



Franciele Braga Machado Tullio  
Lucio Mauro Braga Machado  
(Organizadores)

# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

4

**Atena**  
Editora  
Ano 2020



Franciele Braga Machado Tullio  
Lucio Mauro Braga Machado  
(Organizadores)

# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

4

**Atena**  
Editora  
Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

**Editora Chefe:** Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
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. 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  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
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 Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

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

Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **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. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof<sup>a</sup> Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof<sup>a</sup> Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof<sup>a</sup> Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Prof<sup>a</sup> Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof<sup>a</sup> Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
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  
Prof<sup>a</sup> Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof<sup>a</sup> Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
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 Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
 Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
 Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
 Prof. Me. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
 Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
 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. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
A642	<p>A aplicação do conhecimento científico na engenharia civil 4 [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Braga Machado Tullio, Lucio Mauro Braga Machado. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF            Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.            Modo de acesso: World Wide Web.            Inclui bibliografia            ISBN 978-65-5706-171-8            DOI 10.22533/at.ed.718200907</p> <p>1. Engenharia civil – Pesquisa – Brasil. 2. Construção civil.            I. Tullio, Franciele Braga Machado. II. Machado, Lucio Mauro Braga.</p> <p style="text-align: right;">CDD 338.4769</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

A obra “Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil 4” conta vinte e um capítulos sobre estudos realizados nas diversas áreas da engenharia civil.

A crescente preocupação com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais exige a busca por novas alternativas no uso de materiais de construção. A presente obra oferece vários estudos em que resíduos de diferentes materiais sejam utilizados na construção civil.

Em consonância com o meio ambiente, apresentamos estudos sobre obras de saneamento, com a finalidade de promover a saúde e melhoria na qualidade de vida de uma determinada população.

São apresentadas pesquisas sobre patologias na construção civil e obras de pavimentação, o que permite o desenvolvimento de planos de manutenção e prevenção de novas patologias.

Por fim, apresentamos estudos sobre o comportamento estrutural em determinadas obras, e pesquisas sobre as diferentes demandas que a engenharia civil nos proporciona.

Desejamos que esta obra desperte ao leitor para a aplicação e desenvolvimento de novas pesquisas, com o objetivo de enriquecer ainda mais os estudos nas diversas atuações da engenharia civil. Boa leitura!

Franciele Braga Machado Tullio  
Lucio Mauro Braga Machado

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE CORTE DE MÁRMORE E GRANITO PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA AUTONIVELANTE	
Augusto Felipe Chiella Vinícius Felipe Chiella Nathália Cortes Tosi Juliana Alves de Lima Senisse Niemczewski	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7182009071</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>17</b>
ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE PÓ DE VIDRO COMO UMA ADIÇÃO MINERAL EM CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA, EM CONJUNTO AO EMPREGO DE MICROSSÍLICA	
Vinícius Felipe Chiella Augusto Felipe Chiella Nathália Cortes Tosi Juliana Alves de Lima Senisse Niemczewski	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7182009072</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>35</b>
ESTUDO COMPARATIVO ENTRE BLOCOS DE CONCRETO COMUNS E BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE CELULOSE PROVENIENTE DE PAPEL RECICLADO	
Mariana de Sousa Prazeres Eduardo Aurélio Barros Aguiar	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7182009073</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>49</b>
ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO EMPREGO DE RESÍDUO CERÂMICO COMO AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO	
Nathália Cortes Tosi Augusto Felipe Chiella Vinícius Felipe Chiella Juliana Alves de Lima Senisse Niemczewski	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7182009074</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>61</b>
USO DE LA CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA (CBC) COMO REMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND – CASO COLOMBIA	
Juan Pablo Izquierdo Jimenez Maria Juliana Alvarez Arias Manuel Alejandro Rojas Manzano	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7182009075</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>79</b>
ESTUDO DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COM RESÍDUO LIGNOCELULÓSICO COMO SUBSTITUTO PARCIAL DO CIMENTO	
Bruna Ferraz Carvalho Dantas Carlos Fernando de Araújo Calado Aires Camões	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7182009076</b>	

**CAPÍTULO 7 ..... 97**

ESTUDO DO USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) DE MACEIÓ, COMO AGREGADO RECICLADO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO E ASSENTAMENTO

Raone Bruno de Oliveira Silva  
Renato Antônio Santos Rolim  
Marcos André Melo Teixeira  
Pedro Gustavo dos Santos Barros

**DOI 10.22533/at.ed.7182009077**

**CAPÍTULO 8 ..... 114**

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE REJEITO DE MINÉRIO DE COBRE DA PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS

Vinicius Lemos Pereira  
Douglas Martins Sousa  
Alan Monteiro Borges  
Lygia Maria Policarpio Ferreira

**DOI 10.22533/at.ed.7182009078**

**CAPÍTULO 9 ..... 124**

GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM JOÃO PESSOA: ESTUDO COMPARATIVO DO FLUXO DE ENTRADA NA USIBEN ENTRE OS PERÍODOS 2009/2010 E 2015/2018

Ubiratan Henrique Oliveira Pimentel  
Gilson Barbosa Athayde Junior  
Cristine Helena Limeira Pimentel  
Samyr Sampaio Freire

**DOI 10.22533/at.ed.7182009079**

**CAPÍTULO 10 ..... 133**

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA MICROBACIA DO ARROIO BARRAÇÃO, MUNICÍPIO DE GUAPORÉ-RS

Fernando Frigo Migliorini

**DOI 10.22533/at.ed.71820090710**

**CAPÍTULO 11 ..... 138**

ANÁLISE DE ESTUDO DO RECALQUE DE EDIFICAÇÃO SITUADA EM ZONA SUL DA CIDADE DE QUITO - EQUADOR

Alexis Enríquez León

**DOI 10.22533/at.ed.71820090711**

**CAPÍTULO 12 ..... 149**

PATOLOGIA EM LAJES MACIÇAS DE EDIFÍCIO EMPRESARIAL

Bruno Matos de Farias  
Ronaldo Garcia da Costa  
Rebecca Alves da Silva  
José Ricardo Cardoso Domingues

**DOI 10.22533/at.ed.71820090712**

**CAPÍTULO 13 ..... 164**

LEVANTAMENTO DE PATOLOGIAS EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DE VIAS URBANAS DE MACAPÁ-AP

Beatriz da Silva de Brito  
Alinne Emely dos Santos Duarte  
Paulo Victor Prazeres Sacramento  
Ruan Fabrício Gonçalves Moraes  
Orivaldo de Azevedo Souza Junior

