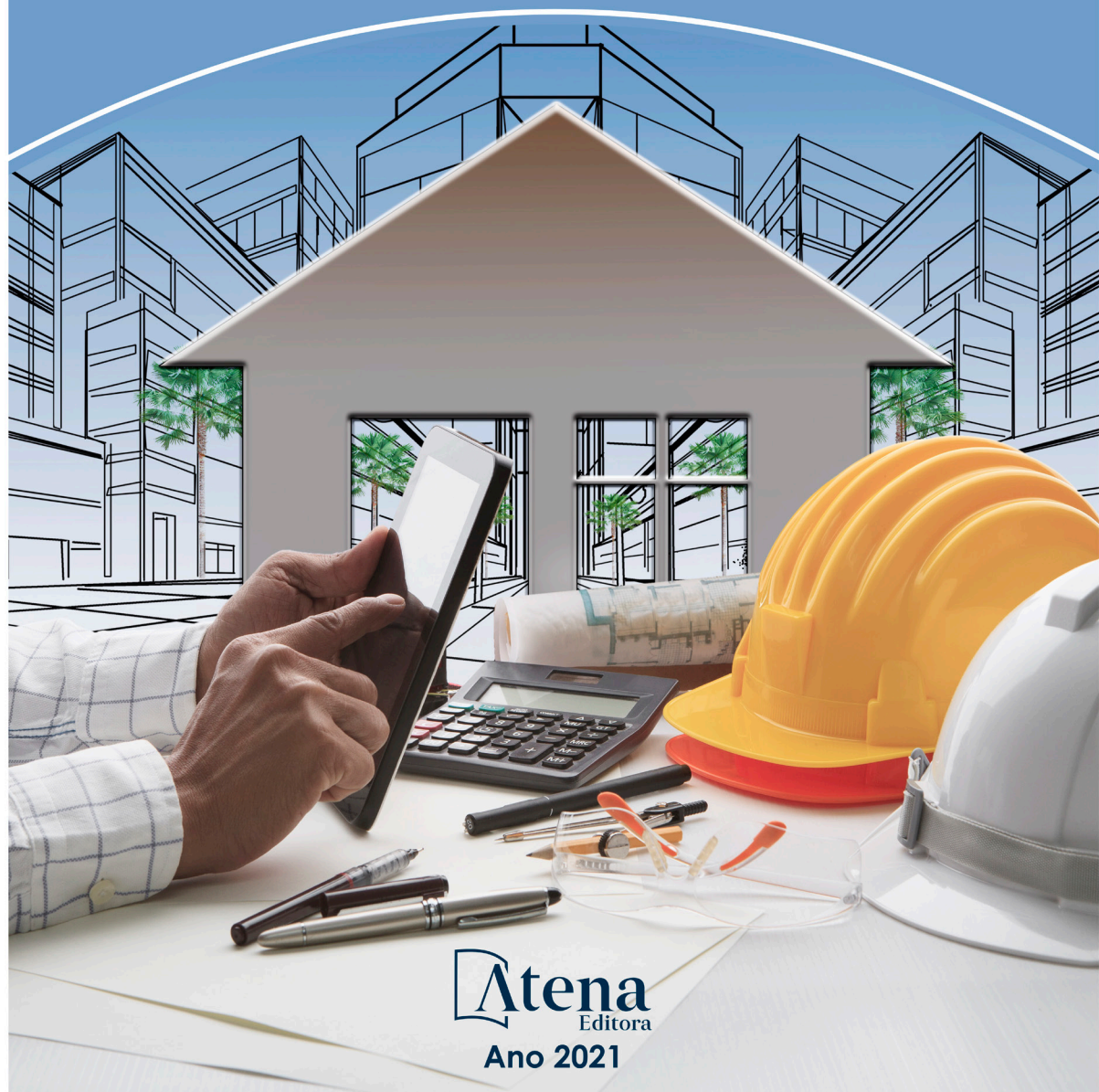


Helenton Carlos da Silva
(Organizador)

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 Cremona

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. Elói 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 Cremona
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
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

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

DIMENSIONAMENTO A FLEXÃO DE LAJES LISAS PROTENDIDAS SEM ADERÊNCIA UTILIZANDO CARREGAMENTO EQUIVALENTE

Data de aceite: 01/06/2021

Data de submissão: 25/03/2021

Anselmo Leal Carneiro

Universidade Federal do Rio de Janeiro -
Campus Macaé, Engenharia Civil
Macaé - Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/3303416737276543>

Lorenzo Augusto Ruschi e Luchi

Universidade Federal do Espírito Santo,
Departamento de Engenharia Civil
Vitória – Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/1673469347273305>

RESUMO: Este trabalho apresenta o dimensionamento a flexão de uma laje lisa protendida sem aderência. O dimensionamento é realizado de acordo com ABNT NBR 6118 (2014) e a análise ocorre por meio da analogia de grelha. Realiza-se o pré-dimensionamento da armadura ativa para então se considerar a protensão na análise por meio de cargas equivalentes lineares que são inseridas manualmente no modelo de grelha. Observa-se que o detalhamento da armadura passiva com base na norma brasileira, se mostra economicamente interessante quando se utiliza o menor consumo de cordoalhas possível haja vista a necessidade de se utilizar os valores mínimos de armadura passiva.

