



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. Liliani 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 Eduarda 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>
ESTUDO DE CASO DE PAINEL SALVEOLARES SUJEITOS AO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO DE VIBRAÇÕES EXCESSIVAS	
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>
MINIGERADOR EÓLICO: INTRODUÇÃO AO USO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	
Roberta Costa Ribeiro da Silva	
Daiane Caroline Wagner	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0592013019</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>86</b>
REUSO DE ÁGUAS CINZAS EM RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR: ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA E FINANCEIRA DA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA	
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>
SISTEMA DE CAPTAÇÃO E REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA ATRAVÉS DE CONCRETO POROSO	
Ana Beatriz De Oliveira Silva	
Jonatha Roberto Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.05920130111</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>102</b>
O USO DE GEOTECNOLOGIAS EM PERÍCIAS AMBIENTAIS: VANTAGENS E AVANÇOS TECNOLÓGICOS	
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>
ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRA DE POLIPROPILENO NA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO EM RELAÇÃO À RESISTÊNCIA À RETRAÇÃO POR SECAGEM	
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>

## APRENDIZADOS NO ENSINO DE BIM EM UMA UNIVERSIDADE PÚBLICA DE INTERIOR

Data de aceite: 11/12/2019

### Leandro Tomaz Knopp

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus Macaé, Professor do Curso de Graduação em Engenharia Civil

### Pedro Gomes Ferreira

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus Macaé, Graduando em Engenharia Civil

### Bruno Barzellay Ferreira da Costa

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus Macaé, Professor do Curso de Graduação em Engenharia Civil

**RESUMO:** A utilização do *Building Information Modelling* na Construção Civil vem sendo reconhecida como uma forma de aperfeiçoar a precisão, a produtividade e a qualidade em projetos de Arquitetura e Engenharia. A formulação de políticas públicas de incentivo ao uso do BIM tem se mostrado uma estratégia interessante para promover este conceito, entretanto, a escassa abordagem dentro dos cursos de graduação nestas áreas dificulta a formação de profissionais preparados para enfrentar os desafios do mercado de trabalho moderno. Este trabalho teve como objetivo descrever os resultados de uma iniciativa no ensino do BIM na Universidade Federal do Rio de Janeiro, campus UFRJ-Macaé, mais

especificamente no curso de graduação em Engenharia Civil. Para tanto, foi realizada uma retrospectiva quanto à criação deste curso em um campus do interior, onde foi redesenhada sua trajetória curricular até o presente momento, culminando com o oferecimento de uma disciplina eletiva especificamente criada para o ensino do BIM. Os resultados e sugestões propostos pela pesquisa são fruto da experiência adquirida pelo fundador da disciplina ao longo dos quase três anos pelos quais ela tem sido oferecida. Conclui-se que é extensa a quantidade de alunos interessados em aprender sobre este novo modelo de trabalho, mas que poucos docentes vêm se dedicando a implementá-lo como parte integrante da metodologia utilizada em suas disciplinas, o que traria muito mais dinamismo ao aprendizado, propiciando a formação de um profissional mais completo.

**PALAVRAS-CHAVE:** BIM; Ensino superior; Engenharia Civil.

### LEARNINGS IN BIM TEACHING AT AN INTERIOR PUBLIC UNIVERSITY

**ABSTRACT:** The use of Building Information Modeling in Civil Construction has been recognized as a way to improve accuracy, productivity and quality in engineering and architecture projects. Public policies formulation

to encourage the use of BIM has proved to be an interesting strategy to promote this concept, however, the scarce approach within undergraduate courses in these areas makes it difficult to train professionals prepared to face the challenges of the modern labor market. This paper aimed to describe the results of an initiative in the BIM teaching at the Federal University of Rio de Janeiro, UFRJ-Macaé, more specifically in the undergraduate degree in Civil Engineering. To this end, a retrospective was conducted on the creation of this course on an inland campus, where its curriculum trajectory has been redesigned to the present moment, culminating in the offer of an elective subject specifically created for the teaching of BIM. The suggestions proposed by the research are result of the experience acquired by the discipline founder over the almost three years for which it has been offered. It is concluded that there is a large number of students interested in learning about this new work model, but few teachers have been dedicated to implement it as an integral part of the methodology used in their subjects, which would bring much more dynamism to learning, providing the formation of a more complete professional.

**KEYWORDS:** BIM; University education; Civil Engineering.

## 1 | INTRODUÇÃO

A relevância e a evolução da adoção dos conceitos de *Building Information Modelling* – BIM, na indústria de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação – AECO, apresentaram crescimento notável nas últimas décadas, exigindo cada vez mais dos profissionais da área um maior conhecimento acerca dos conceitos envolvidos e pleno domínio de suas principais ferramentas (EASTMAN et al., 2013).

O mercado tem absorvido com afinco tal demanda através da implantação de variadas estratégias, de forma a atender paulatinamente as exigências do Decreto Federal nº 9.377/2018 - Estratégia Nacional de Disseminação do BIM. Conhecido como Estratégia BIM BR, foi revogado e reeditado pelo Decreto nº 9.983/2019 que dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM e institui o Comitê Gestor da Estratégia do BIM. Entretanto, apesar dos decretos de iniciativa do governo federal, o setor público, assim como a academia, não vem acompanhando este avanço na mesma velocidade, podendo-se observar certa resistência na implementação do BIM em projetos de infraestrutura urbana, nas grades curriculares dos cursos superiores de Arquitetura e Engenharia e na pesquisa científica.

Ruschel et al. (2013) elaboraram um levantamento sobre o ensino de BIM em cursos de graduação no Brasil, o qual relata que apenas cinco instituições apresentaram casos que pudessem ser considerados promissores: Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Centro Universitário Barão de Mauá – CBM, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar e Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. UFAL e MACKENZIE situam-se

em Maceió e São Paulo, respectivamente, ambas capitais estaduais. CBM, UFSCar e UNICAMP encontram-se sediadas em Ribeirão Preto, São Carlos e Campinas, respectivamente, cidades pertencentes ao próspero interior do estado de São Paulo, com proximidade de apenas 250 quilômetros da capital paulista. Ou seja, todas as cidades referenciadas no estudo, sejam capitais ou cidades do interior, são territórios onde há abundância de investimentos públicos e privados, além de um maior acesso à educação de qualidade, fator este que pode ser considerado um aspecto importante para a estrutura das universidades, auxiliando na implementação de iniciativas BIM em tais cursos.

Apesar dos poucos casos de destaque, o estudo de Ruschel et al. (2013) constata a diversidade de experiências em cursos de Arquitetura, Urbanismo e Engenharia Civil que abordam BIM no Brasil desde 2006. No entanto, a maioria das experiências relatadas aborda o ensino de BIM apenas em disciplinas isoladas (GUESTA et al., 2019), ou seja, sem integração curricular. Assim, observa-se que a inserção do BIM no currículo é tímida mesmo em regiões mais desenvolvidas, e a tendência é que no interior o cenário seja ainda mais deficiente. Diante de tais condições, é possível constatar que mesmo em nível nacional, ainda não se detectam ações concretas que indiquem reconhecimento do BIM como meio de acompanhar as demandas do mercado, gerando defasagem conceitual e tecnológica aos formandos.

## 2 | OBJETIVO

A Estratégia BIM BR exige em seu objetivo IV constante no 2º parágrafo do decreto que:

“...o profissional tenha conhecimento desse novo processo e esteja capacitado para as implicações decorrentes dessa mudança de paradigma. Isso é fator fundamental para que o BIM seja efetivamente compreendido, adotado e consolidado no mercado brasileiro”.

Um das ações desse objetivo é: “Estimular maior inserção do BIM nas disciplinas de graduação e pós-graduação em Engenharia e Arquitetura”.

Balizando-se nesta última ação do decreto, adotou-se como premissa o estado ainda incipiente do cenário de implementação de estratégias BIM em que se encontra a academia brasileira. Esta condição é visível nas instituições de ensino superior dos grandes centros urbanos, mas pode se refletir com maior intensidade em universidades das cidades de pequeno e médio porte do interior do país. É o caso da experiência relatada no presente trabalho sobre uma universidade pública do interior do Estado do Rio de Janeiro que, por conta de fatores diversos, enfrenta dificuldades na operacionalização dos seus cursos de graduação e pós-graduação.

Assim, o objetivo deste artigo é descrever os resultados de uma iniciativa no ensino de BIM na Universidade Federal do Rio de Janeiro, campus UFRJ-Macaé Professor Aloísio Teixeira, mais especificamente no curso de graduação em Engenharia Civil.