DOI 10.22533/at.ed.71820090713

**CAPÍTULO 14 ..... 179**

AVALIAÇÃO OBJETIVA E SUBJETIVA EM SUPERFÍCIE DE PAVIMENTO FLEXÍVEL EM TRECHO URBANO – ANÁLISE DA DISTÂNCIA ENTRE ESTAÇÕES DE AVALIAÇÃO EM SUBTRECHOS HOMOGÊNEOS

Gustavo da Silva Schiavon

DOI 10.22533/at.ed.71820090714

**CAPÍTULO 15 ..... 193**

IMPACTO NO NÍVEL DE SOLICITAÇÕES DOS PILARES POR DIFERENTES MODELOS DE ANÁLISE ESTRUTURAL

Ray Calazans dos Santos Silva

Luan Reginato

Danilo Pereira dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.71820090715

**CAPÍTULO 16 ..... 209**

SAPATAS: COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO DE CÁLCULO ANALÍTICO POR MEIO DAS BIELAS-TIRANTES E O MEF (2D)

Denise Itajahy Sasaki Gomes Venturi

Matheus Rangel Venturi

DOI 10.22533/at.ed.71820090716

**CAPÍTULO 17 ..... 224**

VIGAS DE PONTES PROTENDIDAS ENTRE 20 E 40 METROS

Leonardo Lunkes Wagner

Denizard Batista de Freitas

DOI 10.22533/at.ed.71820090717

**CAPÍTULO 18 ..... 238**

PLANO DE MOBILIDADE URBANA – PMU: UMA BREVE ANÁLISE DA LEI 12.587/2012

Rodrigo Marques do Nascimento

Fábio Mendes Ramos

Daniel Martins Nunes

DOI 10.22533/at.ed.71820090718

**CAPÍTULO 19 ..... 248**

NOVO LABORATÓRIO DO CURSO DE EDIFICAÇÕES DO IFPA

Luciano Costa de Farias

Marcelo Martins Farias

Wellen Patrícia Farias dos Reis

Celestina de Lima Rezende Farias

Cleydimara Aquino de Brito

DOI 10.22533/at.ed.71820090719

**CAPÍTULO 20 ..... 256**

A QUALIFICAÇÃO DO PROFISSIONAL DE ENGENHARIA CIVIL NO MERCADO ATUAL E O SEU IMPACTO DE CUSTO PARA UMA EMPRESA FORMAL

Rafaela Cardoso Galace

Flávia Aparecida Reitz Cardoso

DOI 10.22533/at.ed.71820090720

<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>267</b>
ANÁLISE OBSERVACIONAL GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE UM TRECHO DA RODOVIA DO CAFÉ Amanda Fernandes de Oliveira Leonardo Cesar de Souza Sowinski Gabrielly De Souza dos Santos Alex Sandro da Costa Mariana Alher Fernandes DOI 10.22533/at.ed.71820090721	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>280</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>281</b>

## VIGAS DE PONTES PROTENDIDAS ENTRE 20 E 40 METROS

*Data de aceite: 01/06/2020*

*Data de submissão: 24/03/2020*

### **Leonardo Lunkes Wagner**

Universidade Federal da Fronteira Sul, Programa de Pós-graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis, Cerro Largo - RS, <http://lattes.cnpq.br/7685184380691851>

### **Denizard Batista de Freitas**

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Departamento de Engenharias e Ciências da Computação, Santo Ângelo – RS, <http://lattes.cnpq.br/1255144035579430>

**RESUMO:** A utilização de vigas em concreto protendido como solução de pontes torna-se uma alternativa simples e econômica quando necessita-se vencer vãos médios (PFEIL, 1988). Entretanto, sua utilização está atrelada ao conhecimento de projetistas sobre esta metodologia tanto para concepção de projetos, dimensionamento, refinamento e execução, principalmente em áreas mais afastadas dos grandes centros urbanos. Para isto propôs-se uma solução com quatro vigas “V” protendidas, onde foram simuladas em quatro ciclos de cálculo para vãos entre 20 e 40 metros e variação de dois metros, onde ao final, a partir

das dimensões impostas e variação de altura, atendendo aos critérios de relação entre vão e altura, excentricidade e tensões condizentes ao limite, definiu-se uma proposta de altura para seção “V” correspondentes a vãos de 20 a 40 metros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vigas protendidas. Vigas de pontes. Pontes protendidas. Dimensionamento protendido.

### **BRIDGE OF BEAMS PROTECTED BETWEEN 20 AND 34 METERS**

**ABSTRACT:** The use of beams in prestressed concrete as bridge solution becomes a simple and economical alternative when it is necessary to overcome mean spans (PFEIL, 1988). However, its use is linked to designers' knowledge about this methodology, both for project design, sizing, refinement and execution, especially in areas further away from large urban centers. For this, a solution was proposed with four prestressed “V” beams, where they were simulated in four calculation cycles for spans between 20 and 40 meters and variation of two meters, where at the end, from the imposed dimensions and variation of height, considering the criteria of relation between span and height, eccentricity and tensions consistent with the

limit, a proposal of height for section “V” corresponding to the spans of 20 to 40 meters was defined.

**KEYWORDS:** Prestressed beams. Beams of bridges. Prestressed bridges. Prestressed sizing.

## 1 | INTRODUÇÃO

A utilização de estruturas de concreto protendido vem ganhando espaço nos canteiros de obras devido a sua capacidade de vencer maiores vãos com seções de menor dimensão e maior capacidade de carga quando comparadas ao concreto armado. No entanto, a sua utilização longe dos grandes centros não é tão significativa, isto deve-se à falta de profissionais com conhecimento e domínio desta tecnologia. Atrelado a isso, ocorre desconhecimento de softwares para auxílio no processo de dimensionamento.

A utilização de vigas pré-fabricadas protendidas permite a utilização de seções transversais variadas, ou seja, considerando um mesmo módulo resistente, para seções diferentes, levando a redução e racionalização dos materiais empregados em obras gerando uma maior economia. Conforme Pfeil (1991) os projetos com vigas pré-moldadas são muito econômicos para vãos de 15 a 30m em edifícios e de 20 a 40m para pontes.