PALAVRAS-CHAVE: Protensão sem aderência, laje lisa, carregamento equivalente, dimensionamento a flexão.

BENDING DESIGN OF PRESTRESSED FLAT SLABS SET WITH UNBONDED TENDONS USING EQUIVALENT LOADS

ABSTRACT: This work present the bending design of a prestressed flat slab set with unbonded tendons. The design is performed according to ABNT NBR 6118 (2014) and the analysis occurs by means of grid analogy. The pre-design of the active reinforcement is performed so that the prestress in the analysis is considered by means of linear equivalent loads that are inserted manually in the grid model. It can be observed that the design based on the Brazilian standard is economically interesting when using the lower possible tendon consumption due to the need to use the minimum values of passive reinforcement.

KEYWORDS: Unbonded post-tension, flat slab, equivalent loads, bending design.

1 | INTRODUÇÃO

O sistema de lajes lisas protendidas sem aderência tem-se tornado amplamente utilizado em edificações, quando se pretende vencer, com segurança, maiores vãos, sem deixar de lado praticidade na construção e economia na estrutura. O objetivo deste trabalho é apresentar o dimensionamento a flexão de uma laje lisa protendida sem aderência (pavimento garagem da Figura 1).

A análise da laje ocorre por meio da analogia de grelha utilizando-se o sistema Grelha-TQS. O módulo de lajes protendidas do programa TQS não é utilizado. Realiza-se o pré-

dimensionamento da armadura ativa para então se considerar a protensão na análise por meio de cargas equivalentes lineares que são inseridas manualmente nos modelos de grelha. Assim, a metodologia apresentada é independente de recursos pré-estabelecidos em programas computacionais comerciais.

2 I CARACTERÍSTICAS DA LAJE ANALISADA

A espessura da laje (h) foi obtida por $L/45$, onde L é o vão da laje, de acordo com Nawy (2003), que corresponde à 22 cm para o pavimento analisado (Figura 1). Para os carregamentos considera-se o peso próprio $g_1 = 5,5 \text{ kN/m}^2$, revestimento $g_2 = 2,0 \text{ kN/m}^2$, acidental $q = 3,0 \text{ kN/m}^2$ e alvenaria de 1,50 m de altura no contorno $g_3 = 2,7 \text{ kN/m}$. Considera-se classe de agressividade ambiental II (moderada) com adequado controle de qualidade e rígidos limites de tolerância da variabilidade das medidas durante a execução. Desse modo, adota-se 3 cm para o cobrimento das cordoalhas de protensão e 2 cm para o cobrimento da armadura passiva. O concreto utilizado é o C30 (resistência característica à compressão aos 28 dias $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$) que apresenta módulo de deformação secante aos 28 dias $E_{cs} = 27000 \text{ MPa}$. Para a armadura passiva, utiliza-se o aço CA-50 ($f_{yk} = 500 \text{ MPa}$) e o aço CA-60 ($f_{yk} = 600 \text{ MPa}$). A armadura ativa utilizada é a cordoalha de sete fios engraxada e plastificada CP 190 RB 12,7 com diâmetro nominal $f_p = 12,7 \text{ mm}$, área de aço nominal $A_p = 98,7 \text{ mm}^2$, massa linear de 0,88 kg/m, carga de escoamento convencional $R_{pyk} = 168,6 \text{ kN}$ (referente à 1% de alongamento) e carga de ruptura $R_{ptk} = 187,3 \text{ kN}$.