### 3 | MÉTODO

Este artigo é fruto de um trabalho apresentado anteriormente no 1º Encontro Nacional sobre o Ensino de BIM – ENEBIM, realizado entre os dias 17 e 19 de setembro de 2018 na UNICAMP – SP. Em tal ocasião, foi elaborado um resumo expandido com o conteúdo estudado e apresentado sob o formato de pôster no evento. Para a publicação no presente livro, o trabalho anterior foi novamente formatado e seu conteúdo explorado mais a fundo de forma a aumentar o nível de detalhes e a clareza do texto.

Como procedimento metodológico para a criação deste estudo adotou-se fontes de informações distintas, as quais foram cruzadas para compor os argumentos necessários, são elas:

- Legislação específica, artigos em periódicos nacionais e internacionais, anais de eventos e um livro base das teorias do BIM, para a construção da fundamentação teórica;
- Declarações pessoais de três envolvidos diretamente na disciplina eletiva criada em 2016 para o ensino de BIM na Universidade onde o estudo foi realizado: o coordenador do curso de graduação em Engenharia Civil à época, professor Bruno Barzellay; o responsável pela elaboração da ementa e por lecionar o conteúdo, professor Leandro Knopp; e o discente Pedro Gomes, um dos alunos que cursou a disciplina.
- Dados do Sistema Integrado de Gestão Acadêmica – SIGA, da UFRJ sobre alunos matriculados em turmas do curso de graduação em Engenharia Civil da UFRJ-Macaé.

### 4 | UM BREVE HISTÓRICO DA UFRJ-MACAÉ

O campus Macaé professor Aloísio Teixeira foi uma iniciativa de profissionais ligados à educação de interiorizar a Universidade Federal do Rio de Janeiro. A UFRJ estava presente no município desde a década de 1980 através de pesquisas do Instituto de Biologia. Em 2005 foi institucionalizado o Núcleo de Pesquisas em Ecologia e Desenvolvimento Socioambiental – NUPEM, motivando outros institutos a criarem cursos na cidade. Em 2008 foi inaugurada a Cidade Universitária em parceria com a Prefeitura Municipal de Macaé. Com estrutura integrada, não departamental e certo nível de autonomia administrativa e pedagógica, estabeleceu o tripé Ensino-

Pesquisa-Extensão no norte fluminense.

O campus constitui-se fisicamente de três polos (Cidade Universitária, Barreto e Ajuda), totalizando onze cursos de graduação e três cursos de pós-graduação stricto sensu em nível de mestrado e um curso em nível de doutorado. Além da UFRJ, a Cidade Universitária é compartilhada pela Universidade Federal Fluminense – UFF, e a Faculdade Municipal de Macaé Professor Miguel Ângelo da Silva Santos – FeMASS. Este representa um modelo de parceria inovador no País, firmado entre instituições públicas municipais e federais, orientado para otimização da administração educacional de ensino superior. É relevante citar que a UFRJ-Macaé possui aproximadamente 2,5 mil alunos com matrícula ativa, o que representa cerca de 1% da população do município de Macaé, estimada em 256 mil habitantes pelo IBGE (2019). Somando-se as demais universidades, frequentam o campus diariamente cerca de 5 mil pessoas entre docentes, discentes, técnicos-administrativos e terceirizados.

Em 2011 iniciou-se a primeira turma de graduação em Engenharia. A proposta enxuta do campus compartilhou o ciclo básico entre as três formações oferecidas: Engenharia de Produção, Engenharia Civil e Engenharia Mecânica. A criação da primeira grade curricular, baseada em experiências de universidades internacionais, tinha por objetivo a formação de um profissional mais generalista com conhecimento básico das três Engenharias lecionadas na graduação. Porém essa proposta se mostrou ineficiente se fazendo necessária uma grande readequação curricular, sobretudo para o curso de Engenharia Civil, visto que o mesmo demanda o estudo aprofundado de problemas e soluções relacionados à infraestrutura nas suas várias áreas.

A primeira turma adentrou o ciclo profissional no ano de 2013, com um currículo subdividido entre as áreas de Saneamento e Hidrologia, Transportes, Estruturas, Geotecnia, e Tecnologia das Construções, esta última englobando disciplinas direcionadas à temática da gestão na Construção Civil, tais como: Engenharia Econômica, Edificações, Gestão de Projetos e Planejamento de Obras. Informações ou conhecimentos sobre BIM não eram contemplados, seja como disciplina específica ou como parte de outros conteúdos, produzindo uma lacuna na formação dos alunos. Diante dessa defasagem e do desejo de um ensino mais integrado, com uma perspectiva tecnológica mais acentuada para a Construção Civil, foi exposta à coordenação a necessidade de abordar o tema e incluí-lo no currículo. A iniciativa representou uma conquista importante, uma vez que, diante das dificuldades de uma universidade recém-criada e interiorizada, inseriu o BIM no curso de graduação em Engenharia Civil de Macaé.

## 5 | BIM NA ENGENHARIA

De acordo com Salgado (2018) há duas concepções acerca da implementação do BIM nos cursos de Arquitetura e Engenharia. O ensino do BIM, que sugere a criação de uma ou mais disciplinas isoladas e/ou atividades, sem haver integração na transmissão do conhecimento com as demais disciplinas do curso, mas com carga horária exclusiva para enfoque no tema. Ou o BIM no ensino, que significa a inserção dos conceitos, metodologias e práticas BIM nas disciplinas tradicionais do currículo, de forma que o aluno tenha integração no aprendizado e consolidação do paradigma já na graduação.

Peterson et al. (2011) complementam que os educadores se utilizam de duas maneiras para ensinar aos alunos: uma com abordagem do esquema cognitivo e outra com abordagem comportamental. Na primeira, de natureza mais formal, o professor identifica um método que considere importante para seus alunos e assim capacitá-los a fazer projetos profissionais. A segunda considera a parte psicológica dos alunos observando o seu comportamento, porém pode ter um aprendizado mais demorado pelo fato do aluno ter mais dificuldade de enxergar os seus próprios erros. Um ambiente ideal seria quando as duas áreas de conhecimento trabalhassem em conjunto de forma colaborativa, onde o aluno aprenderia observando o comportamento bem-sucedido de outras pessoas.

As concepções de Peterson et al. (2011) com relação ao ensino podem ser combinadas com ferramentas BIM, possibilitando a aplicação dos métodos em tempo real em um modelo que simule as características do projeto. Assim o aluno poderia desenvolver suas próprias conclusões e possíveis melhorias acerca dos métodos ensinados, além da troca com outros colegas. Isto porque as etapas de planejamento e execução de projeto dependem diretamente de uma interação entre escopo, tempo e custo. A obtenção de um bom resultado final depende que o responsável por gerenciar essas etapas possua conhecimento prático e consiga estabelecer o intercâmbio entre as informações dos projetos que tenha a mão, a fim de fazer boas estimativas de escopo que o levarão a um tempo estimado de execução e, por fim, a um custo próximo ao desejado. As ferramentas BIM prometem uma melhor integração entre esses projetos e, mesmo que ainda dependam da experiência do gestor, podem proporcionar uma redução significativa de erros, além de uma estimativa muito mais realista e aproximada do produto final.

Outra vantagem do crescente desenvolvimento tecnológico e da disseminação do BIM são as melhorias constantes nas ferramentas computacionais, de forma que o usuário demande menos tempo formatando e preenchendo tabelas, que são geradas automaticamente através do modelo criado. Em sala de aula isto representa um ganho significativo, pois reduz a quantidade de processos mecânicos e repetitivos

a serem desempenhados pelos alunos quando comparados aos realizados em um processo normal, ou seja, com uso de desenho em *Computer Aided Design* – CAD. Na verdade, ao gerar um modelo paramétrico que calcule os quantitativos, simule e estime, além de gerar uma visualização geral do projeto, o aluno terá mais tempo para medir a eficiência do seu trabalho, identificando possíveis lacunas, erros de dimensionamento ou deficiências no seu plano de trabalho que podem ser melhoradas.

Na graduação em Engenharia Civil da UFRJ-Macaé, foi adotada a primeira concepção de Salgado (2018) mesclada com a abordagem cognitiva de Peterson et al (2011), através da criação de uma disciplina eletiva para o tema em 2016, chamada de “Introdução ao BIM”. Esta decisão foi tomada em função da inexistência de precedentes no curso e por haver maior simplicidade na solução a ser adotada naquele momento. Por se tratar de um novo tema a ser trabalhado, o formato em disciplina eletiva não seria uma obrigatoriedade e serviria como termômetro para mensurar a adesão dos alunos por meio da opção por livre escolha. Além disto, só havia disponibilidade de um docente para se responsabilizar pela disciplina (à época contratado para o cargo de professor substituto) na criação da ementa, conteúdo programático e lecionar as aulas.

