



Helenton Carlos da Silva  
(Organizador)

# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

**Atena**  
Editora  
Ano 2020



Helenton Carlos da Silva  
(Organizador)

# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

**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:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação:** Geraldo Alves

**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**

Profª Drª 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. 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. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª 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

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice

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

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

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

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

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª 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

Profª Drª 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

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  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
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  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
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 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  
Profª Drª 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. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>a</sup> Msc. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>a</sup> Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof<sup>a</sup> Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

A642 A aplicação do conhecimento científico na engenharia civil [recurso eletrônico] / Organizador Helenton Carlos da Silva. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-905-9

DOI 10.22533/at.ed.059201301

1. Construção civil – Aspectos econômicos – Brasil. I. Silva, Helenton Carlos da.

CDD 338.4769

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

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

## APRESENTAÇÃO

A obra “*A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil*” publicada pela Atena Editora apresenta, em seus 19 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca da engenharia civil, com aplicações do conhecimento da área em tecnologias inovadoras e em análise de características de materiais existentes ou novos, desenvolvido através do conhecimento científico.

Neste contexto, destaca-se que o mercado tem absorvido com afinco a demanda de inovação tecnológica surgida com o desenvolvimento do conhecimento científico na Engenharia Civil.

O conhecimento científico é muito importante na vida do ser humano e da sociedade, em especial na vida acadêmica, pois auxilia na compreensão de como as coisas funcionam ao invés de apenas aceita-las passivamente. Com ele é possível provar diversas coisas, tendo em vista que busca a verdade através da comprovação.

Possibilitar o acesso ao conhecimento científico é de grande relevância e importância para o desenvolvimento da sociedade e do ser humano em si, pois com ele adquirem-se novos pontos de vista, conceitos, técnicas, procedimentos e ferramentas, proporcionando a evolução na construção do saber em uma área do conhecimento. Na engenharia civil é evidente a importância do conhecimento científico, pois o seu desenvolvimento está diretamente relacionado com o progresso e difusão deste conhecimento.

O engenheiro civil é o profissional capacitado para resolver problemas, tendo uma visão ampla e conhecendo todos os detalhes e processos por trás de uma estrutura complexa e, além disso, é capaz de apresentar soluções práticas, pautadas no conhecimento técnico e científico.

Neste sentido, este livro é dedicado aos trabalhos relacionados à aplicação do conhecimento científico na engenharia civil, compreendendo as questões do desenvolvimento de novos materiais e novas tecnologias, algumas baseadas na gestão dos resíduos, assunto de grande relevância atual. A importância dos estudos dessa vertente é notada no cerne da produção do conhecimento, tendo em vista o volume de artigos publicados. Nota-se também uma 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.

Helenton Carlos da Silva

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
APRENDIZADOS NO ENSINO DE BIM EM UMA UNIVERSIDADE PÚBLICA DE INTERIOR	
Leandro Tomaz Knopp Pedro Gomes Ferreira Bruno Barzellay Ferreira da Costa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0592013011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
AUTOMAÇÃO DE VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADES EM LICENCIAMENTOS DE PROJETOS EM BIM: UMA PROPOSTA PARA A GESTÃO PÚBLICA	
Denise Aurora Neves Flores Eduardo Marques Arantes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0592013012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>31</b>
UM ESTUDO AUTOETNOGRÁFICO SOBRE A MONITORIA DA DISCIPLINA DE NOÇÕES DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIFESSPA	
Antonio Carlos Santos do Nascimento Passos de Oliveira Euarda Guimarães Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0592013013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>36</b>
GESTÃO DO CONHECIMENTO EM EMPRESAS DE CONSTRUÇÃO NA COLÔMBIA: CASOS E TENDÊNCIAS	
Hernando I Vargas Arturo C. Isaza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0592013014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>44</b>
NOVAS TECNOLOGIAS NO GERENCIAMENTO DE FACILIDADES? - UMA REVISÃO SISTEMÁTICA	
Marcus Vinicius Rosário da Silva Marcelo Jasmim Meiriño Gilson Brito Alves Lima	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0592013015</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>55</b>
CASA POPULAR EFICIENTE: ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA O PERÍODO DE INVERNO	
Rayner Maurício e Silva Machado Marcos Alberto Oss Vaghetti	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0592013016</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>61</b>
AUTOMAÇÃO DE ÁRVORES SOLARES DE ALTA EFICIÊNCIA	
Hélvio Henrique Rodrigues Rogério Luis Spagnolo da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0592013017</b>	

<b>CAPÍTULO 8 .....</b>	<b>72</b>
<b>ESTUDO DE CASO DE PAINEL SALVEOLARES SUJEITOS AO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO DE VIBRAÇÕES EXCESSIVAS</b>	
Iago Vanderlei Dias Piva Gustavo de Miranda Saleme Gidrão Danilo Pereira Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0592013018</b>	
<b>CAPÍTULO 9 .....</b>	<b>79</b>
<b>MINIGERADOR EÓLICO: INTRODUÇÃO AO USO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL</b>	
Roberta Costa Ribeiro da Silva Daiane Caroline Wagner	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0592013019</b>	
<b>CAPÍTULO 10 .....</b>	<b>86</b>
<b>REUSO DE ÁGUAS CINZAS EM RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR: ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA E FINANCEIRA DA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA</b>	
Tháisa Mayane Tabosa da Silva Eduardo Cabral da Silva José Henrique Reis de Carvalho Tabosa Wilma de Oliveira Melo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.05920130110</b>	
<b>CAPÍTULO 11 .....</b>	<b>98</b>
<b>SISTEMA DE CAPTAÇÃO E REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA ATRAVÉS DE CONCRETO POROSO</b>	
Ana Beatriz De Oliveira Silva Jonatha Roberto Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.05920130111</b>	
<b>CAPÍTULO 12 .....</b>	<b>102</b>
<b>O USO DE GEOTECNOLOGIAS EM PERÍCIAS AMBIENTAIS: VANTAGENS E AVANÇOS TECNOLÓGICOS</b>	
Giovanna Feitosa de Lima Ellen Kathia Tavares Batista Edson Alves de Jesus Nayara Michele Silva de Lima Barbara Alves Lima	
<b>DOI 10.22533/at.ed.05920130112</b>	
<b>CAPÍTULO 13 .....</b>	<b>114</b>
<b>ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRA DE POLIPROPILENO NA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO EM RELAÇÃO À RESISTÊNCIA À RETRAÇÃO POR SECAGEM</b>	
Jonatha Roberto Pereira Mariana Cristina Buratto Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.05920130113</b>	

<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>120</b>
ESTUDO DA DOSAGEM DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE POLIAMIDA E POLIETILENO PARA UTILIZAÇÃO EM PAREDES DE CONCRETO	
Alexandre Rodriguez Murari	
Alysson Gethe Gonçalves de Oliveira	
Daiane Cristina Silva Fernandes	
Hagar da Silva	
Victor José dos Santos Baldan	
<b>DOI 10.22533/at.ed.05920130114</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>127</b>
UTILIZAÇÃO DE CHAMOTE COMO ADITIVO EM MASSAS DE CERÂMICA VERMELHA PARA A PRODUÇÃO DE BLOCOS DE VEDAÇÃO	
Celiane Mendes da Silva	
Talvanes Lins e Silva Junior	
Erika Paiva Tenório de Holanda	
<b>DOI 10.22533/at.ed.05920130115</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>138</b>
AValiação DA DRENAGEM SUPERFICIAL DA RODOVIA ESTADUAL MA-315 QUE INTERLIGA O MUNICÍPIO DE BARREIRINHAS A PAULINO NEVES	
Jorcelan Pereira da Rocha	
Cláudio Sousa Ataíde	
Larysse Lohana Leal Nunes	
Leonardo Telles de Souza Pessoa Filho	
Fernando Vasconcelos Borba	
<b>DOI 10.22533/at.ed.05920130116</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>151</b>
ANÁLISE DE PAVIMENTO FLEXÍVEL PELO MÉTODO PCI: ESTUDO DE CASO DE DOIS TRECHOS DA PE-112	
Thays Cordeiro dos Santos	
Maria Victória Leal de Almeida Nascimento	
Daysa Palloma da Silva	
Thaísa Mayane Tabosa da Silva	
Rodrigo Araújo	
José Henrique Reis de Carvalho Tabosa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.05920130117</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>163</b>
ESTUDO GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA DE SOLOS COLETADOS EM TERESINA-PI	
André Filipe Conceição Silva	
Álvaro Escórcio Dias	
Antônio Carlos Silva de Araújo	
Antonio Vinicius Bastos Teixeira	
Carlos Eduardo Rodrigues Leite	
Lívia Racquel de Macêdo Reis	
<b>DOI 10.22533/at.ed.05920130118</b>	