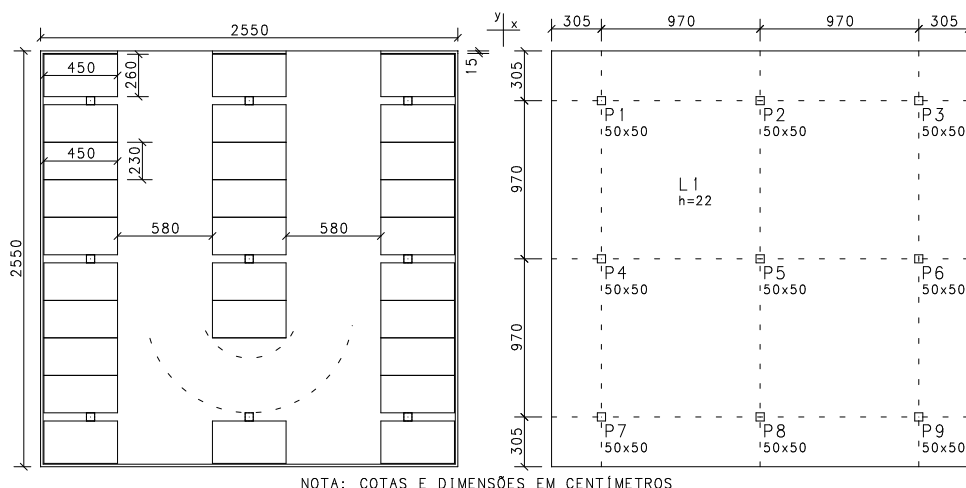


Figura 1 – Pavimento garagem

Para elevação das cordoalhas, considera-se o perfil parabólico (Figura 2) com 10% do vão ou balanço para o ponto de inflexão, onde as elevações indicam a distância do eixo da cordoalha à face inferior da laje. De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), a

tensão da armadura de protensão na saída do aparelho de tração (σ_{pi}) deve obedecer aos limites máximos de $0,88f_{pyk}$ e $0,8f_{ptk}$, onde f_{pyk} é a tensão de escoamento convencional e f_{ptk} é a tensão de ruptura. No exemplo, σ_{pi} resulta em 1518 MPa. Dessa forma, a força inicial considerada na cordoalha é de 150 kN ($151,8 \cdot 0,987 \approx 150$ kN). O cálculo das perdas médias resultou em aproximadamente 6% para as perdas imediatas e 14% para as perdas progressivas, totalizando 20% de perdas, conforme se verifica em Carneiro (2015). Dessa forma, considera-se 120 kN para a força na cordoalha no tempo “infinito” (P_∞), após todas as perdas.

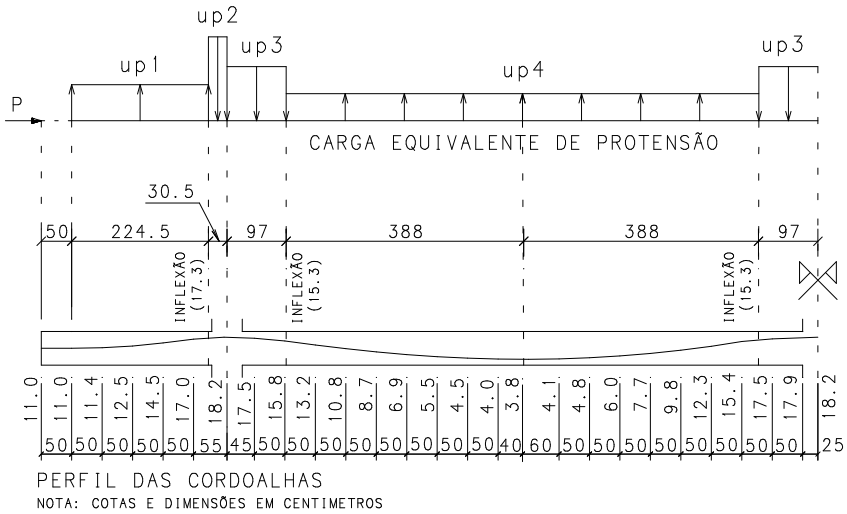


Figura 2 – Perfil (elevação) das cordoalhas e indicação do carregamento equivalente

Sendo “P” a força na cordoalha, “f” a flecha do perfil da cordoalha (diferença de elevação do trecho analisado) e “l” o comprimento do trecho de parábola do perfil, o carregamento equivalente de protensão “ u_p ” é dado pela expressão (1), conforme indicado por Lin e Burns (1981).

$$u_p = \frac{8Pf}{l^2} \quad (1)$$

Em geral, utilizam-se agrupamentos de cordoalhas denominados feixes, que podem constituir grupos de duas, três ou quatro cordoalhas. A Tabela 1 apresenta o carregamento equivalente (u_p), auto equilibrado, de acordo com a Figura 2, para feixes de duas e três cordoalhas no tempo “infinito”. A convenção é que o carregamento positivo atua no sentido gravitacional. Foi utilizada a expressão (1) com $l=2l_s$, onde l_s corresponde aos comprimentos dos trechos de semiparábolas (cotas horizontais na Figura 2).

u_p (kN/m)	u_{p1}	u_{p2}	u_{p3}	u_{p4}
feixes de 2 cordoalhas	-6,00	46,44	14,79	-3,67
feixes de 3 cordoalhas	-9,00	69,66	22,19	-5,50

Tabela 1 - Cargas equivalentes de protensão por feixe após todas as perdas

Os esforços obtidos a partir da carga equivalente incluem o efeito isostático e o efeito hiperestático de protensão. O efeito isostático ou momento primário é obtido através do produto entre a força “P” e a excentricidade da cordoalha “ e_p ”. Em estruturas hiperestáticas, as vinculações ao impedirem a livre deformação do elemento, originam esforços adicionais denominados de hiperestáticos de protensão. A determinação do momento hiperestático pode ser feita, de forma aproximada, subtraindo o momento isostático do momento obtido do carregamento equivalente “ M_{up} ”, conforme apresenta a equação (2).