O objetivo principal da disciplina eletiva foi de difundir o conhecimento em BIM, mesmo não incluído no currículo obrigatório, atingindo o aluno de forma direta. Ou seja, criar subsídios iniciais para o desenvolvimento de um ambiente acadêmico onde, aos poucos, o BIM fosse absorvido pelo corpo discente e por este disseminado.

Posteriormente, como objetivo secundário, visava-se, através da disseminação dos conceitos, métodos e tecnologias do BIM pelos discentes, atingir o corpo docente para promover sua sensibilização quanto à importância do conteúdo. Esta estratégia viabilizaria a proposta de permear o tema em diversas disciplinas básicas e obrigatórias do currículo, alcançando a concepção de BIM no ensino, segundo Salgado (2018). Desta forma, o ensino seria indireto e o aprendizado ocorreria de forma paulatina e mais consistente, por conta da integração transdisciplinar em momentos diferentes da formação. Entretanto, verificou-se a complexidade e dificuldade desta proposta, uma vez que, de acordo com Checcucci (2014), em cursos já existentes não é simples reestruturar o currículo para inserir um tema tão complexo e abrangente como o BIM.

A proposta pedagógica da disciplina eletiva para o ensino do BIM na Engenharia Civil da UFRJ-Macaé é baseada na prática como instrumento de aprendizado principal, complementada por uma carga teórica de acompanhamento. São vinte horas de carga horária prática e dez horas de carga horária teórica, somando ao todo trinta horas. A disciplina é estruturada de acordo com a etapa inicial de concepção do ciclo de vida da construção civil, a qual o BIM tem fundamental importância para os

projetos técnicos, subdividindo-se em três partes:

- Modelagem: ensino das técnicas e ferramentas dos principais elementos construtivos para compor uma edificação;
- Documentação: representação das informações do projeto, composição das pranchas e quantitativos como produto principal extraído do modelo;
- Apresentações tridimensionais: complemento importante para visualizações e análises do modelo.

O ensino é feito ao longo das aulas através da operacionalização do *software Autodesk Revit*. A teoria constitui-se de forma expositiva por apresentações rápidas em *slides* e operação do *software* para demonstração dos procedimentos e conceitos do uso do BIM no projeto de edificações. A prática se dá pela execução do trabalho e atendimento individual para avaliação do andamento. Cada aluno desenvolve o projeto de uma edificação de, no mínimo, dois pavimentos, para possibilitar a criação de escadas, rampas e guarda-corpos. A escolha do projeto a ser modelado é feita de duas formas a depender do período letivo: uma edificação residencial unifamiliar ou outra tipologia simples, por conta do próprio aluno; ou uma edificação específica determinada pelo docente de acordo com suas necessidades pedagógicas. Pelo fato de ser uma disciplina introdutória e a condição ainda iniciante dos alunos, adotou-se pela elaboração em nível de anteprojeto, de acordo com o *Level of development 200 – LOD200* especificado por Latiffi et al. (2015). Esta metodologia permite a modelagem e documentação como produtos finais, e sua dinâmica possibilita o intercâmbio de conceitos fundamentais como colaboração, coordenação e interoperabilidade.

## 6 | APRENDIZADOS NO ENSINO DE BIM

O campus UFRJ-Macaé atende a uma demanda exigente por educação superior de qualidade, cumprindo importante papel socioeconômico para a região norte fluminense. Entretanto, como instituição instalada numa cidade de porte médio do interior, possui dificuldades inerentes a este tipo de empreendimento, principalmente pela falta de investimentos públicos e privados nas devidas proporções. Esta condição se reflete na estrutura do campus, em especial na Cidade Universitária, que é compartilhada por três instituições diferentes. Esse modelo, ao passo que facilita a gestão e melhor aproveitamento dos recursos, também cria barreiras na operacionalização dos cursos.

A falta de salas de aulas adequadas para lecionar as turmas de BIM são o tipo de dificuldade mais comum. A UFRJ-Macaé possui apenas um Laboratório de Informática de Graduação – LIG, para todos os cursos de Engenharia e outras atividades afins. Os computadores possuem uma versão de 2013 do *software*

*Autodesk Revit* que, além da defasagem para o uso necessário, apresenta problemas de instalação e inicialização. Para contornar tal dificuldade, optou-se pelo uso de *notebooks* pessoais dos alunos na produção dos seus próprios trabalhos em sala de aula. Inicialmente, esta solução mostrou-se inadequada, mas ao longo das aulas tornou-se viável. Dessa forma, os alunos têm maior liberdade em gerenciar seus projetos, permitindo o trabalho no campus ou remotamente de acordo com sua disponibilidade de horário.

A falta de *software* adequado e atualizado também representou uma dificuldade que foi superada pela adoção dos *notebooks* pessoais. O *Autodesk Revit* foi escolhido como *software* para a disciplina por dois motivos: sua popularidade no mercado AECO que facilita a operação, e por permitir a licença *standalone* para estudantes durante três anos. Assim, na primeira aula os alunos são instruídos e responsabilizados pela instalação em seus *notebooks* para prosseguir na disciplina. Por um lado, esta solução resolveu o problema da disciplina e reduziu a necessidade de compra de licenças de *softwares* pela universidade. Por outro lado, a solução encontrada corroborou com a falta de compromisso em exigir estrutura adequada para as aulas por parte da instituição, como requisitos mínimos ao ensino superior de qualidade.

Na ementa criada para a disciplina, estabeleceu-se como requisito o curso de Desenho Técnico Aplicado à Engenharia Civil, mas esta informação não foi inserida oficialmente no sistema da universidade. Assim, diversos alunos se matricularam sem ter cursado o mínimo necessário, além de alguns que sequer haviam adentrado o ciclo profissional. O que resultou em dificuldades no decorrer de algumas turmas pois esses alunos não tinham base teórica sobre elementos e processos construtivos das edificações, comprometendo o aprendizado de algumas ferramentas e o andamento das aulas. Diante disto, é aconselhável manter como pré-requisitos os conhecimentos em desenho técnico e computacional, além de disciplinas como Edificações e Instalações Prediais.

Após ser criada em 2016, a disciplina eletiva “Introdução ao BIM” teve cinco turmas até 2019. Formou 75 alunos, um número expressivo levando em consideração alguns fatores:

- A falta de obrigatoriedade da disciplina em relação a outras cadeiras obrigatórias, como Desenho Técnico Aplicado à Engenharia Civil, por exemplo (conforme mostrado na figura 1);
- O baixo número de alunos concluintes na graduação, apesar da entrada anual de cento e vinte vagas.

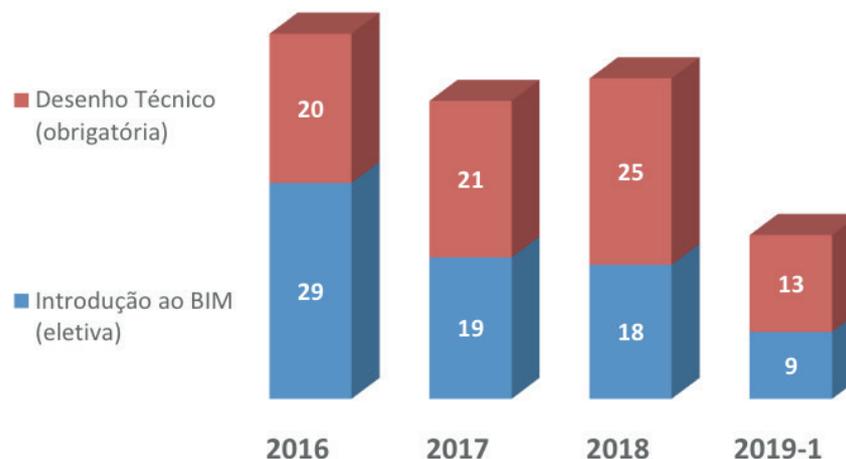


Figura 1: Alunos matriculados em “Desenho Técnico Aplicado à Engenharia Civil” e “Introdução ao BIM” entre os anos de 2016 a 2019-1.

Fonte: Sistema Integrado de Gestão Acadêmica da UFRJ – SIGA. Acesso em out/2019.

Passados quatro anos de experiência, o ensino do BIM mantém-se no mesmo formato, preservando a disciplina original e seguindo as diretrizes iniciais com pequenas modificações. Os resultados apontam para a necessidade de evolução do ensino do BIM para novas disciplinas ou metodologias, na busca de inserir o BIM no ensino na Engenharia Civil da UFRJ-Macaé.