<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>169</b>
AVALIAÇÃO NÃO LINEAR DOS ESFORÇOS INTERNOS EM CONÓIDES CILÍNDRICOS Danielly Luz Araujo de Moraes DOI 10.22533/at.ed.05920130119	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>183</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>184</b>

## AVALIAÇÃO NÃO LINEAR DOS ESFORÇOS INTERNOS EM CONÓIDES CILÍNDRICOS

Data de aceite: 11/12/2019

**Danielly Luz Araujo de Moraes**

Faculdade Evangélica de Goianésia,  
Departamento de Engenharia Civil  
Goianésia, Goiás

**RESUMO:** Em arquiteturas da atualidade, percebe-se uma abordagem moderna demandando tendências de soluções estruturais complexas no design estrutural e o conóide é uma forma geométrica simples que confere requisitos de beleza e sofisticação a diversas edificações deste contexto. A obtenção dos esforços solicitantes para o dimensionamento de uma estrutura em concreto com esta forma geométrica não é tão simples e exige conhecimentos avançados. Objetivando-se a avaliação do caminho não linear dos esforços de membrana e de momentos, este trabalho apresenta uma investigação numérica estática não linear, via método dos elementos finitos (MEF), de cascas conoidais de geometria cilíndrica, submetida ao carregamento transversal uniformemente distribuído aplicado incrementalmente ao longo da sua superfície. Com este trabalho ilustra-se a importância da análise não linear ao identificar como as posições dos esforços máximos, cruciais para o dimensionamento estrutural, modificam-

se ao longo da incrementação de carga. Comparando-se os esforços de flexão de duas geometrias diferentes observa-se a influência de diferentes modos de vibração na trajetória da topologia, com prevalência de momentos fletores positivos no centro, negativos nas extremidades e, com relação aos esforços de torção, sua concentração máxima prevalece perto das bordas curvas. Observam-se no início da trajetória do conóide de duas bordas curvas que as máximas regiões comprimidas não estão próximas às bordas retas, como no conóide de apenas uma borda curva. Além disso, é importante destacar a ocorrência de picos de esforços cisalhantes nas bordas curvas, pois nas demais localidades da casca os esforços cisalhantes tem menor intensidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise não linear, Casca conoidal cilíndrica, Esforços solicitantes, Método dos elementos finitos.

### NONLINEAR EVALUATION OF INTERNAL EFFORTS IN CYLINDRIC CONOIDS

**ABSTRACT:** In present architectures, a modern approach to architectures is perceived demanding trends of complex structural solutions design and the conoid is a simple geometric form that gives beauty and sophistication requirements to various buildings in this context. Obtaining the requisite efforts for sizing a concrete structure

with this geometric shape is not so simple and requires advanced knowledge. Aiming to evaluate the nonlinear path of the moments and membrane stresses, this work presents a nonlinear static numerical investigation, via the finite element method (MEF), of cylindrical conoidal shells, subjected to uniformly distributed transverse loading incrementally applied along of its surface. This work illustrates the importance of nonlinear analysis to identify how the maximum stress positions, crucial for structural design, change along the load increment. Comparing the bending forces of two different geometries, one can observe the influence of different modes of vibration on the path of the topology, with prevalence of positive bending moments in the center, negative in the extremities and, in relation to the torsional efforts, its maximum concentration prevails near the Curved edges. It is observed at the beginning of the two curved edge conoid trajectory that the maximum compressed regions are not close to the straight edges, as in the single curved edge conoid. In addition, it is important to highlight the occurrence of shear stress peaks at the curved edges, since in the other locations of the shell the shear stress is less intense.

**KEYWORDS:** Nonlinear analysis, Cylindrical conoidal shell, Requesting effort, Finite element method.

## 1 | INTRODUÇÃO

A utilização de geometrias curvas na cobertura de edificações revolucionou a arquitetura e ganhou espaço nos últimos tempos. Além da busca pelo desenho inovador das fachadas, nem sempre é possível a utilização de formas convencionais em estruturas que necessitem grandes vãos. Chakravorty e Das (2009) especificam que a casca conoidal tem grande aplicação para coberturas que necessitam de grandes vãos. Como opção para aferir arrojo e boa resistência mecânica às coberturas de suas obras, arquitetos renomados como Félix Candela e Oscar Niemeyer utilizaram a forma da casca conoidal. Dentre várias de suas obras destacam-se o *Bacardi Rum Factory*, no México, e a Fundação Getúlio Vargas, em São Paulo, ilustrados na figura 1.



Figura 1- Cascas conoidais (a) Bacardi Rum Factory: Félix Candela (Fonte: STRUCTURAE, 2016) (b) Fundação Getúlio Vargas: Oscar Niemeyer (Fonte: FGV, 2016)

O conóide é um tipo de casca de translação formada por uma curva, contida num plano, transladada sobre outra curva, ou reta, contida em outro plano perpendicular ao primeiro. Apesar de haver estudos que versam sobre análises de cascas conoidais por métodos numéricos (Bandyopadhyay *et al* (1995); Das e Chakravorty (2009); Sahoo (2013); Cavalcanti (2015); Gonçalves e Soares (2016)) e também analíticos (Ghosh e Bandyopadhyay (1990); Stavridis (1998); Debongnie (1978)), o seu comportamento não-linear ainda não está totalmente compreendido.

Objetiva-se com este trabalho avaliar o comportamento estático não-linear dos esforços solicitantes de uma casca conoidal cilíndrica de projeção retangular no plano horizontal, bordas curvas cilíndricas e restrição às translações em todas as bordas via MEF utilizando-se o programa comercial *Abaqus 6.11*®. As não linearidades do problema são advindas da geometria que adicionam termos não lineares às equações de equilíbrio influenciando no comportamento da casca conoidal, como pode ser observado na formulação matemática apresentada a seguir. Para esse estudo, efetua-se uma análise paramétrica variando-se as alturas das bordas curvas dos conóides e avaliam-se as trajetórias não lineares dos esforços internos durante a incrementação de carga distribuída uniformemente ao longo da superfície.

## 2 | FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

Uma importante fase de avaliação de um problema físico consiste na formulação do problema matemático, pois isto rege a análise. A modelagem geométrica proposta em Moraes (2017) para a casca conoidal está ilustrada na figura 2, visualiza-se que o conóide está sujeito a um carregamento uniformemente distribuído  $\bar{q}$  ao longo de sua superfície. Além disso, a modelagem numérica considera material elástico-linear, homogêneo e isotrópico de módulo de elasticidade  $E$ , coeficiente de Poisson  $\nu$  e densidade  $\rho$ .