$$M_{hiper} = M_{up} - P e_p \quad (2)$$

3 I ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DA LAJE

3.1 Método da grelha equivalente

O processo de analogia de grelha substitui a placa (laje) por uma grelha equivalente bidirecional composta de elementos de barra. O método de analogia de grelha permite inserir os carregamentos equivalentes no modelo, onde, de fato, estão localizados os feixes de cordoalhas na laje. Para cada feixe de cordoalha, são inseridas a cargas equivalentes lineares da Tabela 1. Para modelagem e resolução da grelha, utiliza-se o sistema Grelha-TQS com barras espaçadas em 50 cm, onde os carregamentos equivalentes de protensão foram inseridos manualmente no modelo. Assim, a metodologia utilizada neste trabalho é independente de recursos pré-estabelecidos em programas computacionais comerciais de lajes protendidas.

Em lajes lisas modeladas como grelhas, a análise das tensões e o detalhamento da armadura de flexão são realizados por meio de regiões (faixas de projeto) da laje. Em geral, são determinados os momentos médios das barras da grelha contidas nas regiões. Neste trabalho, consideram-se as faixas de projeto conforme a orientação de Aalami e Kelley (2001), onde a faixa de projeto é compreendida de centro a centro de painéis de laje adjacentes. Em cada faixa de projeto são obtidos valores médios de momento fletor por metro da laje. A Figura 3 apresenta a delimitação das faixas de projeto consideradas de acordo com as regiões A e B, nas direções x e y da laje, e o esquema do diagrama de momentos fletores (para as faixas na direção y).

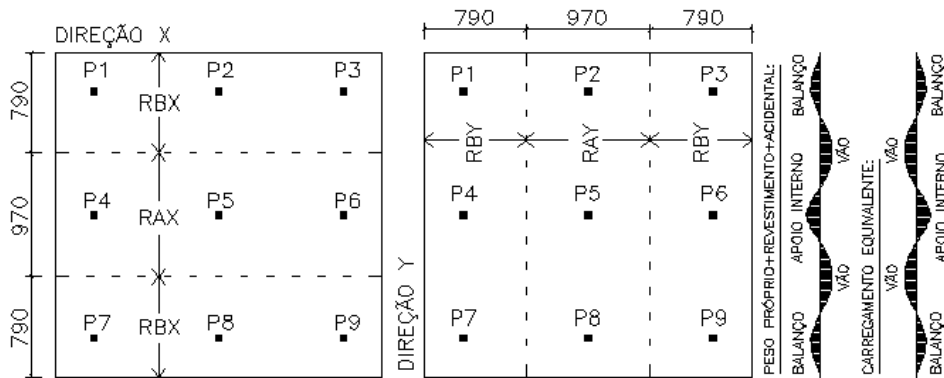


Figura 3 – Faixas de projeto (dimensões em centímetros)

3.2 Cálculo da quantidade de cordoalhas

Conhecido o perfil da cordoalha, a expressão (1) possibilita determinar a força de protensão “P” por metro de laje necessária para equilibrar determinada parcela “ q_b ” da carga externa aplicada por metro quadrado de laje. Aalami e Jurgens (2003) orientam balancear entre 60% e 80% da carga permanente, considerando o carregamento externo integralmente para cada direção da laje. Escolhendo o balanceamento de 60% da carga permanente, deve-se balancear a carga distribuída de 4,5 kN/m² e a carga linear de alvenaria do balanço de 1,62 kN/m. Assim, para uma faixa de largura unitária (1 m), a força de protensão necessária, de acordo com a expressão (1), com $q_b = u_p$ e $l = 2l_s$, é dada pela Tabela 2.

No balanço	No vão
$\frac{\left(4,5 + \frac{1,62}{2,245}\right) \cdot (2,2,245)^2}{8 \cdot (0,173 - 0,11)} \cong 209 \text{ kN/m}$	$\frac{4,5 \cdot (2,388)^2}{8 \cdot (0,153 - 0,038)} \cong 295 \text{ kN/m}$

Tabela 2 - Força de protensão (P_∞) necessária, por metro de laje, para balanceamento de 60% da carga permanente

Deve-se adotar “ P_∞ ” como sendo o maior valor obtido entre o balanço e o vão. Assim, considerando-se o valor de 295 kN/m, verifica-se que para cada direção da laje de 25,5 m são necessárias 63 cordoalhas com força, após todas as perdas, de 120 kN cada. Considerando feixes de duas cordoalhas, são necessários 32 feixes em cada direção da laje, totalizando 64 cordoalhas em cada direção. A tensão média de compressão na laje é dada por 1,4 MPa (64.1200/2550.22), que por sua vez atende a tensão de compressão média mínima de 1 MPa recomendada pela ABNT NBR 6118 (2014). Considerando o comprimento de 26 m para cada cordoalha, o índice de massa das 128 cordoalhas por

metro quadrado de área do pavimento é de, aproximadamente, 4,5 kg/m². Emerick (2005) apresenta que para valores práticos de projeto, esse consumo gira em torno de 4 kg/m² para lajes lisas com vãos entre 7 e 9 metros. Como o pavimento proposto possui vão de 9,70 m, o índice de consumo obtido está coerente.