## 7 | CONCLUSÃO

Este estudo apontou que a implementação do ensino do *Building Information Modelling* no curso de graduação em Engenharia Civil da UFRJ – Campus de Macaé, vem obtendo pleno êxito desde sua implementação. Considerando-se a quantidade de alunos formados, em se tratando de disciplina eletiva, conclui-se que há crescente interesse por parte dos discentes em adquirir conhecimento acerca deste conceito, o que indica que qualquer resistência à sua propagação é proveniente de outra fonte.

Neste sentido, é de extrema relevância o sucessivo desenvolvimento de políticas públicas de incentivo à disseminação do uso do BIM em projetos de infraestrutura governamental, os quais são mais facilmente atingidos pela imposição do uso desta ferramenta. Com isso, espera-se que o setor privado perceba os benefícios deste novo modelo de trabalho, incentivando seu uso nas demais esferas. Isto faria com que a demanda por um profissional mais especializado viesse do mercado para a academia, potencializando a disposição da mesma em quebrar velhos paradigmas.

Por fim, no âmbito acadêmico, em especial em cursos de Engenharia Civil e Arquitetura, é fundamental que os docentes percebam a necessidade de migrar para este novo modelo como forma de aumentar a precisão, a produtividade e a qualidade dos projetos a serem futuramente desenvolvidos por seus alunos. O

envolvimento do BIM em todas as etapas do ensino, desde o início do curso de graduação, apresenta alto potencial de formação de profissionais mais preparados para se adaptar e inovar no mercado de trabalho, porém o sucesso desta abordagem depende, prioritariamente, da adoção do conceito como parte da metodologia de cada docente, em sua área de atuação específica. Portanto, sugere-se uma intensa promoção de eventos que levem o BIM aos docentes, na forma de palestras, workshops e minicursos, permitindo que estes visualizem em primeira mão seu potencial dentro de cada temática.

## REFERÊNCIAS

AVALIAÇÃO DOS CURSOS DE GRADUAÇÃO. **Portal do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira – INEP**, 2019. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/web/guest/avaliacao-dos-cursos-de-graduacao>>. Acesso em outubro/2019.

BRASIL. **Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling**. Decreto nº 9.377 de 17 de maio de 2018.

BRASIL. **Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e instituição do Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling**. Decreto nº 9.983 de 22 de agosto de 2019.

CHECCUCCI, É. S. **Ensino-aprendizagem de BIM nos cursos de graduação em Arquitetura e Engenharia Civil**. Arquitetura, Cidade e Projeto: uma construção coletiva. Anais... In: III Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. São Paulo, SP: 2014.

EASTMAN, C. et al. **Manual de BIM: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção**. Editora Bookman, 1ª Edição. Porto Alegre, 2013.

ENGENHARIA CIVIL. **Portal das Engenharias da UFRJ-Macaé**, 2019. Disponível em: <<http://engenharias.macaee.ufrj.br/index.php/engenharia-civil>>. Acesso em outubro/2019.

GIESTA, J. P.; COSTA, T.G.; NETO, A.C. **Inserção do ensino do Building Information Modeling (BIM) na Academia: novas perspectivas por meio da pesquisa**. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção, 2. 2019, Campinas, SP. Anais[...]. Porto Alegre: ANTAC, 2019. Disponível em: <https://antaceventos.net.br/index.php/sbtic/sbtic2019/paper/view/176>

LATIFFI et al. **Building Information Modeling (BIM): Exploring Level of Development (LOD) in Construction Projects**. Applied Mechanics and Materials, Switzerland, Vols. 773-774, pp 933-937. Trans Tech Publications Ltd. 2015. ISSN: 1662-7482, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.773-774.933

MUNICÍPIO DE MACAÉ. **Portal Cidades@ do IBGE**, 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/macaee/panorama>>. Acesso em outubro/2019.

O CAMPUS UFRJ-MACAÉ. **Portal da UFRJ-Macaé**, 2019. Disponível em: <<http://www.macaee.ufrj.br/index.php/2016-02-15-16-00-04/2016-02-22-14-38-42>>. Acesso em outubro/2019.

PETERSON et al. **Teaching construction project management with BIM support: Experience and lessons learned**. Automation in Construction, v. 20, pp 115–125. Elsevier, 2011. doi:10.1016/j.autcon.2010.09.009

RUSCHEL, R. C.; ANDRADE, M. L. V. X.; MORAIS, M. **O ensino de BIM no Brasil: onde estamos?** Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 151-165, abr./jun. 2013. ISSN 1678-8621 <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212013000200012>.

SALGADO, M. S. **BIM no ensino ou ensino do BIM? Discutindo estratégias para a disseminação da plataforma.** In: I ENCONTRO NACIONAL SOBRE O ENSINO DE BIM, 2018, Brasil. Anais [...] Porto Alegre: ANTAC, 2018. Disponível em: <<https://www.antaceventos.net.br/index.php/enebim/2018/paper/view/81>>.

## AUTOMAÇÃO DE VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADES EM LICENCIAMENTOS DE PROJETOS EM BIM: UMA PROPOSTA PARA A GESTÃO PÚBLICA

Data de aceite: 11/12/2019

### Denise Aurora Neves Flores

Universidade Federal de Minas Gerais | Belo Horizonte, MG | denise@deniseaurora.com

### Eduardo Marques Arantes

Universidade Federal de Minas Gerais | Belo Horizonte, MG | arantes@demc.ufmg.br

**RESUMO:** Os projetos de construção no Brasil ainda são verificados manualmente gerando, muitas vezes, processos de licenciamentos subjetivos, morosos e exaustivos. Estas ocorrências, geralmente, levam ao cancelamento de projetos, quando empresários decidem por declinar de negócios. Este cenário impacta diretamente no desempenho econômico da construção civil. Algumas tentativas de melhorar esses processos de aprovação ainda se limitam à simples digitalização de desenhos 2D em sistemas CAD, que são enviados ao órgão licenciador, melhorando apenas os processos de impressão e processamento físico. A análise de conformidades, porém, mantém-se no método manual. Com a Modelagem da Informação da Construção na indústria AECO, torna-se mais viável a pesquisa e aplicações de sistemas automatizados de verificação de conformidade em processos de licenciamento de projetos. O presente artigo tem como objetivo apresentar

os resultados parciais de uma pesquisa de mestrado em andamento, que trouxe a indicação de uma hipótese relevante como pressuposto para os processos de verificação automática. A pesquisa propõe compreender e criar métodos efetivos de aplicação dos requisitos normativos nas regras computacionais, a fim de possibilitar o sistema de verificação automatizada em licenciamento de projetos, bem como indicar o possível desdobramento da aplicação da Tecnologia da Informação e Comunicação aplicada à construção 4.0.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelagem da Informação da Construção; Verificação automatizada de conformidade; Administração pública; Cidades Inteligentes.

### AUTOMATED COMPLIANCE CHECKING IN BUILDING PERMIT REGULATORY SERVICES BASED ON BUILDING INFORMATION MODELING: A PROPOSAL FOR PUBLIC ADMINISTRATION

**ABSTRACT:** The construction projects in Brazil are still manually verified and there are several occurrences of projects canceled or burdened by inexhaustible, subjective and exhausting approvals. Situations that often lead entrepreneurs to decline business options and have a major economic impact on the construction industry. Some attempts to improve

these approval processes are still limited to the simple digitization of 2D drawings in CAD systems, which are sent to a licensing agency system, improving only the printing and physical processing processes, while remaining the entire compliance analysis in the traditional method. With Building Information Modeling in the AECO industry become more feasible the research and applications of automated compliance checking systems in building permit regulatory services. The present article aims to present the partial results of an ongoing Master's research, which brought the indication of a relevant hypothesis as a presupposition to the automatic verification processes. The research proposes to understand and create effective methods of applying the normative requirements in computational rules in order to enable the automated compliance checking system in the analysis and licensing of projects, as well as to indicate the possible unfolding of the application of Technology of Information and Communication applied to Construction 4.0.

**KEYWORDS:** Building Information Modeling; Automated compliance checking; Public administration; Smart Cities.

## 1 | INTRODUÇÃO

De acordo com SOUZA (2015), a média do PIB da Indústria da Construção Civil representa cerca de 5% e, apesar de sensível às oscilações políticas e econômicas, mantém grande representatividade na economia nacional.<sup>1</sup>

Um dos maiores problemas da Construção Civil é a morosidade no licenciamento de obras. De acordo com ARIADNE (2016), um levantamento da ABRAINCA aponta que atrasos e dificuldades entre a aprovação de um projeto e sua entrega, elevam o custo final do imóvel em até 12%. Considerando o total movimentado com financiamentos habitacionais, só em 2015, as perdas chegam a R\$ 15,21 bilhões.