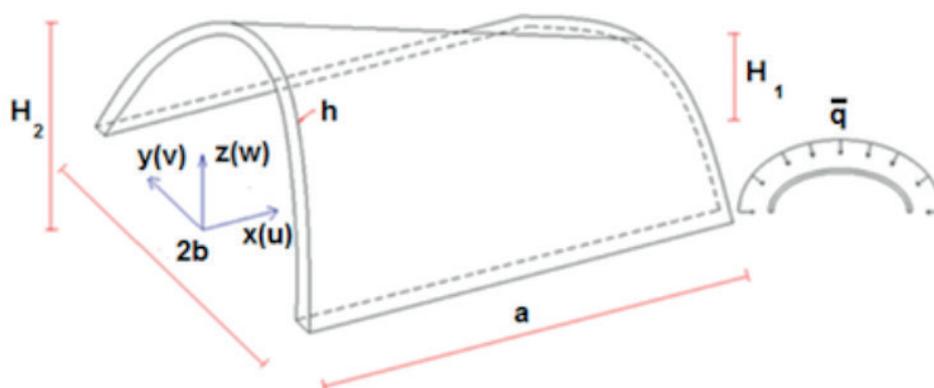


Figura 2- Casca conoidal

A geometria é definida a partir da espessura  $h$ , do comprimento no plano  $a$ , da

largura no plano  $2b$  e das alturas máximas das bordas curvas cilíndricas,  $H_2$  e  $H_1$ . Segundo Debongnie (1978), pela teoria de Marguerre a curvatura da superfície da casca é considerada no sistema de coordenadas cartesianas, não envolvendo raios de curvatura, os campos de deslocamentos  $u$ ,  $v$  e  $w$  referem-se às direções  $x$ ,  $y$  e  $z$ , respectivamente.

Para descrever a superfície da casca conoidal de variação das bordas curvas cilíndricas é apresentada por Morais (2017) a seguinte equação:

$$\bar{z}(x, y) = -(H_2 + \frac{(H_1 - H_2)}{a}x) \sqrt{1 - \frac{y^2}{b^2}} \quad (1)$$

Bandyopadhyay e Ghosh (1990) representam a carga vertical ( $\bar{q}$ ) distribuída por unidade de área da superfície da casca, sendo  $q$  a magnitude da carga distribuída na superfície da casca:

$$\bar{q} = q \left[ 1 + \left( \frac{\partial \bar{z}(x, y)}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \bar{z}(x, y)}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

Como hipótese básica, considera-se que a casca conoidal seja uma placa com uma imperfeição inicial na forma da casca conoidal. Sendo assim, as hipóteses de Kirchhoff-Love para placas esbeltas (Almroth e Brush, 1975) é utilizada na formulação matemática do conóide e os campos de deslocamentos são representados pela equação (3).

$$\bar{u} = u + z\beta_x \quad \bar{v} = v + z\beta_y \quad \bar{w} = w + \bar{z}(x, y) \quad (3)$$

Os campos de deformações não lineares no plano médio da casca conoidal abatida e suas mudanças de curvatura são dados pela equação (4), considerando-se a teoria de Von Kármán.

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= u_{,x} + \frac{1}{2}(w_{,x}^2 + 2w_{,x}\bar{z}(x, y)_{,x}) & \varepsilon_y &= v_{,y} + \frac{1}{2}(w_{,y}^2 + 2w_{,y}\bar{z}(x, y)_{,y}) \\ \gamma_{xy} &= u_{,y} + v_{,x} + w_{,x}w_{,y} + w_{,x}\bar{z}(x, y)_{,y} + w_{,y}\bar{z}(x, y)_{,x} \\ \kappa_x &= -w_{,xx} & \kappa_y &= -w_{,yy} & \kappa_{xy} &= w_{,xy} \end{aligned} \quad (4)$$

As equações (5) fornecem as deformações em qualquer ponto da casca a partir das deformações no plano médio e das mudanças de curvatura.

$$\bar{\varepsilon}_x = \varepsilon_x + z\kappa_x \quad \bar{\varepsilon}_y = \varepsilon_y + z\kappa_y \quad \bar{\gamma}_{xy} = \gamma_{xy} + 2z\kappa_{xy} \quad (5)$$

As relações constitutivas tensão-deformação para o material elástico, linear, homogêneo e isotrópico em qualquer ponto ao longo da espessura da casca são

dadas por:

$$\bar{\sigma}_x = \frac{E}{1-\nu^2}(\bar{\varepsilon}_x + \nu\bar{\varepsilon}_y) \quad \bar{\sigma}_y = \frac{E}{1-\nu^2}(\bar{\varepsilon}_y + \nu\bar{\varepsilon}_x) \quad \bar{\tau}_{xy} = \frac{E}{2(1+\nu)}\bar{\gamma}_{xy} \quad (6)$$

As relações constitutivas para os esforços normais e cisalhantes no plano são obtidas pela integração das tensões ao longo da espessura do conóide, equações (7), assim como para os momentos internos, equações (8).

$$N_x = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \bar{\sigma}_x dz \quad N_y = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \bar{\sigma}_y dz \quad N_{xy} = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \bar{\tau}_{xy} dz \quad (7)$$

$$M_x = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} z \bar{\sigma}_x dz \quad M_y = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} z \bar{\sigma}_y dz \quad M_{xy} = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} z \bar{\tau}_{xy} dz \quad (8)$$

As equações não lineares de equilíbrio são obtidas partindo-se do critério da energia potencial estacionária e através das ferramentas do cálculo variacional são obtidas três equações diferenciais não lineares de equilíbrio, equações (9)-(11). Verifica-se a presença dos deslocamentos  $u$ ,  $v$  e  $w$  sugerindo o acoplamento de todos os campos de deslocamentos, além de não linearidades cúbicas e quadráticas e do tipo de variação superficial influenciando no comportamento estrutural do conóide.

$$C\left\{\left(u_{,x} + \frac{1}{2}(w_{,x}^2 + 2w_{,x}\bar{z}(x,y)_{,x})\right) + \nu\left(v_{,y} + \frac{1}{2}(w_{,y}^2 + 2w_{,y}\bar{z}(x,y)_{,y})\right)\right\}_{,x} + \frac{1-\nu}{2}\left\{\left(u_{,y} + v_{,x} + w_{,x}w_{,y} + w_{,x}\bar{z}(x,y)_{,y} + w_{,y}\bar{z}(x,y)_{,x}\right)\right\}_{,y} = 0 \quad (9)$$

$$C\left[\frac{1-\nu}{2}\left\{\left(u_{,y} + v_{,x} + w_{,x}w_{,y} + w_{,x}\bar{z}(x,y)_{,y} + w_{,y}\bar{z}(x,y)_{,x}\right)\right\}_{,x} + \left\{\left(v_{,y} + \frac{1}{2}(w_{,y}^2 + 2w_{,y}\bar{z}(x,y)_{,y})\right) + \nu\left(u_{,x} + \frac{1}{2}(w_{,x}^2 + 2w_{,x}\bar{z}(x,y)_{,x})\right)\right\}_{,y}\right] = 0 \quad (10)$$

$$\begin{aligned} & -D\left\{\left\{w_{,xx} + \nu w_{,yy}\right\}_{,xx} + 2(1-\nu)\left(\frac{1}{2}(w_{,xy} + w_{,yx})\right)_{,xy} + (w_{,yy} + \nu w_{,xx})_{,yy}\right\} \\ & -C\left\{\left\{\left(u_{,x} + \frac{1}{2}(w_{,x}^2 + 2w_{,x}\bar{z}(x,y)_{,x})\right) + \nu\left(v_{,y} + \frac{1}{2}(w_{,y}^2 + 2w_{,y}\bar{z}(x,y)_{,y})\right)\right\}w_{,x} + \frac{1-\nu}{2}\left(u_{,y} + v_{,x} + w_{,x}w_{,y} + w_{,x}\bar{z}(x,y)_{,y} + w_{,y}\bar{z}(x,y)_{,x}\right)w_{,y}\right\}_{,x} \\ & -C\left\{\left\{\left(v_{,y} + \frac{1}{2}(w_{,y}^2 + 2w_{,y}\bar{z}(x,y)_{,y})\right) + \nu\left(u_{,x} + \frac{1}{2}(w_{,x}^2 + 2w_{,x}\bar{z}(x,y)_{,x})\right)\right\}w_{,y} + \frac{1-\nu}{2}\left(u_{,y} + v_{,x} + w_{,x}w_{,y} + w_{,x}\bar{z}(x,y)_{,y} + w_{,y}\bar{z}(x,y)_{,x}\right)w_{,x}\right\}_{,y} = \bar{q} \end{aligned} \quad (11)$$

Onde  $C = E h / (1 - \nu^2)$  e  $D = E h^3 / 12(1 - \nu^2)$  são, respectivamente, os parâmetros

de rigidez de membrana e de flexão.