Para distribuição das cordoalhas utiliza-se a recomendação do ACI 423 (1996) que orienta que o número de cabos necessário para a faixa de projeto (centro a centro de painéis de laje adjacentes) deve ser concentrado sobre os pilares em uma direção e distribuídos na outra. Empregando-se a distribuição “concentrados e uniformes”, a Figura 4 ilustra a distribuição dos feixes de cordoalhas onde são considerados feixes de duas e três cordoalhas. Na direção dos “concentrados” utilizam-se 20 cordoalhas para a faixa de 7,90 m compreendida da borda ao centro do painel de laje (faixa RB na Figura 3) e 24 cordoalhas para a faixa de 9,70 m compreendida de centro à centro de painéis de laje (faixa RA na Figura 3). Utilizam-se espaçamentos mínimos práticos de 20 cm e 25 cm para feixes de duas e três cordoalhas, respectivamente. Na direção dos “uniformes”, os 32 feixes de duas cordoalhas são espaçados em 80 cm (2550/32). Foram considerados dois feixes no alinhamento dos pilares centrais de modo a permitir simetria na distribuição. Na análise da grelha equivalente, os carregamentos equivalentes por feixe da Tabela 1 são inseridos para cada linha de feixe da Figura 4.

3.3 Verificação do estado-limite de deformação excessiva (ELS-DEF)

A flecha final δ , para a combinação quase permanente, é dada pela expressão (3), onde $\psi_2=0,6$. Nessa expressão, δ_{g1} se refere ao peso próprio, δ_{up} ao carregamento equivalente no tempo “infinito”, δ_{g2} ao revestimento, δ_{g3} à alvenaria, δ_q à carga acidental e φ é o coeficiente de fluência.

$$\delta = (1 + \varphi_1) (\delta_{up} + \delta_{g1}) + (1 + \varphi_2) (\delta_{g2} + \delta_{g3}) + \Psi_2 \delta_q \quad (3)$$

Para determinar o coeficiente de fluência de acordo com os valores da Tabela 3, extraídos da ABNT NBR 6118 (2014), considera-se umidade ambiente de 75%. Por meio da área da seção transversal de toda a laje ($A=2550.22$) e do perímetro da seção em contato com a atmosfera ($u=2.2550+2.22$), a espessura fictícia ($2A/u$) é de, aproximadamente, 20 cm.

Umidade média ambiente (%)		40		55		75		90	
Espessura fictícia		20	60	20	60	20	60	20	60
2A/u (cm)									
t ₀ (dias)	5	4,6	3,8	3,9	3,3	2,8	2,4	2,0	1,9
	30	3,4	3,0	2,9	2,6	2,2	2,0	1,6	1,5
	60	2,9	2,7	2,5	2,3	1,9	1,8	1,4	1,4

Tabela 3 - Coeficientes de fluência $\varphi(t_{\infty}, t_0)$ para concreto das classes C20 a C40 (ABNT NBR 6118 (2014))

Adotando-se que os carregamentos de revestimento e alvenaria são aplicados 60 dias após a concretagem da laje e sabendo-se que a protensão aplicada aos 5 dias mobiliza também o peso próprio, o coeficiente de fluência, de acordo com a Tabela 3, assume o valor de $\varphi_1=2,8$ para protensão e peso próprio (5 dias) e $\varphi_2=1,9$ para revestimento e alvenaria (60 dias). Na Figura 4, apresenta-se os deslocamentos da grelha equivalente de acordo com a expressão (3).

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014), o limite para deslocamentos visíveis da laje, de acordo com a aceitabilidade sensorial, é $L/250$, sendo L o comprimento do vão, e $2L_{ba}/250$, sendo L_{ba} o comprimento do balanço. Assim, para o pavimento analisado os deslocamentos limites para o vão e o balanço são dados, respectivamente, por 3,8 cm ($970/250$) e 2,4 cm ($610/250$). Na Figura 4, verifica-se que os deslocamentos limites são atendidos, sendo que a flecha final máxima para a combinação quase-permanente no balanço é de 1,8 cm e no vão é de 3,1 cm.