Para preencher a lacuna de dimensionamento foram verificadas a usabilidade de uma solução em quatro vigas “V”, elaborando-se uma tabela com a definição de possível altura da seção a ser utilizada para vãos de 20 a 40m com variação de dois metros. Para isto, as mesmas passaram por quatro ciclo de cálculos através do dimensionamento teórico e verificação no software VPro.

## 2 | DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DE PONTES EM CONCRETO PROTENDIDO

### 2.1 Concreto Protendido

As ideias de utilização de estruturas em concreto protendido não são novas. Os conceitos de protensão são utilizados desde a antiguidade. Conforme Pfeil (1991) aros metálicos eram aquecidos e utilizados para reforço de rodas de carretas, ao esfriar, ele ficava sob tensão, comprimindo a estrutura de madeira da roda. Barris de madeira com persiana metálicas, que quando apertadas criam um estado de compressão permitindo resistir às tensões periféricas produzidas pela pressão interna do líquido.

Conforme Leonhardt (2013) pontes em concreto protendido surgem a partir de 1938, tendo seu desenvolvimento interrompido pela guerra e somente após conquistar espaço, com vigas protendidas com vãos de até 230m.

Concreto protendido significa a introdução de esforços internos contrários aos atuantes (FAUCHART, 1975). A introdução dos esforços é feita por meio de cabos

adequadamente posicionados que são tracionados por mecanismos (macacos) e ancorados no próprio elemento estrutural de tal forma a manterem o esforço introduzido. Pfeil (1991, p. 1) define que “a protensão é um artifício que consiste em introduzir numa estrutura um estado prévio de tensões, capaz de melhorar sua resistência ou seu comportamento, sob diversas condições de carga”.

A NBR 6118:2014 no item 3.1.4 define elementos de concreto protendido como:

aqueles nos quais parte das armaduras é previamente alongada por equipamentos especiais de protensão, com a finalidade de, em condições de serviço, impedir ou limitar a fissuração e os deslocamentos da estrutura, bem como propiciar o melhor aproveitamento de aços de alta resistência no estado-limite último (ELU). (ABNT, 2014)

A inserção da força da protensão em estruturas pode variar de acordo com os critérios dos projetistas, local onde a mesma será executada, dentre outros fatores. Conforme a NBR 6118:2014, a protensão é dividida em três níveis: protensão completa, limitada ou parcial. “Conhecido o ambiente onde a estrutura será construída pode-se definir a intensidade da protensão a ser aplicada sem o risco de ter diminuída a vida útil dos elementos em relação ao que é esperado como normal”. (CARVALHO, 2012, p.241)

Segundo a NBR 6118:2014 a combinação das ações deve “ser feita de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura; a verificação da segurança em relação aos estados-limites últimos e aos estados-limites de serviço deve ser realizada em função de combinações últimas e de combinações de serviço [...]”.

## 2.2 Dimensionamento

O dimensionamento das estruturas em concreto protendido leva em consideração ações permanentes, variáveis e excepcionais. A metodologia de cálculo a ser utilizada e descrita no presente trabalho considera protensão completa. O dimensionamento a flexão baseia-se nos conceitos da NBR 6118:2014 e em metodologias adaptadas a partir da mesma, utilizadas na disciplina de concreto protendido definida por Freitas (2018), onde pode-se dividir este processo em três etapas básicas:

- Definição de cargas de utilização mais permanente e propriedades geométricas.
- Definição de demais elementos necessários ao dimensionamento, como excentricidade dos cabos, força de protensão, número de cordoalhas.
- Por fim, verificação do dimensionamento, através de verificação de tensões.

Estas três etapas são repetidas diversas vezes, adicionado das perdas de protensão, para que assim se obtenha uma estrutura funcional e econômica.

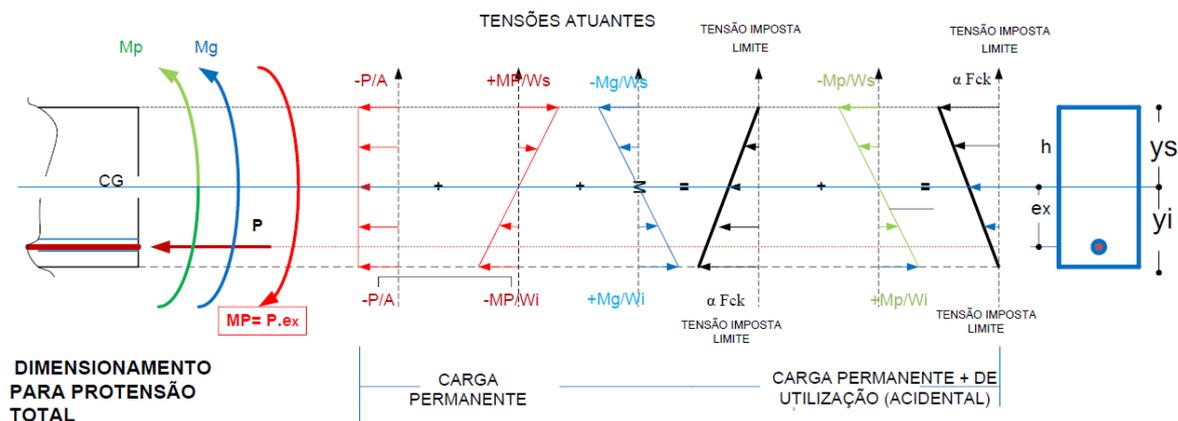


Figura 1 - Distribuição de tensões protensão total (FREITAS, 2018)

A metodologia utiliza por Freitas (2018), figura 1, onde, após a definição dos carregamentos acidentais, consegue-se definir o módulo resistente e assim a altura da seção a ser utilizada. A resistência limite do concreto é limitada a partir do coeficiente  $\alpha$ , conforme Fauchart (1975), que varia de 0,4 a 0,6, tendo como finalidade minorar a resistência do concreto.