Ainda segundo Morais (2017), objetivar uma análise analítica da casca conoidal exige uma solução muito complicada, ou até mesmo impossível, para as equações de equilíbrio e o MEF é um método numérico para obtenção de aproximações aos resultados destes problemas. Nesse sentido, as análises estáticas não lineares que serão apresentadas no próximo capítulo se darão somente a partir dos resultados obtidos por modelagem computacional via MEF utilizando o programa comercial *ABAQUS 6.11®*.

Alguns aspectos da formulação dos elementos finitos devem ser destacados, pois influenciam no comportamento do problema apresentado. Dentre estes, os graus de liberdade são as variáveis fundamentais de análise e os de translação e rotação são os mais corriqueiros em problemas de engenharia. Os nós também são itens importantes destacar, estes são os pontos onde são aplicadas as condições de contorno, carregamentos e são calculados os graus de liberdade dos elementos e nos demais pontos, as variáveis são obtidas por interpolação a partir das informações obtidas no nó.

O elemento utilizado é o STRI3, ilustrado na Figura 3. Segundo o manual do *ABAQUS 6.11®*, a formulação satisfaz a teoria de Kirchhoff, como na formulação apresentada neste capítulo, e considera somente pequenas deformações. Para o STRI3, não há alterações nas análises com relação à mudança da espessura do elemento durante a deformação, é um elemento de casca, triangular, contendo três nós sem existência de nós intermediários, resultando em interpolação linear, ou de primeira ordem. O *ABAQUS 6.11®* aplica técnicas numéricas para integrar ao longo do volume de cada elemento usando quadratura Gaussiana para a maioria dos casos e avaliando a resposta do material em cada ponto de integração, ou pontos de Gauss, ilustrados pelo símbolo “X” na Figura 3.

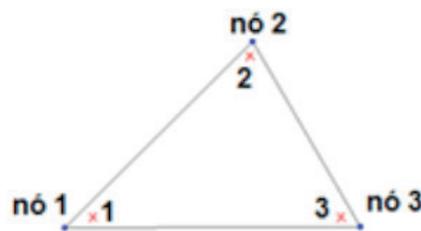


Figura 3- Elemento finito STRI3 (Morais, 2017)

As não linearidades do problema são devidas à geometria e são descritas nos termos não lineares nas equações de equilíbrio e, para solucioná-las o programa *Abaqus®* combina processos de iteração e de incrementação do carregamento aplicado através do método de Newton-Raphson. Quando na trajetória de equilíbrio há perda da capacidade de carga utiliza-se o método numérico de Riks, método de

procedimento de comprimento de arco no qual tanto os graus de liberdade a cada passo de aplicação do carregamento, quanto à magnitude de carregamento imposta à estrutura funcionam como incógnitas a resolver.

### 3 | RESULTADOS NUMÉRICOS

Considera-se uma casca conoidal constituída de material elástico, linear, homogêneo e isotrópico com módulo de elasticidade  $E = 14 \text{ GPa}$ , coeficiente de Poisson  $\nu = 0,3$  e densidade  $\rho = 2548,42 \text{ kg/m}^3$  submetida a um carregamento uniformemente distribuído na superfície,  $\bar{q}$ , e deslocamentos translacionais impedidos nas quatro bordas. A geometria é a apresentada na figura 2, de comprimento  $a = 6\text{m}$ , largura  $2b = 8\text{m}$  e espessura  $h = 0,06\text{m}$ . As duas bordas no sentido de “a” são consideradas retas, a altura da borda curva  $H_2 = 1,50\text{m}$ , localizada na borda  $x = 0$ , e a borda  $H_1$ , localizada na borda  $x = a$ , é considerada em duas variações:  $H_1 = 0\text{m}$  para a Geometria 1 e  $H_1 = 1,50\text{m}$  para a Geometria 2. A malha de 9600 elementos finitos STRI3 utilizada no programa Abaqus® é ilustrada na figura 4 para a Geometria 1.



Figura 4- Malha de elementos finitos STRI 3 para Geometria 1.

### 4 | ANÁLISE ESTÁTICA NÃO LINEAR DOS ESFORÇOS DE MEMBRANA

Uma análise essencial para o dimensionamento de estruturas de coberturas é a variação dos esforços solicitantes internos. Os esforços de membrana geram compressão, ou tração, e cisalhamento em pontos diferentes da superfície. Nesta seção, avalia-se a variação da trajetória de equilíbrio dos esforços normais e de cisalhamento ao longo da incrementação de carregamento, comparando-se as geometrias 1 e 2. Percebe-se que a variação das alturas das bordas produzem trajetórias não lineares diferenciadas. Para este estudo utilizou-se o ponto de observação localizado no centro dos conóides, além dos pontos de observação na trajetória de equilíbrio denominados  $M_1$ ,  $M_2$  e  $M_3$  posicionados de forma a ilustrar os esforços na mesma coordenada de carregamento para as Geometrias consideradas.

Através da figura 5, podem-se verificar como as não linearidades geométricas

das equações de equilíbrio influenciaram para a obtenção de trajetórias não lineares entre as geometrias para os esforços normais,  $N_x$ . Nota-se que, em pontos inferiores a 200 kN/m<sup>2</sup> de carga,  $M_1$ , a Geometria 1 apresenta este esforço com magnitudes superiores à Geometria 2.