Por um lado otimista, observa-se a chegada da Indústria 4.0, onde a inovação central é a digitalização da informação. Com a chegada da tecnologia BIM – *Building Information Modeling*, ou Modelagem da Informação da Construção, a construção civil passa a ter sua chance de entrada na era digital.

SUCCAR (2009) entende a adoção do BIM como um processo de longo prazo, a ser desenvolvido em estágios. O Governo Federal do Brasil, com o intuito de promover a modernização e a transformação digital da construção, criou o Comitê Estratégico de Implementação do BIM para formular uma estratégia que pudesse alinhar as ações e iniciativas do setor público e do privado, impulsionar a utilização do BIM no país e garantir um ambiente adequado para seu uso. Em 17/05/2018, foi assinado o decreto nº 9.377/18 que escalona a Estratégia BIM BR em três fases:

---

1 AURORA, D.N.F.; ARANTES, E. M. Automação de verificação de conformidade em licenciamentos de projetos baseada em modelos de informação da construção: uma proposta para a gestão pública. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2., 2019, Campinas, SP. *Anais...* Campinas: ANTAC, 2019.

I. A partir de janeiro de 2021: foco em projetos de arquitetura e de engenharia para construções novas, ampliações ou reabilitações, quando consideradas de grande relevância para a disseminação do BIM.

II. A partir de janeiro de 2024: contemplar algumas etapas que envolvem a obra, como o planejamento da execução da obra, orçamentação, para construções novas, reformas, ampliações ou reabilitações, quando consideradas de grande relevância.

III. A partir de janeiro de 2028: todo o ciclo de vida da obra ao considerar atividades do pós-obra. Nesta fase, o BIM será aplicado, no mínimo, nas construções novas, reformas, ampliações ou reabilitações (...). (MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS, 2018).

Entende-se que assim, a quantidade de projetos de obras públicas em modelos virtuais BIM, sofrerá um aumento significativo e, por conseguinte, os próprios órgãos licenciadores terão uma expressiva demanda de trabalho.

### 1.1 Verificação automática de parâmetros normativos

Diante às possibilidades que o BIM apresenta, o processo tradicional de análise de aprovação de projetos mostra-se ultrapassado, sendo realizado de maneira visual, manual e dependente da interação e conhecimento de seus analistas, resultando em morosidade e subjetividades. Já a análise de projetos em BIM se beneficia das informações digitais fornecidas pelo modelo 3D paramétrico e pelas verificações realizadas por *softwares* programáveis.

A verificação automática de parâmetros é capaz de analisar modelos de construção virtual BIM, podendo contribuir, tanto na garantia da conformidade dos projetos, quanto em relação ao tempo que os analistas demandam para realizar essa função.

Alguns *softwares* disponíveis no mercado, como o *Solibri Model Checker (SMC)*, pode automatizar as verificações contribuindo para eliminar a subjetividade, aumentando a transparência, confiabilidade e agilidade dos processos.

De acordo ANDRADE E SILVA (2017), a aplicação da verificação automática de parâmetros da NBR 15.575/13 em um empreendimento de edificação, constatou redução de 60% no tempo de conferência dos projetos e 22% a mais de não conformidades comparado a conferência manual.

O presente artigo objetiva apresentar os resultados parciais de uma pesquisa de Mestrado em curso, que trouxeram a indicação de uma hipótese relevante como pressuposto aos processos de verificações automáticas.

A pesquisa em questão pretende desenvolver instrumentos (constructo) para a implantação do uso de BIM na verificação automática de regras, sendo:

- 1) Propor um **protocolo** que garanta a tradução das diretrizes normativas para uma linguagem computacional;
- 2) Testar e validar **um modelo** que confira a um determinado órgão licenciador

de projetos uma ferramenta (conjunto de regras) para automação de verificação de conformidade em licenciamento de projetos em modelos BIM.

## 2 | MÉTODO DE PESQUISA

O método de abordagem é a pesquisa construtiva - *constructive research*, que se desenvolve nas etapas:

- 1) encontrar um problema prático relevante;
- 2) examinar o potencial de pesquisa;
- 3) obter conhecimento teórico e prático da área;
- 4) propor uma solução;
- 5) implementar e testar a solução;
- 6) ponderar sobre sua aplicabilidade.

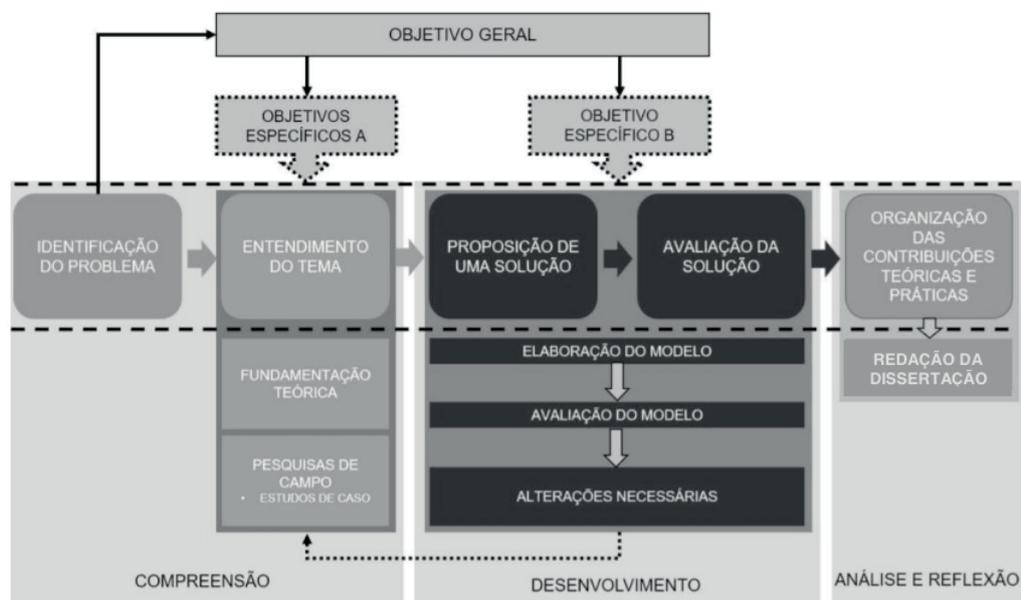


Figura 1: Método – Design Science Research

Fonte: adaptado de ANDRADE E SILVA (2017)

Considerando atendidas as etapas: 1 (Encontrar um problema prático relevante) e 2 (Examinar o potencial de pesquisa da pesquisa construtiva), os autores vêm apresentar a etapa 3 da pesquisa (Obter de conhecimento teórico e prático do tema), através do estudo de caso a seguir:

### 2.1 Conhecimento teórico e prático sobre a aplicabilidade da verificação automática de regras em um projeto arquitetônico de saúde

Procedimentos adotados:

#### 1°. Seleção do projeto a ser analisado

O enfoque desta pesquisa não é analisar o mérito de qualquer solução técnica. Busca-se fazer um recorte realístico, sobretudo no que diz respeito aos projetos públicos, da aplicabilidade da verificação automatizada. Assim,

o objeto selecionado para este teste foi a arquitetura da tipologia da Unidade Básica de Saúde (UBS) - Porte IV, do Ministério da Saúde do Brasil, que propõe:

Projetos de arquitetura padronizados para a construção de Unidades Básicas de Saúde no país estão sendo oferecidos aos gestores pelo Ministério da Saúde. (...)

O Ministério da Saúde também **dobrou o padrão de qualidade das UBS**. O tamanho da estrutura também foi ampliado, de 155 para 300 metros quadrados. (...)

São disponibilizadas plantas completas para os quatro portes das UBS: I, II, III e IV (variando conforme o mínimo de equipes de Atenção Básica: uma, duas, três e quatro respectivamente). (GOVERNO DO BRASIL, 2017).

## 2°. Seleção das regras de conformidades específicas a serem automatizadas

- Grupo A - Áreas físicas e quantidades dos ambientes

A Portaria 1.903, de 04/09/2013, do MS, define áreas físicas e quantidades de ambientes para cada tipologia UBS, mas não menciona regras quanto aos padrões de qualidade.