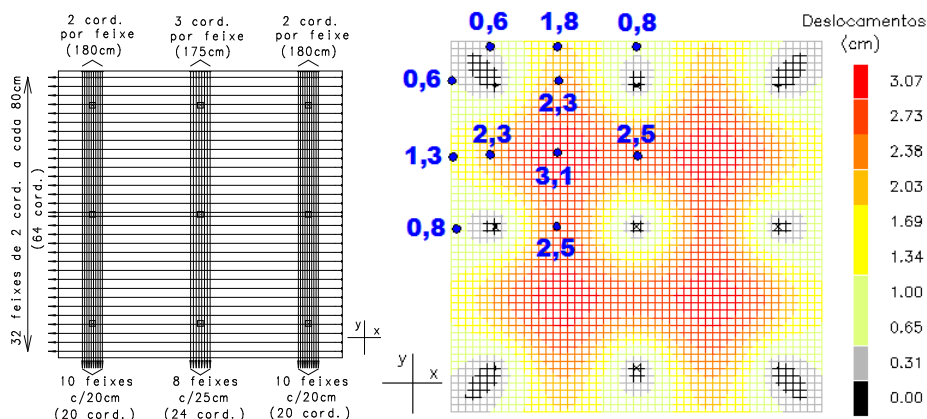


Figura 4 – Distribuição dos feixes de cordoalhas na laje e deslocamentos (em centímetros)

3.4 Verificação de tensões

O cálculo das tensões para a combinação frequente de serviço, na borda superior e inferior da laje, é realizado de acordo com a Equação (4), em que “ M_{CF} ” se refere ao momento fletor para combinação frequente, “A” se refere a área da seção analisada ($A=b \cdot h$, sendo “b” a largura da seção e “h” a espessura da laje), “W” se refere aos módulos de resistência à flexão ($W=bh^2/6$ para seção retangular) e P_{∞} se refere à força normal devido à força de protensão nas ancoragens no tempo “infinito”.

$$\sigma = \frac{M_{CF}}{W} + \frac{P_{\infty}}{A} \quad (4)$$

O momento fletor para a combinação frequente é apresentado na equação (5),

em que $\psi_1=0,7$ (pavimento garagem) e M_{g1} , M_{up} , M_{g2} , M_{g3} e M_q são momentos fletores provenientes, respectivamente, dos carregamentos de peso próprio, do carregamento equivalente após todas as perdas, do revestimento, da alvenaria e da carga accidental.

$$M_{CF} = M_{g1} + M_{up} + M_{g2} + M_{g3} + \Psi_1 M_q \quad (4)$$

Desenvolvendo a análise de tensões para o combinação frequente verifica-se que as regiões de momento negativo da laje referente aos apoios internos (Figura 3) não atendem o estado limite de formação de fissuras, ou seja, as tensões de tração relativas aos apoios internos são sempre maiores que 3,04 MPa (resistência à tração na flexão, $f_{ct,f}$, para concreto C30). A tensão máxima obtida é de 4,11 MPa e se refere à faixa de projeto “RA” na Figura 3. Assim, trata-se de uma laje com protensão parcial, em que a verificação da abertura de fissuras deve ser realizada. Os valores das tensões em serviço para as demais regiões da laje, as tensões no ato da protensão e a verificação da abertura de fissuras podem ser verificadas em Carneiro (2015).

3.5 Dimensionamento da armadura passiva

O momento solicitante de cálculo (M_{sd}) para combinação última normal é dado pela expressão (5), onde M_{hiper} se refere ao momento hiperestático de protensão. O coeficiente de majoração para o hiperestático de protensão (γ_{hiper}) assume o valor de 1,2 para ação desfavorável e 0,9 para ação favorável. O coeficiente de majoração para as demais ações (γ_i) assume o valor de 1,4 para ação desfavorável e 1,0 para ação favorável.

$$M_{sd} = \gamma_f(M_{g1} + M_{g2} + M_{g3} + M_q) + \gamma_{hiper}M_{hiper} \quad (5)$$

Com o momento solicitante de cálculo, efetua-se o dimensionamento da armadura passiva por meio do equilíbrio da seção protendida submetida a flexão simples, obedecendo o limite de 0,45 para a razão entre a profundidade da linha neutra “x” e a altura útil da armadura. O acréscimo de tensão na armadura ativa é calculada de acordo com a expressão (6), presente na ABNT NBR 6118 (2014) para relação vão/altura útil maior que 35. Nessa expressão valor de f_{ck} deve ser inserido em MPa e $\rho_p = A_p / (b \cdot d_p)$, onde “ A_p ” a área de armadura ativa, “b” a largura da seção e “ d_p ” a altura útil da armadura ativa.

$$\Delta\sigma_p = 70 + f_{ck}/300 \rho_p \leq 210 \text{ MPa} \quad (6)$$

A Tabela 4 apresenta o momento solicitante de cálculo (M_{sd}) e a área de aço calculada de armadura passiva ($A_{s,cal}$). Os momentos devido ao carregamento equivalente M_{up} e os momentos devido aos demais carregamentos $M_{(g1+g2+g3+q)}$ são valores médios de acordo com os valores dos momentos obtidos das barras da grelha equivalente contidas nas faixas de projeto. O momento hiperestático M_{hiper} é calculado conforme a equação (2).