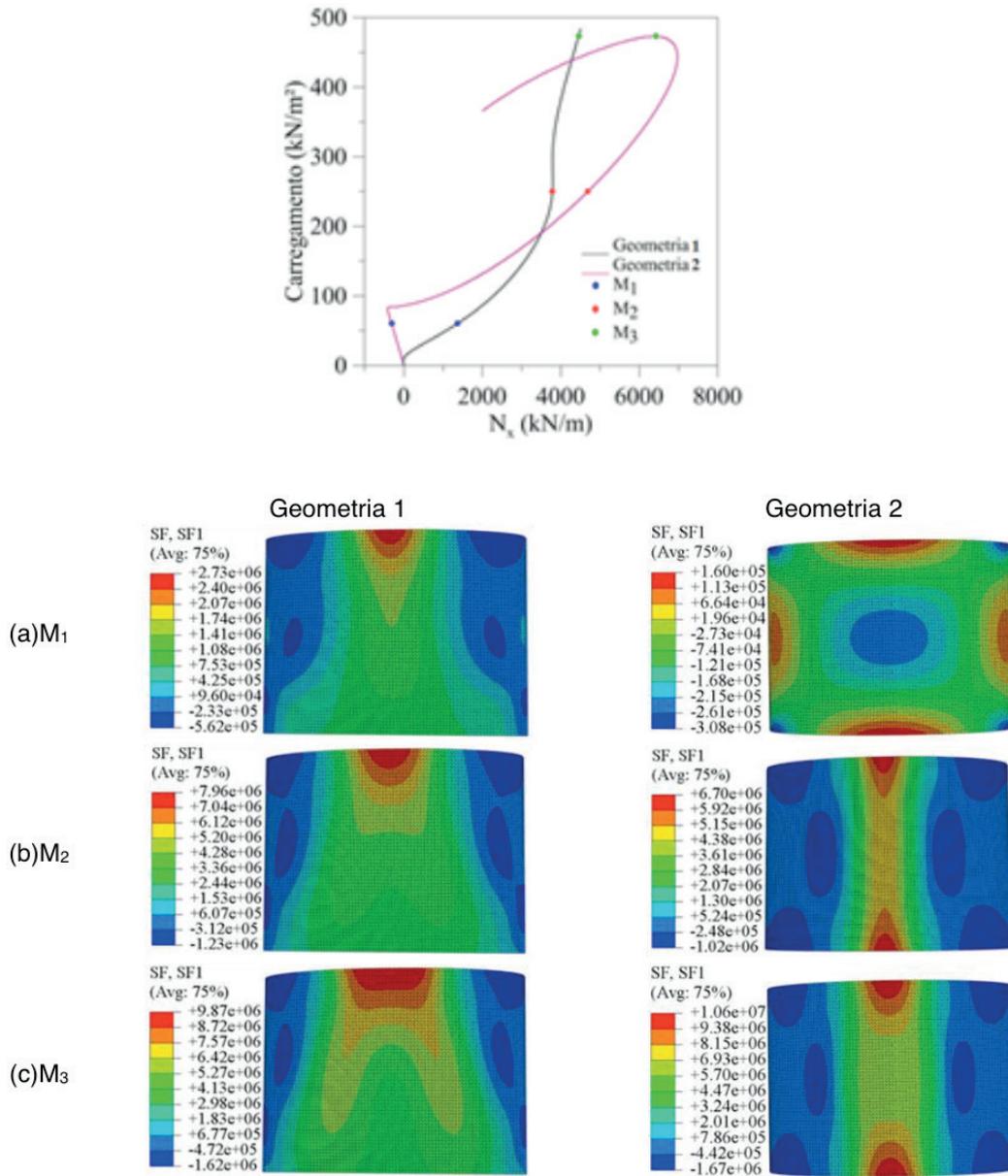


Figura 5- Trajetória não linear de  $N_x$  do conóide cilíndrico

A Geometria 1 é caracterizada pelas regiões das bordas “a” serem predominantemente comprimidas e pela existência de regiões com picos de tração nas proximidades das bordas curvas  $H_2$ . Nota-se, em  $M_1$  na Geometria 2, a existência de tração no centro das bordas extremas com compressão nos quatro cantos no início da trajetória, cenário este que se modifica ao incrementar carregamento,  $M_2$  e  $M_3$ , cuja compressão passa a ser presente em faixas paralelas próximas às bordas retas e a tração preponderante no centro da casca. Observa-se ainda que o esforço de membrana  $N_x$  é simétrico em torno do eixo x e em torno do eixo y é simétrico para

a Geometria 2 e assimétrico para a Geometria 1.

Outro esforço de membrana com trajetórias não lineares de grandes magnitudes em várias regiões dos conóides são os esforços normais  $N_y$  ilustrados na figura 6.

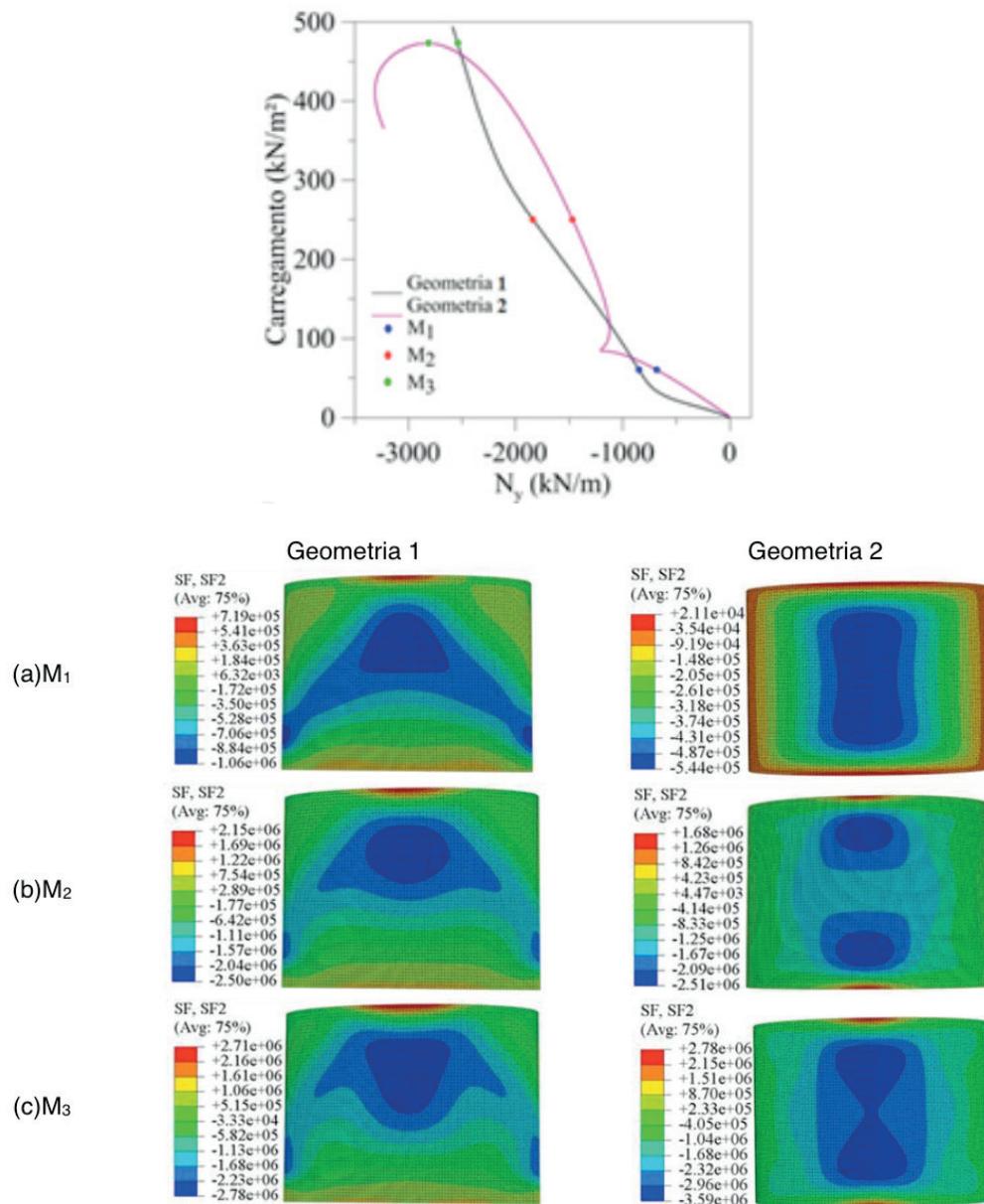


Figura 6- Trajetória não linear de  $N_y$  do conóide cilíndrico

Percebe-se a distribuição simétrica de  $N_y$  em torno do eixo  $y$  e, na Geometria 1, a existência de faixas de compressão não lineares entre as bordas “a”, além de tração, de menor concentração, nas bordas  $H_n$ . Já no conóide de Geometria 2, observou-se uma alta concentração de compressão na parte central durante toda a trajetória de equilíbrio.