Ao determinar as propriedades da seção, após definição do módulo resistente, e seguindo as especificações da figura 1, consegue-se definir a força de protensão, observando a força limite dos cabos, aos quais devem ser minorados conforme a NBR 6118:2014, estabelece em seu item 9.6.1.2.1, onde:

- Para armadura pré-traçada deve respeitar o limite de  $0,77f_{ptk}$  (resistência à tração a ruptura) e  $0,85f_{pyk}$  (resistência ao escoamento convencional) para aços de baixa relaxação;
- Para armadura pós-tração deve-se respeitar o limite de  $0,74f_{ptk}$  e  $0,82f_{pyk}$  para aços de baixa relaxação;
- Para armadura pós-tração cordoalha engraxadas  $0,80f_{ptk}$  e  $0,88f_{pyk}$  para aços de baixa relaxação;

Assim definidos todos as forças, momentos e propriedades geométricas, consegue-se verificar as tensões restritas aos  $\alpha f_{ck}$  para compressão e o limite de tração conforme a norma NBR 6118:2014. Teoricamente, por se tratar de uma estrutura em protensão completa deve-se primar pela inexistência da tração em qualquer situação em que a seção seja imposta.

Em seções de viga "V", diferentemente de vigas retangulares, necessita-se de um tratamento diferenciado, devido ao seu módulo resistente. Isto deve-se as propriedades geométricas da mesma, pois, por não serem simétricas o comportamento estrutural modifica-se.

## 2.3 Pontes

Existem diversos tipos construtivos de pontes, contudo conforme autores como

Leonhardt (2013) e Marchetti (2008), pontes em vigas consistem no sistema mais fácil de executar. As vigas se apoiam em pilares, podendo estas, serem de um só vão, continua com dois ou mais apoios, sobre dois apoios com balanço e vigas apoiadas no balanço (vigas Gerber), entre outras. As vigas podem ser de aço, concreto armado, ou protendido, moldadas “in situ”, ou então, muitas vezes pré-fabricadas.

Conforme Leonhardt (2013) a escolha da seção transversal deve levar em consideração alguns fatores como tamanho do vão referido e sistema estrutural adotado, altura estrutural disponível ou esbeltez desejada, processos construtivos adotados, bem como equipamentos e meios disponíveis, economia dos processos escolhido e relação carga móvel: peso próprio.

A largura a ser adotada pela ponte sendo ela rural ou urbana, deve ser a largura total da estrada (pista + acostamentos) para melhor acondicionamento psicológico do motorista. Isto deve-se, segundo Pfeil (1990) que em pontes mais antigas reduzia-se a largura ou eliminando os acostamentos, produzindo um estrangulamento psicológico na estrada, o qual resulta em redução do escoamento do tráfego.

Conforme a NBR 7187:2003 em seu item 7.1.1 e 7.1.2 define, os pesos específicos a serem utilizados na avaliação das cargas devidas aos elementos estruturais, sendo respectivamente, os pesos específicos de  $25\text{kN/m}^3$  para elementos em concreto armado ou protendido e de  $24\text{kN/m}^3$  para a pavimentação, prevendo-se uma carga adicional de  $2\text{kN/m}^2$  para atender um possível recapeamento, que pode ser dispensada a critério do proprietário da obra ou em casos de grandes vãos.

Esta mesma norma dispõe das dimensões mínimas a ser consideradas nos elementos estruturais. O item 9.1.1 define que lajes maciças devem ter alturas mínimas de:

- a) lajes destinadas à passagem de tráfego ferroviário:  $h \geq 20$  cm;
- b) lajes destinadas à passagem de tráfego rodoviário:  $h \geq 15$  cm;
- c) demais casos:  $h \geq 12$  cm.

E em seu item 9.1.4 Vigas, define que:

a) as vigas de seção retangular e as nervuras das vigas de seção T, duplo T ou celular concretadas no local, nas estruturas de que trata esta Norma, não devem ter largura de alma  $b_w$  menor do que 20 cm.

b) em vigas pré-moldadas de seção T ou duplo T, fabricadas em usina, com a utilização de técnicas adequadas e controle da qualidade rigoroso, a largura da alma  $b_w$  pode ser reduzida até o limite mínimo de 12 cm.

Já para as dimensões mínimas do revestimento asfáltico a ser realizado sobre lajes estruturais, conforme a norma DNIT 122:2009, quando já consideradas as inclinações transversais de 2%, aplica-se uma fina camada de concreto asfáltico, da ordem de 5,0cm.

### 3 | METODOLOGIA

A partir dos conhecimentos expostos sobre concreto protendido e pontes, desenvolveu-se o dimensionamento e verificação de vigas protendidas de pontes com vãos de 20 a 40m, em seção “V”, com dimensões fixas conforme figura 2, inserida em uma rodovia classe III, ondulada, com características descritas pelo DNER (1999) como duas faixas de rolamento de 3,3m e acostamentos laterais com dois metros, totalizando 10,6m.

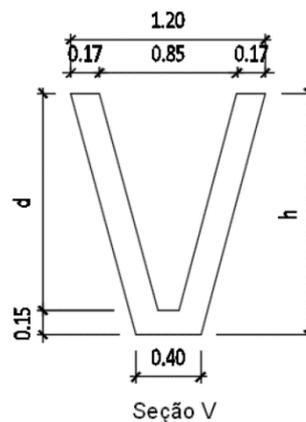


Figura 2 - Dimensões fixas seção “V”

Para o cálculo das vigas, considerou-se para o carregamento acidental o carro padrão TB 450 com suas cargas simplificadas, resultantes em 5kN/m para cargas distribuídas e em 60kN para cada uma das seis cargas concentradas. Para a carga permanente uma laje com 20cm de espessura ao longo de toda a seção transversal, com uma camada adicional de 5cm de revestimento asfáltico betuminoso.

Devido a utilização de solução com quatro vigas, a carga acidental necessita ser posicionada nas piores situações para a viga central e lateral. Para isso utilizou-se a linha de influência obtida a partir do software Ftool. Para a viga lateral, considerando a disposição mais desfavorável do carro padrão, resultou nos carregamentos conforme a figura 3.