UNIDADE BÁSICA DE SAÚDE													
Nº	AMBIENTES	1 EQUIPE DE ATENÇÃO BÁSICA			2 EQUIPES DE ATENÇÃO BÁSICA			3 EQUIPES DE ATENÇÃO BÁSICA			4 EQUIPES DE ATENÇÃO BÁSICA		
		Qtd. (un)	Área unit. (m²)	Área total (m²)	Qtd. (un)	Área unit. (m²)	Área total (m²)	Qtd. (un)	Área unit. (m²)	Área total (m²)	Qtd. (un)	Área unit. (m²)	Área total (m²)
1	Sala de recepção e espera	15 pessoas			30 pessoas			45 pessoas			60 pessoas		
		1	23	23	1	45	45	1	68	68	1	90	90
2	Sanitário para pessoas com deficiência	2	2,55	5,1	2	2,55	5,1	3	2,55	7,65	3	2,55	7,65
3	Sala de imunização	1	9	9	1	9	9	1	9	9	1	9	9
4	Farmácia (estocagem/dispensação de medicamentos)	1	14	14	1	14	14	1	14	14	1	16	16
5	Consultório indiferenciado (Acolhimento)	2	9	18	3	9	27	4	9	36	5	9	45
6	Consultório com sanitário anexo	1	9	9	2	9	18	2	9	18	3	9	27
6.1	Sanitário do consultório (pessoas com deficiência)	1	2,55	2,55	1	2,55	2,55	1	2,55	2,55	2	2,55	5,1
6.2	Sanitário do consultório	0	0	0	1	1,6	1,6	1	1,6	1,6	1	1,6	1,6
7	Consultório odontológico												
7.1	Consultório odontológico para 2 Equipos	1	20	20	2	20	40	1	20	20	0	0	0
7.2	Consultório odontológico para 3 Equipos	0	0	0	0	0	0	1	30	30	2	30	60
8	Sala de inalação coletiva	4 pacientes			4 pacientes			6 pacientes			6 pacientes		
		1	6	6	1	6	6	1	9	9	1	9	9
9	Sala de coleta	0	0	0	0	0	0	1	4	4	1	4	4
10	Sala de curativos	1	9	9	1	9	9	1	9	9	1	9	9
11	Sala de observação (curta duração)/Procedimento/Coleta	1	10	10	1	10	10	0	0	0	0	0	0
11.1	Barheiro da sala de observação	1	4,8	4,8	1	4,8	4,8	0	0	0	0	0	0
12	Sala de observação (curta duração)/Procedimento	0	0	0	0	0	0	1	10	10	1	10	10
12.1	Barheiro da sala de observação	0	0	0	0	0	0	1	4,8	4,8	1	4,8	4,8
13	CME simplificada - tipo I												
13.1	Expurgo	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5
13.2	Sala de esterilização/estocagem de material esterilizado	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5
14	Sala de administração e gerência	1	7,5	7,5	1	7,5	7,5	1	12,5	12,5	1	12,5	12,5
15	Sala de atividades coletivas/Sala de ACS	1	20	20	1	20	20	1	25	25	1	30	30
16	Almoxarifado	1	2,8	2,8	1	3	3	1	3	3	1	4	4
17	Copa	1	4,5	4,5	1	4,5	4,5	1	6	6	1	6	6
18	Barheiro para funcionários	1	3,5	3,5	2	3,5	7	2	3,5	7	2	3,5	7
19	Depósito de material de limpeza (DML)	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	4
20	Abrigo externo de resíduos sólidos												
20.1	Depósito de Resíduos Comuns	1	1	1	1	1,4	1,4	1	2,3	2,3	1	2,3	2,3
20.2	Depósito de Resíduos Contaminados	1	1	1	1	1,2	1,2	1	1,5	1,5	1	2	2
20.3	Depósito de Resíduos Recicláveis	1	1	1	1	1,2	1,2	1	1,5	1,5	1	2	2
21	Área externa para embarque e desembarque de ambulância	1	21	21	1	21	21	1	21	21	1	21	21

Tabela 1: Unidade Básica de Saúde

Fonte: MINISTÉRIO DA SAÚDE (2013).

- Grupo B – Qualidade padrão AVALHOSP

A fim de tornar este método de análise o mais íntegro possível, optou-se por incluir uma referência para a verificação de qualidade do projeto. Segundo SAMPAIO E CHAGAS (2010) o AVALHOSP, é um instrumento simplificado de auxílio à avaliação e elaboração de projetos hospitalares ou de ambientes da saúde. Trata-se de uma tabela composta por cinco categorias de aspectos: sustentabilidade, conforto/qualidade, funcionais, construtivos e estéticos. Os mesmos autores propõem a reformulação da tabela, conforme o que

consideram mais relevante:

1. CONFORTO TÉRMICO		Sim	Não	Não sei
1.1. Insolação	As aberturas estão orientadas adequadamente com relação à orientação			
	Estão previstas proteções externas para as aberturas orientadas inadequadamente			
	As espessuras dos fechamentos e os materiais especificados são adequados ao clima local			
	Há preferência por cores claras para uma maior reflexão e menor absorção da energia solar - regiões de clima quente			
1.2. Ventilação	Há preferência pela ventilação natural ao condicionamento artificial			
	São indicadas janelas que possibilitam uma ventilação eficiente - passando pela zona de ocupação, para as épocas quentes			
	São indicadas janelas que possibilitam uma ventilação higiênica - alta, acima da zona de ocupação, para as épocas frias			
	As janelas têm caixilhos que impedem a infiltração de ar e/ou chuva quando fechadas, nas épocas frias			
	As janelas possuem sistemas de abertura que permitem a máxima entrada de ar nos períodos de calor (direção do vento)			
1.3. Temperaturas internas	É dada atenção especial aos ambientes em que os pacientes se despem ou usam apenas as "vestimentas hospitalares" para serem examinados			
	Há fontes de calor provenientes de equipamentos, lâmpadas especiais, pessoas, fechamentos envidraçados, paredes expostas à grande insolação no ambiente			

2.CONFORTO LUMINOSO E VISUAL		Sim	Não	Não sei
2.1. Iluminação natural	São previstas grandes aberturas com vidros transparentes para permitir a entrada de luz natural nos ambientes de permanência prolongada			
	São utilizadas cores claras em caixilhos, paredes, pisos e superfícies externas próximas às aberturas			
	É prevista a colocação de persianas internas - de preferência de comando pelos próprios pacientes - para diminuir a claridade excessiva quando necessário			
2.2. Iluminação artificial	São especificadas luminárias com aletas para evitar ofuscamento no campo visual do usuário			
	São respeitados os campos visuais dos pacientes, deitados em macas, na colocação de luminárias no teto de corredores e salas de exames			
	São especificadas lâmpadas eficientes, de bom rendimento e IRC compatível com a função desenvolvida no ambiente			

3.CONFORTO ACÚSTICO		Sim	Não	Não sei
3.1. Ruídos internos	Há um zoneamento espacial com a setorização dos ambientes de atividades ruidosas e ambientes tranquilos que necessitam de silêncio			
	Nos ambientes que abrigam equipamentos ruidosos há um tratamento acústico - piso flutuante, isolamento acústico - e setorização adequada			
	Há especificação de materiais com absorção sonora nos ambientes de permanência prolongada			
	Há especificação de materiais com absorção sonora nos pisos dos corredores e de salas próximas			
3.2. Ruídos externos	Os fechamentos possibilitam o isolamento de ruídos de fontes externas como carros, aviões e outros			
	Há vegetação externa localizada estrategicamente para a atenuação de ruídos pelas suas características não reverberantes			

4.QUALIDADE DO AMBIENTE		Sim	Não	Não sei
4.1. Infecção hospitalar	Há barreiras físicas em áreas críticas			
	São especificados materiais laváveis e resistentes a desinfetantes			
	Há rodapés e elementos embutidos sem ressaltos nas paredes			
	Há lavatórios e/ou elementos de higienização no ambiente			
4.2. Ar condicionado	Há uma manutenção periódica nos sistemas de ar condicionado			
	A especificação de condicionamento artificial do ar é feita apenas nos ambientes onde é exigido por norma			
	Os vidros das janelas dos ambientes com condicionamento artificial, para melhor eficiência, são bem vedados			
4.3. Materiais	São especificadas tintas, revestimentos, solventes de baixa emissão de COV's - compostos orgânicos voláteis			
	São especificados materiais alternativos aos de PVC			
	Os revestimentos são de fácil limpeza e laváveis			
	Os revestimentos são duráveis e resistentes ao uso de desinfetantes			

5. HUMANIZAÇÃO		Sim	Não	Não sei	
5.1. Cores	São utilizadas cores variadas nas paredes, tetos e pisos para tornar os ambientes humanos, aconchegantes e tranquilos				
	São propostos painéis, quadros coloridos e obras de arte				
	É utilizada iluminação colorida				
5.2. Dignidade	A disposição dos leitos com relação às áreas comuns permite a privacidade do paciente				
	Os sanitários estão localizados próximos aos leitos				
	Há privacidade visual e acústica do paciente durante	Exames			
		Higiene			
		Visitas			
	É dada ao paciente a opção de	ver TV			
ouvir música					
Ler					

		visualizar um relógio e/ou calendário ((noção de tempo cronológico)			
		Há abertura para o exterior (noção de tempo meteorológico)			
5.3.	Aberturas	Os ambientes têm janelas que permitam aos usuários (pacientes, equipe médica e enfermagem) a visualização de cenas e paisagens do exterior			
		Há fácil acesso a áreas externas ajardinadas, sombreadas e com bancos para que os pacientes possam se sentar			

Tabela 2: Qualidade ambientes saúde

Fonte: SAMPAIO E CHAGAS (2010)

### 3°. Modelagem BIM da Arquitetura

Para que um *software* BIM seja capaz de operar, é requisito que o modelo virtual atenda, segundo BARISON E SANTOS (2016), as características de ser uma representação digital 3D e paramétrica das características físicas e funcionais de uma edificação.