Na Figura 7, podem ser visualizadas as distribuições dos esforços normais cisalhantes no plano,  $N_{xy}$ . Verifica-se que, no ponto estudado, as magnitudes do esforço cisalhante são inferiores aos demais esforços de membrana havendo regiões de picos próximos às bordas curvas. Observa-se ainda, como esperado, a

distribuição antissimétrica em torno do eixo y e em torno do eixo x: antissimetria na Geometria 2 e assimetria na Geometria 1.

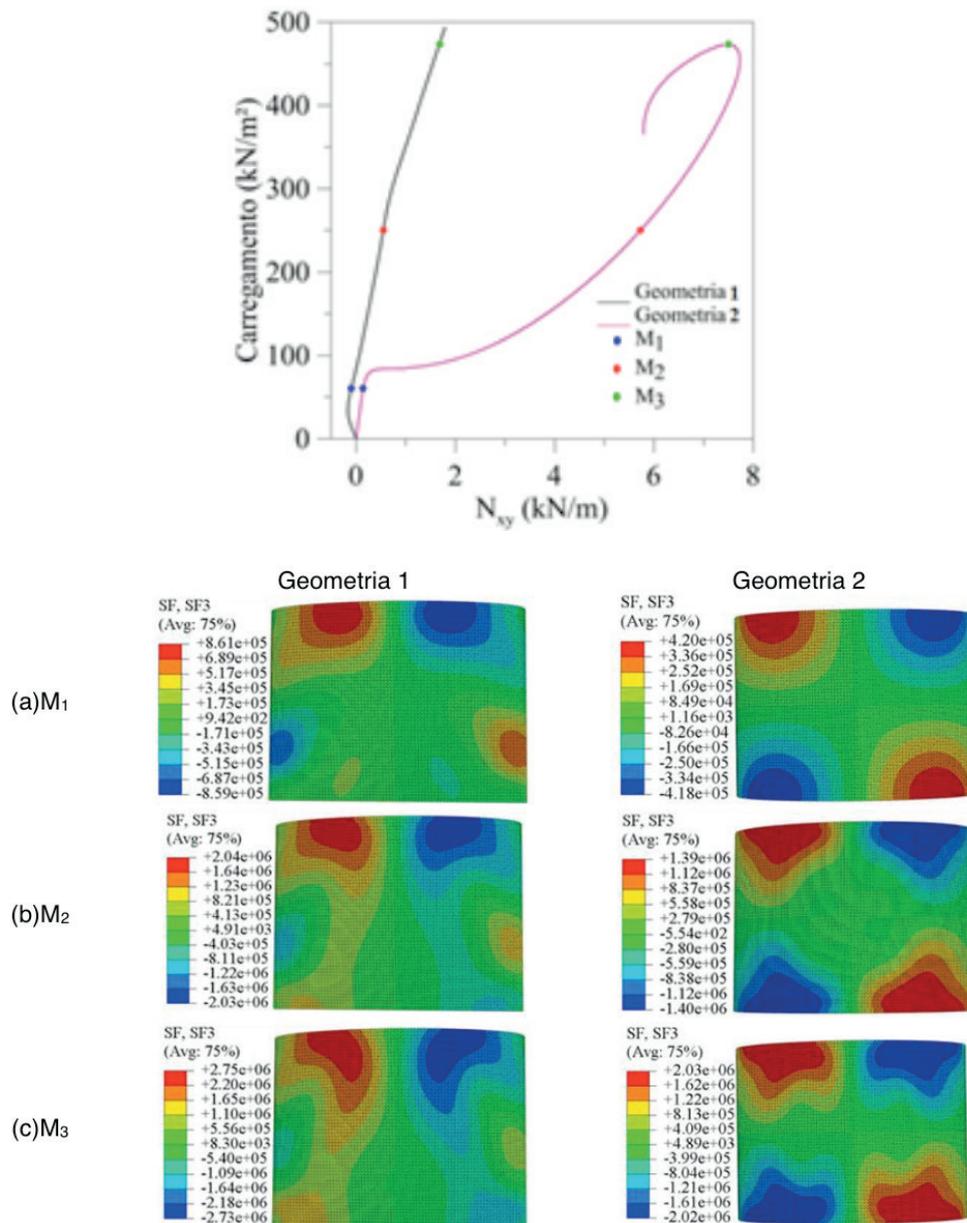


Figura 7- Trajetória não linear de  $N_{xy}$  do conóide cilíndrico

Por fim, destaca-se que no ponto de observação,  $P_3$ , em todos os conóides a incrementação do carregamento transversal provocou maiores valores das resultantes de membrana no ponto de observação na trajetória de equilíbrio  $M_1$ . A seguir, destacam-se as considerações observadas a cerca da trajetória não linear dos momentos internos.

## 5 | ANÁLISE ESTÁTICA NÃO LINEAR NOS MOMENTOS INTERNOS

Outra análise crucial para o dimensionamento de estruturas de coberturas é a variação dos momentos internos. Nesta seção verificam-se como as não

linearidades geométricas das equações de equilíbrio influenciaram para a obtenção de comportamento não linear ao longo da incrementação de carga. Na figura 8 observam-se as diferenciadas trajetórias dos conóides quando a altura da borda  $H_1$  é alterada, verifica-se no ponto de análise  $M_1$  que a Geometria 1 conferiu maiores esforços solicitantes em relação a Geometria 2. No entanto, no decorrer da incrementação de carga este cenário varia não linearmente.

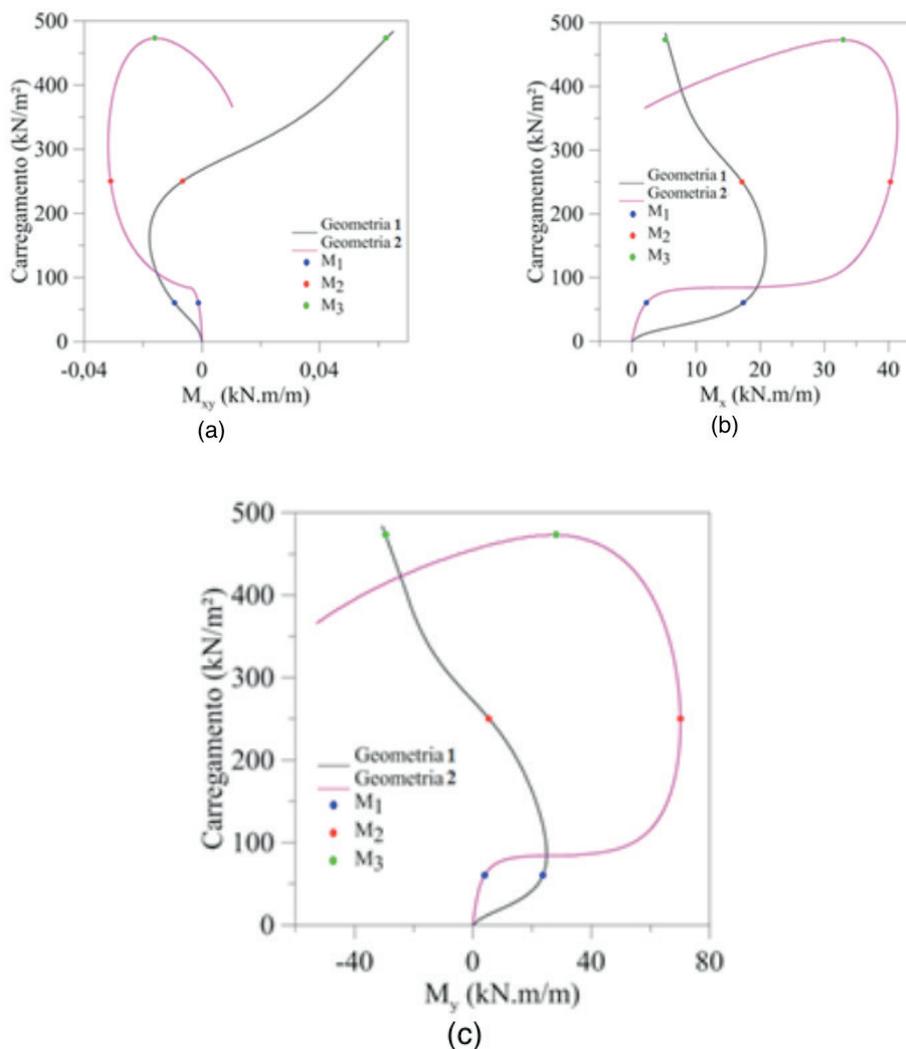


Figura 8- Trajetória não linear dos esforços solicitantes (a) Torção (b) Flexão em x (c) Flexão em y.