			$M_{(g1+g2+g3+q)}$ (kNm/m)	g_i	M_{up} (kNm/m)	M_{isost} (kNm/m)	M_{hiper} (kNm/m)	g_{hiper}	M_{sd} (kNm/m)	$A_{s,cal}$ (cm ² /m)
DIREÇÃO X	RAX	Balanço	-62,00	1,4	28,60	21,6	6,98	0,9	-80,52	3,67
		Vão	47,80	1,4	-21,60	-21,6	0,02	1,2	66,94	1,80
		Apoio interno	-79,80	1,4	33,20	21,6	11,58	0,9	-101,30	6,63
	RBX	Balanço	-64,20	1,4	29,80	21,6	8,18	0,9	-82,50	3,94
		Vão	49,80	1,4	-23,20	-21,6	-1,58	0,9	68,30	1,98
		Apoio interno	-80,00	1,4	32,60	21,6	10,98	0,9	-102,12	6,75
DIREÇÃO Y	RAY	Balanço	-62,00	1,4	28,00	22,0	6,10	0,9	-81,32	3,67
		Vão	23,90	1,4	-22,20	-22,0	-0,30	0,9	66,66	1,67
		Apoio interno	-47,80	1,4	33,20	22,0	11,30	0,9	-101,56	6,57
	RBY	Balanço	-64,20	1,4	26,00	21,4	4,64	0,9	-85,70	4,43
		Vão	49,80	1,4	-22,00	-21,4	-0,64	0,9	69,14	2,14
		Apoio interno	-80,00	1,4	30,20	21,4	8,84	0,9	-104,04	7,08

Tabela 4 - Momento solicitante de cálculo e área de aço calculada para a armadura passiva

3.6 Detalhamento da armadura passiva

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), a armadura passiva superior sobre os apoios deve ter valor mínimo de $0,00075hl$, onde “h” é a espessura da laje e L é o vão médio na direção da armadura. Essa armadura deve estar contida numa faixa de distribuição compreendida pela dimensão dos apoios acrescida de 1,5h para cada lado. Assim, para o pavimento proposto a armadura passiva mínima sobre os apoios resulta em 13,8 cm²/m, podendo-se utilizar barras de 12,5 mm espaçadas a cada 8 cm ($\phi 12,5\text{mm c}/8\text{cm}$).

Os valores mínimos de armadura passiva positiva devem obedecer as condições da Tabela 5, onde ρ_{min} é a taxa geométrica mínima de armadura de flexão em vigas, ρ_p é da taxa geométrica da armadura de protensão e ρ_s é a taxa geométrica da armadura passiva. Para o concreto utilizado ($f_{ck} = 30$ MPa), ρ_{min} assume o valor de 0,15%, de acordo com a ABNT NBR 6118 (2014). Para o pavimento proposto tem-se $\rho_p = 0,11\%$ ($64,0,987/2550,22$). Com base nos valores indicados na Tabela 5, pode-se utilizar tela soldada CA-60 com $\phi 5,0$ mm c/10 cm (1,96 cm²/m que equivale a 2,35 cm²/m de aço CA-50) para a armadura positiva.

	Armadura inferior (positiva)
$\rho_s \geq$	$0,5\rho_{\min} \Rightarrow 0,5 \cdot 0,0015 = 0,075\%$
	$\rho_{\min} - 0,5\rho_p \Rightarrow 0,0015 - 0,5 \cdot 0,0011 = 0,095\%$

Tabela 5 - Taxas mínimas de armadura passiva positiva

A distribuição da armadura passiva superior calculada ($A_{s,cal}$) para determinada região (faixa de projeto) da laje (à direita na Figura 5), consiste em utilizar armadura $\phi 10,0\text{mm c}/30\text{cm}$ para as faixas 1 e 3 e o restante da área de aço calculada para a faixa do pilar (faixa 2), obedecendo à área de aço mínima sobre os apoios ($13,8 \text{ cm}^2/\text{m}$). Sobre os apoios considera-se como área de aço máxima a armadura de $\phi 16\text{mm c}/8\text{cm}$, uma vez que o aspecto construtivo de posicionamento das barras pode ficar comprometido ao se utilizar diâmetros de barras maiores ou espaçamentos menores. Assim, se a armadura a ser distribuída na faixa do pilar (faixa 2) for maior que $25,13 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\phi 16\text{mm c}/8\text{cm}$), utiliza-se a armadura máxima nessa faixa e o restante é distribuído nas faixas 1 e 3, obedecendo à área de aço $\phi 10,0\text{mm c}/30\text{cm}$.

Para a largura da faixa do pilar, é utilizada a prescrição da antiga norma ABNT NBR 7197 (1989) (cancelada), que orientava uma taxa maior de armadura negativa distribuída em 10% do vão para cada lado do eixo do apoio. Logo, de forma conservadora em relação a largura total da faixa mínima de 116 cm (1,5h para cada lado da face do apoio), a faixa do pilar assume a largura de 200 cm, ou seja, 100 cm para cada lado do eixo do apoio.