Respeitando estes critérios, para fins de análises deste estudo, foi produzido um modelo virtual paramétrico da arquitetura da tipologia UBS-IV, incluindo o layout original.



Figura 2: Modelo UBS-IV

Fonte: OS AUTORES (2019)

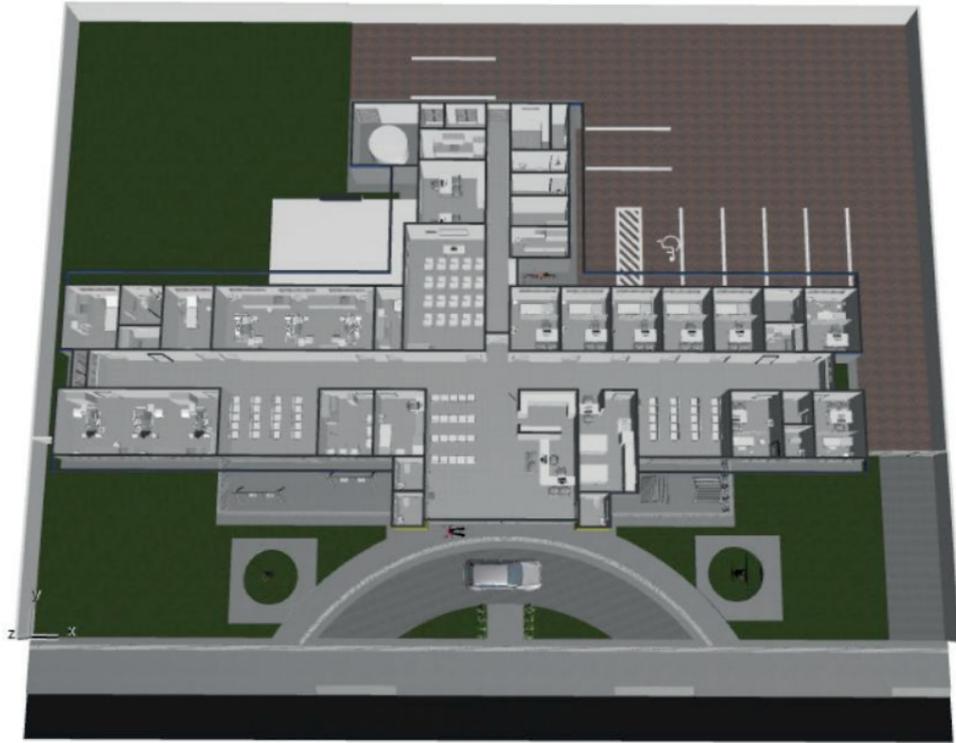


Figura 3: Layout UBS-IV  
 Fonte: OS AUTORES (2019)

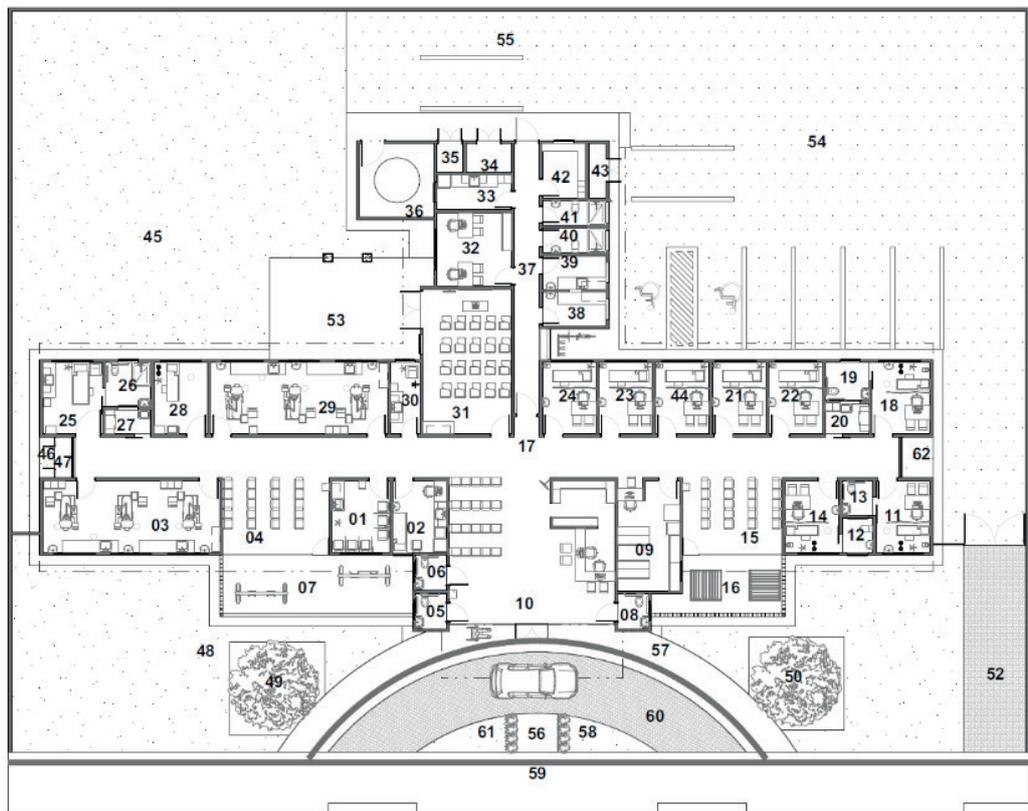


Figura 4: Tipologia UBS-IV  
 Fonte: OS AUTORES (2019)

LEGENDA AMBIENTES			
NÚMERO	AMBIENTE	ÁREA (m²)	CLASSIFICAÇÃO
01	SALA DE INALAÇÃO COLETIVA	9,80	Áreas Internas
02	SALA DE VACINAS	9,10	Áreas Internas
03	CONSULTÓRIO ODONTOLÓGICO	30,10	Áreas Internas
04	SALA DE ESPERA INTERNA (20 CADEIRAS)	18,80	Áreas Internas
05	SANITÁRIO PCD	2,55	Áreas Internas
06	SANITÁRIO PCD	2,55	Áreas Internas
07	ÁREA DESCOBERTA PLAYGROUND	26,22	Áreas Internas
08	SANITÁRIO PCD	2,55	Áreas Internas
09	ESTOCAGEM/DISPENSAÇÃO DE MEDICAMENTOS	16,24	Áreas Internas
10	SALA DE RECEPÇÃO E ESPERA (20 CADEIRAS)	57,20	Áreas Internas
11	CONSULTÓRIO C/ SANIT. ANEXO 02	9,10	Áreas Internas
12	SANITÁRIO DO CONSULTÓRIO	2,61	Áreas Internas
13	SANITÁRIO PCD	2,69	Áreas Internas
14	CONSULTÓRIO C/ SANIT. ANEXO 01	9,10	Áreas Internas
15	SALA DE ESPERA INTERNA (20 CADEIRAS)	17,70	Áreas Internas
16	ÁREA DESCOBERTA PLAYGROUND	15,25	Áreas Internas
17	CIRCULAÇÃO	81,20	Áreas Internas
18	CONSULTÓRIO C/ SANIT. ANEXO 03	9,80	Áreas Internas
19	SANITÁRIO PCD	4,02	Áreas Internas
20	DML	3,27	Áreas Internas
21	CONSULTÓRIO INDIFERENCIADO / ACOLHIMENTO 04	9,10	Áreas Internas
22	CONSULTÓRIO INDIFERENCIADO / ACOLHIMENTO 05	9,10	Áreas Internas
23	CONSULTÓRIO INDIFERENCIADO / ACOLHIMENTO 02	9,10	Áreas Internas
24	CONSULTÓRIO INDIFERENCIADO / ACOLHIMENTO 01	9,10	Áreas Internas
25	SALA DE PROCEDIMENTO	10,15	Áreas Internas
26	BANHEIRO PCD	4,87	Áreas Internas
27	DML	2,76	Áreas Internas
28	SALA DE CURATIVOS	9,10	Áreas Internas
29	CONSULTÓRIO ODONTOLÓGICO	30,10	Áreas Internas
30	SALA DE COLETA	4,90	Áreas Internas