Na Figura 9 são apresentadas as topologias das trajetórias não lineares do momento torçor,  $M_{xy}$ . Observa-se a distribuição praticamente uniforme na parte central das cascas conoidais e picos máximos próximos às bordas curvas. É interessante destacar o comportamento das topologias, nas quais os momentos torçores se distribuem de forma antissimétrica, em torno dos eixos  $x$  e  $y$ , e também nas quais o incremento de carregamento provocou nos conóides de Geometria 1 maiores distribuições dos picos máximos rumo a superfície central do conóide devido à inclinação entre as bordas curvas.

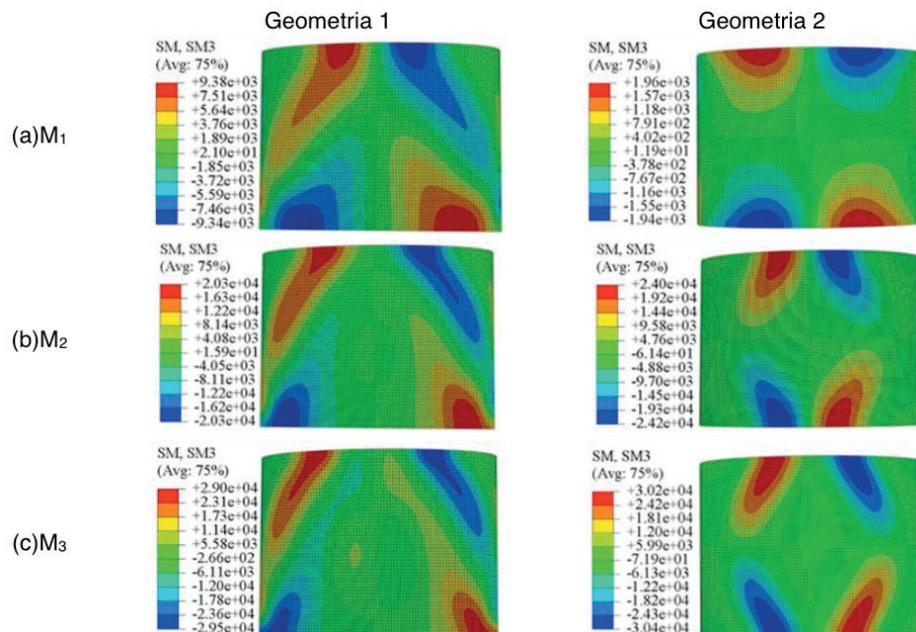


Figura 9- Trajetória não linear de  $M_{xy}$  do conóide cilíndrico

O comportamento não linear das topologias do momento fletor,  $M_x$ , pode ser visualizado na figura 10 e do momento  $M_y$ , na figura 11. Visualizam-se nestas duas figuras que a distribuição destes esforços é simétrica, em torno do eixo  $y$ , independentemente da geometria. Nota-se ainda que na Geometria 1 há uma distribuição maior de momentos positivos na região central em relação à Geometria 2, porém nas duas geometria visualiza-se uma concentração de momentos negativos próximos às bordas retas “a” e momento positivos na parte central. É interessante ressaltar que ao longo da trajetória de equilíbrio, o número de semi-ondas aumenta, o que sugere a influência de diferentes modos de vibração para manter o equilíbrio com o aumento de carga.

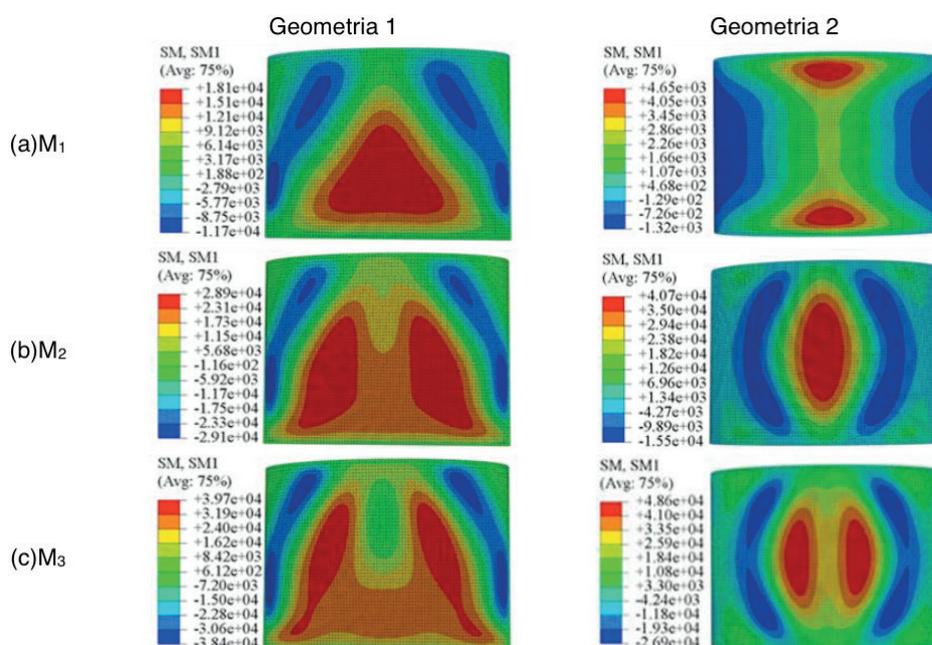


Figura 10- Trajetória não linear de  $M_x$  do conóide cilíndrico

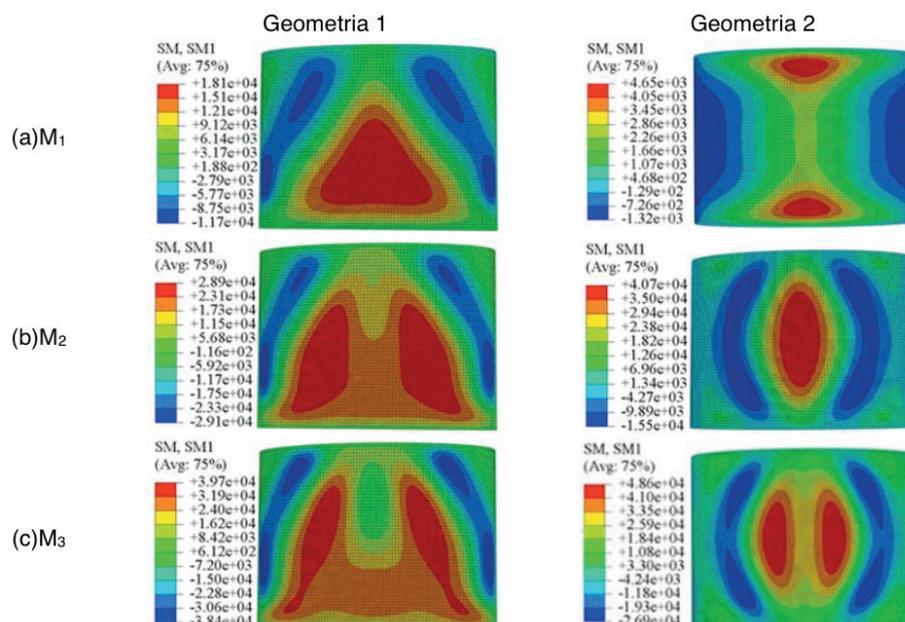


Figura 11- Trajetória não-linear de  $M_y$  do conóide cilíndrico

## 6 | CONCLUSÕES

A utilização do MEF tornou possível a solução aproximada do problema de difícil solução analítica do conóide cilíndrico apresentada neste trabalho. Este estudo evidencia a importância da consideração das não linearidades geométricas. Em conjunto com a variação das alturas das bordas curvas do conóide resulta em comportamentos altamente não lineares. Nos quais as posições de pico dos esforços solicitantes, importantes ao dimensionamento estrutural, variam ao longo da incrementação de carga.