O comprimento das barras superiores para o balanço é considerado como o dobro do comprimento do balanço ($2 \cdot 305 = 610 \text{ cm}$) e para as demais barras superiores o comprimento é tomado em um quarto do vão para cada lado ($970 \cdot 0,25 \approx 500 \text{ cm}$).

A Figura 5 apresenta o detalhamento das armaduras negativas (superiores) para um quarto do pavimento. Em relação a armadura positiva (inferior), é suficiente utilizar tela soldada CA-60 com $\phi 5,0\text{mm c}/10\text{cm}$ que possui massa de $3,1 \text{ kg}/\text{m}^2$. O índice de massa por metro quadrado de área do pavimento de armadura passiva total (inferior e superior) é de, aproximadamente, $8,7 \text{ kg}/\text{m}^2$, sendo $3,1 \text{ kg}/\text{m}^2$ referente a armadura positiva mínima e $5,6 \text{ kg}/\text{m}^2$ referente a armadura negativa. Outras opções para o detalhamento da armadura passiva podem ser verificadas em Carneiro (2015).

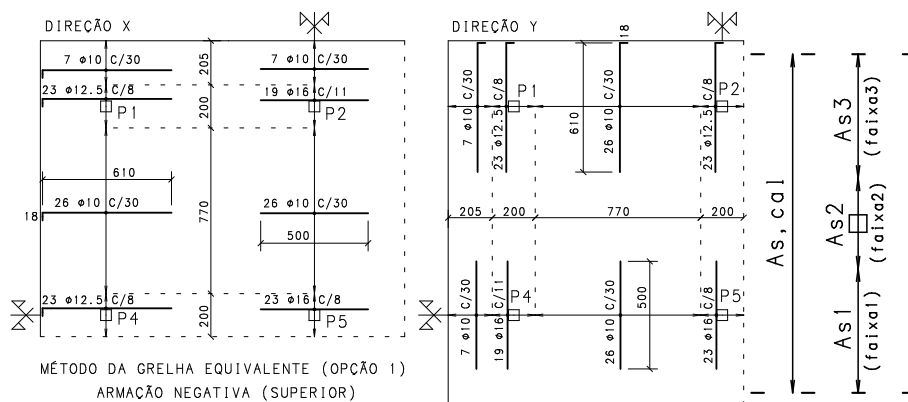


Figura 5 – Detalhamento da armação superior e indicação das faixas de distribuição de armadura

Em relação a custos, observa-se no mercado que o que o custo, por quilo, do CA-50 é aproximadamente, 60% do custo da cordoalha CP 190 RB 12,7. Assim, desde que atendidos os estados limites últimos e de serviço, só seria interessante aumentar a quantidade de cordoalhas, se esse aumento provocasse uma economia no consumo de armadura passiva CA-50 de no mínimo o valor do aumento do consumo de cordoalhas multiplicado por 1,67 (1/0,6). Essa economia no consumo de armadura passiva é difícil de ocorrer em função da necessidade de se utilizar os valores mínimos de armadura passiva indicados pela ABNT NBR 6118 (2014).

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o dimensionamento a flexão de uma laje lisa protendida sem aderência, em que cargas equivalentes de protensão foram inseridas manualmente no modelo de grelha. Foi possível notar que o detalhamento da armadura passiva com base na norma brasileira, se mostra economicamente interessante quando se utiliza o menor consumo de cordoalhas possível haja vista a necessidade de se utilizar os valores mínimos de armadura passiva.

REFERÊNCIAS

AALAMI, B. O.; KELLEY, G. S. **Design of Concrete Floors with Particular Reference to Post-Tensioning**. Post-Tensioning Institute, n.11, Arizona, 2001, 16 p.

AALAMI, B. O.; JURGENS, J. D. **Guidelines for the Design of Post-Tensioned Floors**. Concrete International, 2003; p.77-83.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Recommendations for Concrete Members Prestressed with Unbonded Tendons** - ACI 423.3R, Farmington Hills, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de Estruturas de Concreto. – Procedimento.** - NBR 6118, Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de Estruturas de Concreto Protendido. – Procedimento.** - NBR 7197, Rio de Janeiro, 1989.

CARNEIRO, A. L. **Análise e Dimensionamento de Lajes Lisas Protendidas sem Aderência.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015, 159 p.

EMERICK, A. A. **Projeto e Execução de Lajes Protendidas.** 1. ed. Brasília: Interciência, 2005, 192 p.

LIN, T. Y.; BURNS, N. H. **Design of Prestressed Concrete Structures.** New York: John Wiley & Sons, 3ed, 1981, 646 p.

NAWY, E. G. **Prestressed Concrete – A Fundamental Approach,** New Jersey: Prentice Hall, 4ed, 2003, 939 p.

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

ENGENHARIA CIVIL:

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

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