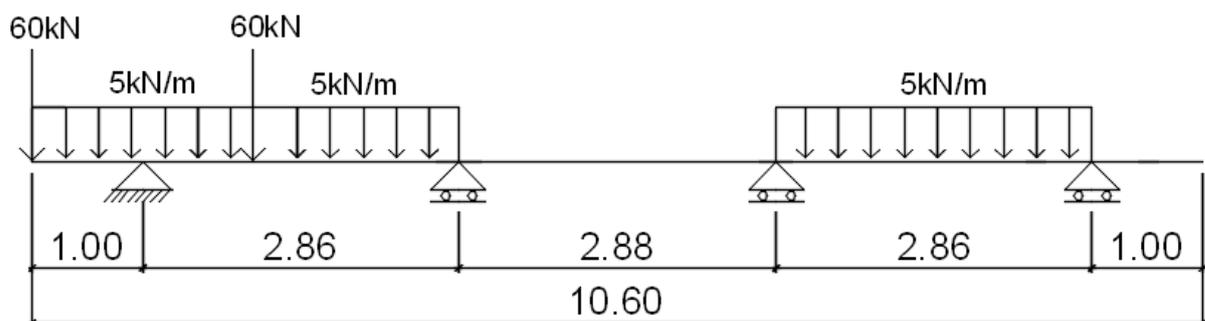


Figura 3 - Carregamento acidental viga lateral

Já para uma das vigas central, a pior posição do carro padrão resultou na disposição segundo a figura 4.

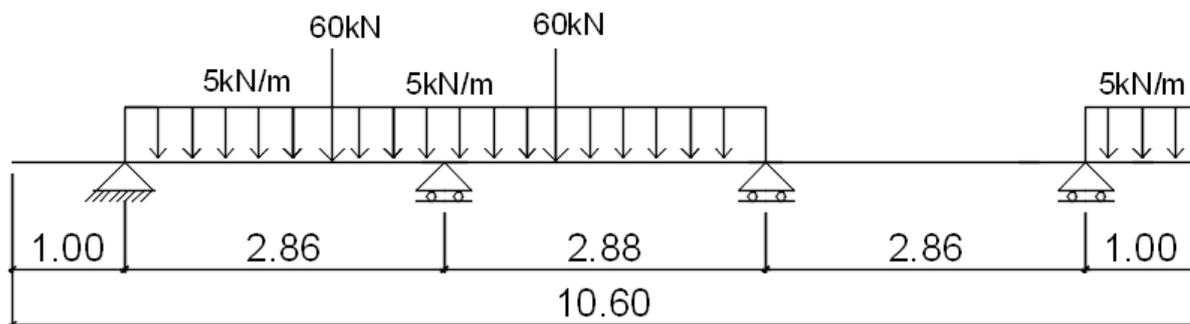


Figura 4 - Carregamento acidental viga central

A partir destas disposições obteve-se os carregamentos da seção transversal incidentes nas vigas central e lateral, apresentadas na tabela 1.

Carregamentos Para Quatro Vigas - Lateral (Retirado FTOOL)	
Acidental	12,5kN
Concentrados Acidental	120,7kN
Permanente Lajes, Proteções e Pavimento	16,7kN
Carregamentos Para quatro Vigas - Central (Retirado FTOOL)	
Acidental	17,6kN
Concentrados Acidental	97,8kN
Permanente Lajes, Proteções e Pavimento	17,6kN

Tabela 1 - Carregamentos

A partir dos carregamentos incidentes nas vigas, desenvolveu-se quatro ciclos de cálculo. Para o dimensionamento foi considerado um concreto com  $f_{ck}$  de 50MPa com um coeficiente minorador do concreto  $\alpha$  de 0,55, resultando em  $\alpha f_{ck}$  de 27,5MPa.

No primeiro ciclo, definiu-se teoricamente as propriedades geométricas necessárias da seção, onde a partir do módulo resistente calculado, definiu-se a altura, peso próprio da viga, demais propriedades geométricas necessárias, número de cordoalhas e força de protensão. Como itens de aceitação e padronização, a altura da seção deveria obedecer ao critério  $v\tilde{a}o/15$  e  $v\tilde{a}o/20$  e a excentricidade do cabo resultante se posicionar-se dentro da seção.

No segundo ciclo, foram verificadas as tensões a partir do arredondamento da altura da seção para múltiplos de cinco com duas casas de aproximação, e arredondamento do número de cordoalhas. Como critério de aceitação das seções, as mesmas deviam respeitaram a tensão de compressão do concreto limitada a 27,5MPa e de tração de 2,035MPa.

No terceiro ciclo inseriu-se as perdas, recalculando-se o número de cordoalhas necessárias, distribuindo-as em bainhas, com a junção máxima 12 cordoalhas. Após esta distribuição, as mesmas foram posicionadas na seção.

O quarto ciclo, correspondeu, a verificação das dimensões da seção propostas no Software VPro, analisando os Estados Limites de Serviço de fissuração (ELS-F), Estados Limites de Serviço de Descompressão (ELS-D) e o Estado Limite Ultimo no Ato de Protensão (ELU-ATO). Ao final destes quatro ciclos os dados foram compilados e tabelados em uma tabela referência para auxiliar no pré-dimensionamento de vigas.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Primeiro ciclo de cálculo

No primeiro ciclo de cálculo foram dimensionadas 22 seções sendo destas 11 laterais e 11 centrais. Na tabela 2 apresenta-se os dados do primeiro ciclo de cálculo para quatro vigas laterais.

4 Vigas V - Lateral								
				fck	50	$\alpha$	0,55	
Vão	Altura (h)	h min	h máx.	Área	Y (CG)	Excent.	Aceitação	Motivo
20	1,173	1,000	1,333	0,4153	0,566	0,426665	Atende	
22	1,253	1,100	1,467	0,4422	0,607	0,478789	Atende	
24	1,332	1,200	1,600	0,4685	0,646	0,532939	Atende	
26	1,409	1,300	1,733	0,4944	0,685	0,589091	Atende	
28	1,485	1,400	1,867	0,5199	0,723	0,647263	Atende	
30	1,560	1,500	2,000	0,5452	0,761	0,707312	Atende	
32	1,634	1,600	2,133	0,5999	0,798	0,769609	Atende	
34	1,707	1,700	2,267	0,5947	0,835	0,833645	Atende	
36	1,779	1,800	2,400	0,6189	0,871	0,899914	Não Atende	Excent. superior ao limite
38	1,850	1,900	2,533	0,6429	0,907	0,968286	Não Atende	Excent. superior ao limite
40	1,922	2,000	2,667	0,6671	0,943	1,038186	Não Atende	Excent. superior ao limite

Tabela 2 - Quatro vigas - lateral: 1º ciclo de cálculo

A solução com quatro vigas laterais consegue atender a proposta, como solução de seção em vigas para os vãos de 20 a 34m. Para os vãos de 36 a 40m, a solução foi descartada pois a excentricidade excede o limite da seção.