## REFERÊNCIAS

ABAQUS 6.11. ABAQUS/CAE User's Manual. Dassault Systemes, USA, 2011.

Bandyopadhyay, J. N.; Chakravorty, D.; Sinha, P. K. 1995, Finite element free vibration analysis of conoidal shells, Computers & Structures, v. 56, n. 6, p. 975-978.

Chakravorty, D.; Das, H. S. 2009, A finite element application in the analysis and design of point-supported composite conoidal shell roofs: suggesting selection guidelines, Departamento de Engenharia Civil, Univesidade de Jadavpur, Kolkata, Índia.

Morais, D. L. A. 2017, Análise estática não-linear de cascas conoidais, Dissertação de Mestrado, PPG-GECON/UFG, Goiânia.

Sahoo, S. 2013, Dynamic characters of stiffened composite conoidal shell roofs with cutouts: design aids and selection guidelines, Hindawi Publishing Corporation Journal of Engineering, p. 18. ID 230120

Cavalcanti, L. V. 2015, Análise da estabilidade e vibrações de cascas conoidais abatidas, Dissertação

de Mestrado em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p. 154.

Gonçalves, P. B.; Soares, R. M (2016), Análise numérica do comportamento não-linear estático e dinâmico de cascas conoidais, In: Proceedings of the 37th CILAMCE Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, Brasília.

Bandyopadhyay, J. N. A. Ghosh, B. 1990, Approximate bending analysis of conoidal shells using the Galerkin method, Computers e Structures, Great Britain, 36, n. 5, p. 801-805.

Stavridis, L. T. 1998, Dynamic analysis of shallow shells of rectangular base, Journal of Sound and Vibration, 861-882, sv981907.

Debongnie, J. F. 1978, Physical interpretation and generalization of Marguerre's shallow shell theory, Int J. Eng Sci. v. 17, p. 387-399.

Almroth, B. O.; Brush, D. O. 1975, Buckling of Bars, Plates and Shells. USA: McGraw-Hill Book Company, Inc.

STRUCTURAE. Felix Candela: Biographical Information. International Database for Civil and Structural Engineering. Disponível em: <<https://structurae.net/persons/felix-candela>> Acesso: 25/03/2016

FGV. Torre Oscar Niemeyer: Galeria de fotos. Fundação Getúlio Vargas. Disponível em:< <http://torre-oscar-niemeyer.fgv.br/galeria>>. Acesso: 25/03/2016.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**Helenton Carlos da Silva** - Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2007), especialização em Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável pelo Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (2010) é MBA em Engenharia Urbana pelo Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (2014), é Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Estadual de Ponta Grossa (2016), doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa e pós-graduando em Engenharia e Segurança do Trabalho. A linha de pesquisa traçada na formação refere-se à área ambiental, com foco em desenvolvimento sem deixar de lado a preocupação com o meio ambiente, buscando a inovação em todos os seus projetos. Atualmente é Engenheiro Civil autônomo e professor universitário. Atuou como coordenador de curso de Engenharia Civil e Engenharia Mecânica. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em projetos e acompanhamento de obras, planejamento urbano e fiscalização de obras, gestão de contratos e convênios, e como professor na graduação atua nas seguintes áreas: Instalações Elétricas, Instalações Prediais, Construção Civil, Energia, Sustentabilidade na Construção Civil, Planejamento Urbano, Desenho Técnico, Construções Rurais, Mecânica dos Solos, Gestão Ambiental e Ergonomia e Segurança do Trabalho. Como professor de pós-graduação atua na área de gerência de riscos e gerência de projetos.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Agregado 99, 123, 124, 164, 165  
Ambiental 60, 86, 88, 89, 96, 101, 102, 103, 104, 105, 110, 111, 112, 113, 137, 183  
Análise não linear 169  
Argamassa 114, 115, 116, 117, 118, 119, 121, 123, 125, 126, 133, 142  
Árvore solar 61, 62  
Autoetnográfico 31, 33  
Automação de alta eficiência 61  
Avaliação de pavimento flexível 152  
Avanços tecnológicos 102

### B

Benefícios 10, 86  
Big data 44, 45, 49, 51, 52, 53  
Bim 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 21, 24, 29, 30, 44, 45, 48, 49, 50, 51, 52, 53  
Bioclimatologia 55  
Blocos de vedação 127, 129, 132, 136, 137

### C

Captação de água 98, 99, 101  
Caracterização de pavimento 152  
Cerâmica vermelha 127, 129, 130, 131, 132, 135, 136, 137  
Cidades inteligentes 13  
Concreto poroso 98, 99  
Concreto reforçado com fibras 120, 124, 126  
Construção civil 1, 5, 7, 13, 14, 30, 72, 79, 81, 84, 85, 98, 114, 120, 126, 128, 129, 164, 167, 168, 183

### D

Defeitos de pavimentos 152  
Drenagem superficial 138, 141, 148, 149

### E

Eficiência 7, 55, 56, 61, 62, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 92, 102, 111  
Energia eólica 79, 80, 81, 85  
Energia renovável 61, 80, 81  
Engenharia civil 1, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 31, 32, 35, 101, 119, 126, 161, 162, 163, 169, 181, 182, 183  
Ensino superior 1, 3, 5, 9, 183  
Esforços solicitantes 169, 171, 175, 179, 181

## F

Fibras de polipropileno 114, 115, 116, 117, 119

Fibras poliméricas 120, 126

Fissuras 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 122, 151, 160, 161, 168

Frequência natural 72, 74, 76, 77

## G

Geotecnologias 102, 104, 105, 106, 107, 110, 111, 112, 113

Gestão do conhecimento 36, 49

Granulometria 163, 164, 168

## H

Habitação sustentável 55

## I

Internet das coisas 49

## M

Método dos elementos finitos 169

## P

Painéis alveolares 72, 77

Perícia ambiental 102, 105, 111, 112

## R

Realidade virtual e aumentada 44

Reaproveitamento de água 98

Resíduos 62, 127, 128, 131, 136, 137

Retração 114, 115, 116, 118, 119, 133, 135, 136

Reuso 86, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 95, 96, 97

Rodovias 104, 122, 138, 140, 141, 147, 150, 152, 162

## S

Sig 102, 104, 107, 108, 110, 111

Sistema de drenagem 138, 140, 141, 148, 149, 150

Solo 93, 105, 106, 107, 111, 112, 113, 142, 143, 144, 163, 164, 165, 166, 167, 168

Sustentabilidade 18, 79, 81, 82, 84, 85, 98, 101, 107, 112, 183

## V

Verificação automatizada de conformidade 13

Vibrações excessivas 72, 75, 77