Devido aos critérios impostos, algumas seções foram descartadas, no entanto, as mesmas, poderiam ter sua altura elevada, sem alterar as dimensões fixas, para assim serem verificadas no segundo ciclo e assim caso se não passantes nas tensões limites serem descartadas.

A tabela 3 apresenta-se os resultados de dimensionamento no primeiro ciclo

para a solução em quatro vigas, com posicionamento do carro padrão na posição mais desfavorável para a viga central.

4 Vigas V - central								
				fck	50	$\alpha$	0,55	
Vão	Altura (h)	h min	h máx.	Área	Y (CG)	Excent.	Aceitação	Motivo
20	1,158	1,000	1,333	0,4105	0,559	0,433414	Atende	
22	1,244	1,100	1,467	0,4393	0,602	0,487039	Atende	
24	1,329	1,200	1,600	0,4677	0,645	0,542600	Atende	
26	1,413	1,300	1,733	0,4958	0,687	0,600124	Atende	
28	1,496	1,400	1,867	0,5237	0,729	0,659580	Atende	
30	1,578	1,500	2,000	0,5512	0,770	0,721055	Atende	
32	1,660	1,600	2,133	0,5788	0,811	0,784329	Atende	
34	1,741	1,700	2,267	0,6058	0,606	0,849590	Atende	
36	1,823	1,800	2,400	0,6332	0,893	0,916785	Não Atende	Excent. superior ao limite
38	1,902	1,900	2,533	0,6602	0,933	0,985882	Não Atende	Excent. superior ao limite
40	1,981	2,000	2,667	0,6872	0,973	1,056892	Não Atende	Altura min. e excent. excedida

Tabela 3 - Quatro vigas - central: 1º ciclo de cálculo

A solução com quatro vigas central, consegue atender bem aos critérios de altura e excentricidade de 20 a 34m como a viga lateral. As seções correspondentes aos vãos de 36 a 38m tem a excentricidade superior a seção. Já a seção correspondente ao vão de 40m, a sua altura é menor que a mínima e a excentricidade é excedida.

## 4.2 Segundo ciclo de cálculo

No segundo ciclo, verificou-se as tensões das vigas passantes, onde, primeiramente, a altura das seções foi ajustada para múltiplos de cinco, com duas casas decimais e o número de cordalhas ajustado para números inteiros. A tabela 4 apresenta o resultado do segundo ciclo de cálculo para a viga lateral.

4 Vigas - Lateral - 2º ciclo de cálculo									
				fck	50	$\alpha$	0,55		
Vão	Altura	h min	h máx.	Área	Y (CG)	Excent.	nº de cord.	Aceitação	Restrições
4 Vigas V - Lateral									
20	1,20	1,000	1,333	0,4245	0,580	0,426665	32	Atende	
22	1,30	1,100	1,467	0,4579	0,630	0,478789	34	Atende	
24	1,35	1,200	1,600	0,4747	0,656	0,532939	36	Atende	Tensões
26	1,45	1,300	1,733	0,5082	0,706	0,589091	38	Atende	
28	1,50	1,400	1,867	0,5250	0,731	0,647263	40	Atende	Tensões
30	1,60	1,500	2,000	0,5586	0,781	0,707312	41	Atende	
32	1,65	1,600	2,133	0,5755	0,806	0,769609	43	Atende	
34	1,75	1,700	2,267	0,6091	0,857	0,833645	45	Atende	

Tabela 4 - Quatro vigas - lateral: 2º ciclo de cálculo

A tabela 5 apresenta-se os resultados do segundo ciclo para a viga central da solução com quatro vigas.

4 Vigas - Central - 2º ciclo de cálculo									
				fck	50	$\alpha$	0,55		
Vão	Altura	h min	h máx.	Área	Y (CG)	Excent.	nº de cord.	Aceitação	Restrições
4 Vigas V - Central									
20	1,20	1,000	1,333	0,4245	0,580	0,433414	32	Atende	
22	1,25	1,100	1,467	0,4412	0,605	0,487039	34	Atende	Tensões
24	1,35	1,200	1,600	0,4747	0,656	0,542600	36	Atende	Tensões
26	1,45	1,300	1,733	0,5082	0,706	0,600124	38	Atende	
28	1,50	1,400	1,867	0,5250	0,731	0,659580	40	Atende	Tensões
30	1,60	1,500	2,000	0,5586	0,781	0,721055	42	Atende	Tensões
32	1,70	1,600	2,133	0,5923	0,832	0,784329	44	Atende	
34	1,75	1,700	2,267	0,6091	0,857	0,849590	46	Atende	Tensões

Tabela 5 - Quatro vigas - central: 2º ciclo de cálculo

A partir dos dados apresentados nas tabelas 4 e 5, observa-se que todas as seções atendem aos requisitos, porém com algumas restrições. Estas restrições estão em primazia no fato de que as tensões de compressão em algumas das seções excederam a tensão limite imposta de 27,5MPa. Este fato deve-se ao arredondamento do número de cordoalhas do cálculo teórico para um número inteiro, pois a quantidade teórica das mesmas, em algumas situações, considerando a cordoalha não inteira corresponde a menos de 75% da força de uma cordoalha majorada. Outra situação, deve-se ao fato de que ao arredondar a altura das seções, as mesmas conseguem absorver este aumento de tensões devido ao arredondamento das cordoalhas, não ultrapassando o limite das seções, no entanto, em algumas, este arredondamento é pequeno, de modo a não conseguir este efeito.

Porém, as seções que tem suas tensões fora dos limites da tensão imposta de 27,5MPa, obtida pela majoração da resistência do concreto de 50MPa, utilizado neste estudo, e seu coeficiente minorador  $\alpha$  de 0,55, que varia de 0,6 a 0,4, a tensão, em todas as seções não passantes, fica dentro desta variação imposta pelo coeficiente minorado  $\alpha$ . Sendo assim as seções foram consideradas aceitas.

### 4.3 Terceiro ciclo de cálculo

O terceiro ciclo de cálculo caracterizou-se, de maneira geral, pelo novo posicionamento da excentricidade nas seções, pois o mesmo alterou-se devido ao posicionamento das cordoalhas, após a inserção das perdas referentes a seção. Para o presente trabalho considerou-se para as perdas imediatas 12,4% e para as perdas deferidas 17,9%, obtida através da metodologia de cálculo indicado pela NBR 6118:2014 e calculado para uma

seção intermediária e considerada para as demais. Na tabela 6 apresenta-se os resultados do terceiro ciclo de cálculo para a viga lateral.

4 Vigas - Lateral - 3º ciclo de cálculo								
Vão	Altura	Área	Y (CG)	Excentricidade calculada	nº cord. s/perda	nº cord. c/perdas	nº de Bainhas	Excentricidade adotada
4 Vigas V - Lateral								
20	1,20	0,4245	0,580	0,426665	32	42	4	0,41
22	1,30	0,4579	0,630	0,478789	34	44	4	0,4604
24	1,35	0,4747	0,656	0,532939	36	47	4	0,4837
26	1,45	0,5082	0,706	0,589091	38	50	5	0,5393
28	1,50	0,5250	0,731	0,647263	40	52	5	0,5675
30	1,60	0,5586	0,781	0,707312	41	53	5	0,6193
32	1,70	0,5923	0,832	0,769609	43	56	5	0,6736
34	1,75	0,6091	0,857	0,833645	45	59	6	0,6391

Tabela 6 - Quatro vigas - lateral: 3º ciclo de cálculo

Na tabela 7 apresenta-se os resultados do terceiro ciclo de cálculo para a viga central.

4 Vigas - Central - 3º ciclo de cálculo								
Vão	Altura	Área	Y (CG)	Excentricidade calculada	nº cord. s/perda	nº cord. c/perdas	nº de Bainhas	Excentricidade adotada
4 Vigas V - Central								
20	1,2	0,4245	0,58	0,433414	32	42	4	0,41
22	1,25	0,4412	0,605	0,487039	34	44	4	0,4604
24	1,35	0,4747	0,656	0,5426	36	47	4	0,4837
26	1,45	0,5082	0,706	0,600124	38	50	5	0,5393
28	1,5	0,525	0,731	0,65958	40	52	5	0,5675
30	1,6	0,5586	0,781	0,721055	42	55	5	0,6221
32	1,7	0,5923	0,832	0,784329	44	57	5	0,6749
34	1,75	0,6091	0,857	0,84959	46	60	6	0,6356

Tabela 7 - Quatro vigas - central: 3º ciclo de cálculo

As seções central e lateral que não apresentaram a mesma altura, foram igualadas, entretanto, a maioria já estava com esta dimensão igual, devido ao posicionamento das vigas, propositalmente, carregar as vigas de modo a gerar seções com dimensões e características semelhantes.

Neste ciclo pode-se observar, principalmente nas seções correspondentes aos vãos maiores, que a excentricidade calculada teoricamente é diferente da adota, onde quando maior o vão, mais diferença há entre as mesmas.

#### 4.4 Quarto ciclo de cálculo

O quarto ciclo caracterizou-se pela inserção dos dados das seções no software VPro e a verificação dos estados limites ELS-F, ELS-D e ELS-ATO.

Para a solução com viga “V” lateral e central, correspondente ao vão de 20m, a mesma ultrapassa o ELS-D, sendo considerada passante, somente com a redução de seis cordoalhas, passando de 42 para 36. Se mantida esta alteração a mesma deve ser protendida em duas fases segundo o ELU-ATO.

De 22 à 34m as vigas “V” lateral e central correspondentes atendem perfeitamente aos requisitos de ELS-F e ELS-D, sendo que todas devem ser protendidas em duas fases conforme o ELU-ATO.

#### 4.5 Compilação de dados

Após o dimensionamento e verificação da seção “V”, com dimensões fixas conforme a figura 2, resultou-se na proposta, tabela 8, de altura em função do vão, para auxiliar no pré-dimensionamento de vigas protendidas com seção “V” similar a situação adotada.

4 Vigas		
vão	Formato	Altura
20	“V”	1,20
22	“V”	1,25
24	“V”	1,35
26	“V”	1,45
28	“V”	1,50
30	“V”	1,60
32	“V”	1,70
34	“V”	1,75
36	-	-
38	-	-
40	-	-

Tabela 8 - Proposta de alturas para viga “V” com solução em quatro vigas

## 5 | CONCLUSÃO

A partir dos dados analisados anteriormente pode-se concluir que considerando a seção e o posicionamento apresentado não se conseguiu atender a todos os vãos propostos. No entanto os vãos de 20 a 34m apresentam dados que podem ser utilizados como possível solução de vigas protendidas de pontes. As seções referentes aos vãos de 36 a 40m também podem ser utilizadas, onde, somente não apresentaram resultados satisfatórios no presente trabalho devido aos requisitos de aceitação impostos pelos mesmo.

Conclui-se também que, em determinados casos, a excentricidade calculada

teoricamente fica longe da excentricidade adotada, devido ao posicionamento dos cabos, sendo que isto acaba por deixar algumas seções no limite das tensões, sendo que neste caso recomenda-se aplicar um quinto ciclo de cálculo para refinamento da seção ou em casos mais extremos a remodelagem das dimensões da mesma, para que assim consiga-se atender plenamente os critérios.

A busca por referenciais para dimensionamentos de vigas protendidas pré-fabricadas varia conforme as necessidades impostas. Contudo as soluções com vigas em seção V necessitam de menos concreto que seções maciças, como vigas retangulares. O presente artigo não apresenta uma comparação direta entre estes tipos de seção, contudo retrata uma abordagem sobre uma alternativa a seção retangular.

## AGRADECIMENTO

Ao apoio e incentivo do Grupo de Pesquisa em Desenvolvimento de Engenharia – GPDE – da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Santo Ângelo.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ações e segurança nas estruturas** – Procedimento. NBR 8681. Rio de Janeiro: ABNT, 2003

\_\_\_\_\_. **Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas**. NBR 7188. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

\_\_\_\_\_. **Cordoalhas de aço para estruturas de concreto protendido** – Especificação. NBR 7483. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

\_\_\_\_\_. **Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido** – procedimento. NBR 7187. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **Projeto de estruturas de concreto** - Procedimento. NBR 6118. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BRASIL. Ministério dos transportes. **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Brasília, DF, 1999.

BRASIL. Ministério dos transportes. Pontes e viadutos rodoviários – **Estruturas de concreto armado** - Especificação de serviço. DNIT 122/2009- ES. Rio de Janeiro, 2009.

CARVALHO, Roberto Chust. **Estrutura em concreto protendido: Cálculo e detalhamento**. São Paulo: Pini, 2012.

CHOLFE, Luiz. **Concreto protendido: teoria e prática**. São Paulo: PINI, 2013.

FAUCHART, Jacques. *Initiation au calcul des structures – Béton et acier*. Paris: Editora Eyrolles, 1975.

FREITAS, D. B. **Estruturas de Concreto Protendido**: Notas de Aula. Departamentos das Engenheiras e

Ciências da Computação, URI – Santo Ângelo, Santo Ângelo: 2015.

FRITZ, Leonhardt. **Construções de concreto, vol. 5: concreto protendido**. Rio de Janeiro: Interciência, 2007.

FRITZ, Leonhardt. **Construções de concreto, vol.6: princípios básicos da construção de pontes de concreto**. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de concreto armado**. São Paulo: Blucher, 2008.

PFEIL, Walter. **Pontes em Concreto Armado: elementos de projeto, solicitações, dimensionamento**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1980.

PFEIL, Walter. **Concreto protendido, 1: introdução**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

PFEIL, Walter. **Concreto protendido: processos construtivos, perdas de protensão**. 3. ed. Rio de Janeiro: EDC, 1991.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Adição Mineral 1, 2, 3, 4, 7, 12, 14, 15, 17, 18, 19, 22, 31

Adiciones Minerales 62

Agregado Cerâmico 49, 53, 55, 57, 58

Análise Estrutural 193, 194, 208, 217

Argamassa 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 25, 26, 30, 33, 46, 49, 51, 57, 58, 59, 81, 85, 86, 90, 95, 96, 97, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 111, 112, 113, 114, 115, 117, 121, 123, 149, 153, 157, 158, 159, 160

Argamassa de Assentamento 49, 113

Argamassas 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 21, 25, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 79, 80, 82, 83, 95, 96, 97, 99, 100, 101, 103, 104, 105, 106, 111, 112, 114, 115, 116, 118, 123, 130, 132

Autonivelante 1, 2, 3, 4, 9, 15, 16

Avaliação Funcional 165

### B

Baixo Custo 59, 114, 115, 239, 261

Bioetanol 64, 79, 80, 81, 95

### C

Canalização 133, 136

Cimento 61, 62, 63, 67, 68, 69, 70, 71, 74, 75, 76

Colombia 61, 62, 63, 64, 65, 66, 69, 74, 75, 76

Concreto 15, 17, 18, 19, 20, 29, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 59, 60, 61, 62, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 79, 80, 81, 82, 95, 96, 100, 101, 105, 108, 116, 123, 128, 129, 130, 139, 140, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 159, 161, 162, 163, 169, 199, 201, 202, 207, 208, 210, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 233, 236, 237, 269

Construção 1, 2, 3, 16, 36, 38, 46, 47, 48, 49, 50, 59, 60, 79, 80, 86, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 107, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 122, 124, 125, 126, 130, 131, 132, 139, 141, 144, 145, 147, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 157, 161, 162, 163, 164, 177, 179, 185, 194, 210, 237, 243, 246, 247, 248, 250, 255, 256, 257, 259, 260, 261, 264, 265

Contrapiso 2, 3, 15, 104

### D

Demolição 49, 52, 59, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 107, 111, 112, 113, 124, 126, 132

Dimensionamento 133, 134, 135, 136, 137, 152, 197, 210, 213, 217, 221, 224, 225, 226, 229, 230, 231, 235, 237

Drenagem em Pavimentos 165

## E

Edifício Empresarial 149, 150

Elementos Finitos 209, 210, 213, 216, 217, 219, 221, 222, 223

Esgotamento Sanitário 133, 134, 135, 137

## F

Fundações 147, 209, 210, 211, 213, 223

## G

Granito (RCMG) 1, 2

## L

Laje Maciça 150, 152, 153, 154

Lignina 80, 81, 82, 83, 96

## M

Macapá 164, 165, 170, 171, 174, 175, 177, 178

## P

Patologia 33, 149, 150, 151, 162, 163, 167, 178

Pavimentos 74, 130, 151, 164, 165, 166, 167, 169, 170, 171, 175, 178, 180, 191, 192, 193, 194, 195, 197, 198, 199, 201, 204, 205, 206, 207, 208

Pavimentos Isolados 193, 195, 197, 198, 199, 204, 205, 207, 208

Pilar 156, 193, 195, 196, 197, 198, 199, 205, 206, 214, 215

Pórtico Plano 193, 195, 199, 204, 205, 206, 207, 208

## R

Recalque 138, 142, 145

Reciclagem de RCD, 49

Redes Coletoras 133, 136

Rejeito de Cobre 114, 115, 116, 117, 119, 123

Resíduo 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 29, 31, 32, 36, 37, 38, 49, 50, 51, 52, 53, 58, 59, 60, 79, 80, 81, 82, 83, 90, 91, 93, 94, 95, 97, 98, 100, 102, 103, 114, 115, 132

Resíduo de Corte 1, 2, 3, 4, 15

Resíduo Reciclado 2

Resistência Mecânica 12, 14, 15, 17, 49, 51, 54, 55, 56, 57, 105, 115, 116, 120

Risco 138, 139, 147, 195, 226, 251, 255

## S

Saneamento 107, 133, 134, 135, 137, 178, 182, 240, 279

Sapatas 209, 210, 211, 212, 213, 214, 216, 223

Solo 69, 71, 123, 135, 138, 139, 141, 143, 146, 147, 166, 168, 209, 210, 211, 212, 214, 215, 217, 220, 221, 222, 240, 267, 268, 269, 272, 273, 274, 276, 277, 279

Subsistência 138, 147

Sustentabilidade 80, 115, 240

## T

Teoria da Elasticidade 209

## V

Vigas 156, 157, 195, 196, 198, 199, 201, 208, 224, 225, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236

 **Atena**  
Editora

**2 0 2 0**