LEGENDA AMBIENTES			
NÚMERO	AMBIENTE	ÁREA (m²)	CLASSIFICAÇÃO
31	SALA DE ATIVIDADES COLETIVAS / ACS	30,53	Áreas Internas
32	SALA DE ADMINST. E GERÊNCIA	12,96	Áreas Internas
33	COPA	6,12	Áreas Internas
34	DEP. RESÍDUOS RECICLÁVEIS	3,34	Áreas Internas
35	DEP. RESÍDUOS COMUNS	1,90	Áreas Internas
36	CISTERNA	12,96	Áreas Internas
37	CIRCULAÇÃO	16,50	Áreas Internas
38	SALA DE ESTERIL. E GUARDA DE MAT. EST.	5,12	Áreas Internas
39	EXPURGO	5,12	Áreas Internas
40	BANHEIRO FUNCIONÁRIO MASC.	3,72	Áreas Internas
41	BANHEIRO FUNCIONÁRIO FEM.	3,72	Áreas Internas
42	ALMOXARIFADO	5,57	Áreas Internas
43	DEP. RESÍDUOS CONTAMINADOS	2,57	Áreas Internas
44	CONSULTÓRIO INDIFERENCIADO / ACOLHIMENTO 03	9,10	Áreas Internas
45	JARDIM	264,60	Áreas Externas
46	JARDIM	1,44	Áreas Externas
47	COMPRESSOR	1,60	Áreas Internas
48	JARDIM	107,97	Áreas Externas
49	JARDIM	7,07	Áreas Externas
50	JARDIM	7,07	Áreas Externas
51	JARDIM	73,73	Áreas Externas
52	VIA DE ACESSO	30,45	Áreas Externas
53	ÁREA COBERTA PARA ATIVIDADES	37,48	Áreas Externas
54	ESTACIONAMENTO DESCOBERTO	362,07	Áreas Externas
55	ÁREA DE CARGA E DESCARGA	68,75	Áreas Externas
56	CALÇADA	3,77	Áreas Externas
57	CALÇADA	126,42	Áreas Externas
58	JARDIM	5,68	Áreas Externas
59	PASSEIO PÚBLICO	148,50	Áreas Externas
60	VIA DE VEÍCULOS	54,16	Áreas Externas
61	JARDIM	5,68	Áreas Externas
62	JARDIM	3,00	Áreas Externas

Figura 5: Ambientes UBS-IV

Fonte: OS AUTORES (2019)

#### 4°. Otimização para interoperabilidade

ELLWANGER et al. (2016) consideram a interoperabilidade a capacidade que um sistema apresenta para interagir com outros sistemas. Assim foi gerando um arquivo do tipo IFC2X3, operável pelo SMC<sup>2</sup>. Para melhorar o desempenho, ele foi otimizado na ferramenta Solibri IFC Optimizer:



Figura 6: Solibri IFC Optimizer

Fonte: OS AUTORES (2019)

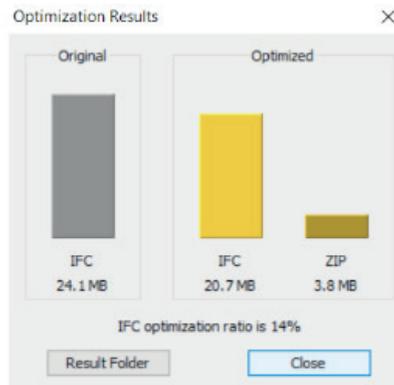


Figura 7: Arquivo IFC Otimizado

Fonte: OS AUTORES (2019)

### 5°. Checagem de qualidade do modelo BIM

Compõe o fluxo de trabalho padrão do SMC a análise de qualidade dos modelos BIM, com aplicação de regras essenciais padrão, a fim de verificar sua integridade e condições para análises de regras específicas:

#### a. Definição da função de análise

Essencialmente seleciona um grupo de recursos (Conjuntos de Regras, Classificações e Decisões de Informações) que auxiliarão na execução do SMC.

#### b. Seleção dos conjuntos de regras essenciais

- *BIM Validation - Architectural*

Utiliza-se para validar a qualidade geral dos modelos de arquitetura. Contém regras para QA/QC (Garantia e Controle de Qualidade) e extrações de informações. É altamente recomendável antes de qualquer análise avançada, como extração de quantitativos, análises de fuga, verificação de códigos de construção.

- *General Space Check*

Verifica problemas relacionados à modelagem dos espaços. Algumas regras, como as relacionadas às características ambientais, podem exigir a correta identificação destes espaços.

- *Building Elements - General Classification*

Para a checagem dos conjuntos de regras, o SMC precisa diferenciar os espaços e/ou componentes uns dos outros, através das propriedades paramétricas. Sem classificações, o *software* não consegue operar as regras nos espaços / componentes não classificados.

### 6°. Aplicação das regras de conformidades específicas

Regras específicas dependem de criação e podem ser geradas a partir do zero ou adicionando, removendo e/ou modificando parâmetros de um conjunto de regras

existente no SMC.

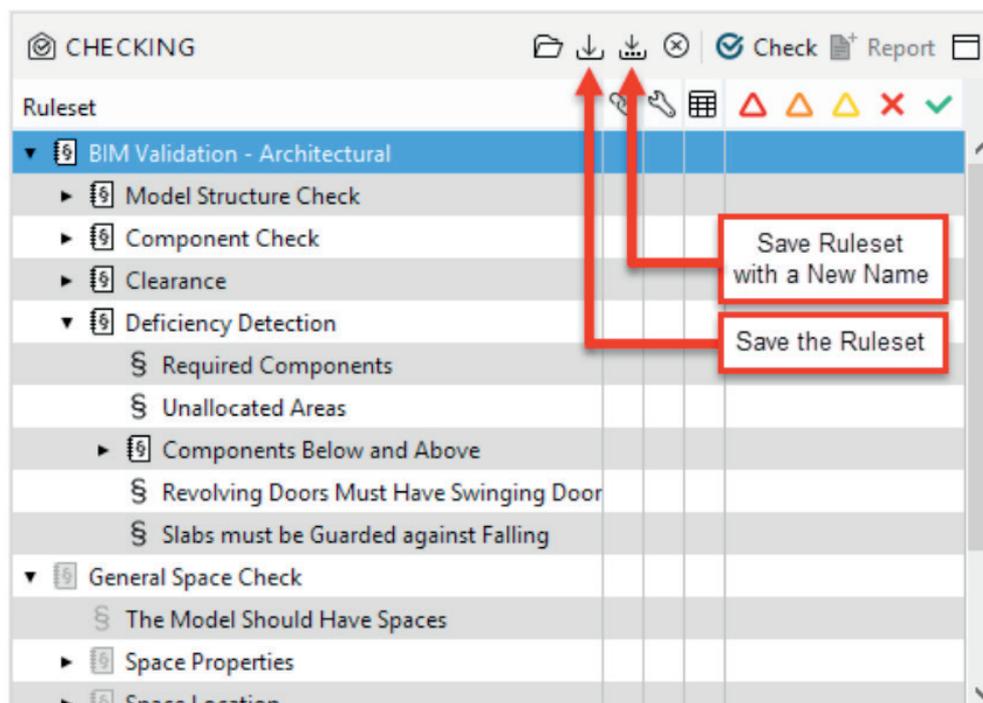


Figura 8: Criação de regras específicas

Fonte: SOLIBRI (2019)

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo de caso objetivou verificar as condições de aplicabilidade da verificação automatizada de regras de conformidade em um projeto aleatório, mas relevante.

Seguindo os procedimentos, após selecionar o projeto para análise e regras a verificar (1º e 2º), preparou-se o modelo virtual (3º e 4º) e foi analisada a qualidade do modelo (5º), se estaria apto ao teste de aplicabilidade de automatização (6º).

No 5º processo, tem-se que:

- A visualização *Result Summary* informou as contagens de problemas agrupados por sua gravidade.
- A análise também forneceu a *Issue Density* (número de problemas proporcional ao volume do modelo em metros cúbicos).
- A contagem demonstra uma baixa densidade de problemas na análise essencial (figura 9). Estas foram avaliadas pontualmente e, a partir do relatório (apresentado parcialmente na figura 10), pôde-se constatar que a maioria das questões detectadas não estavam relacionadas à qualidade da modelagem, mas às configurações do *layout* original e *General Classification*.

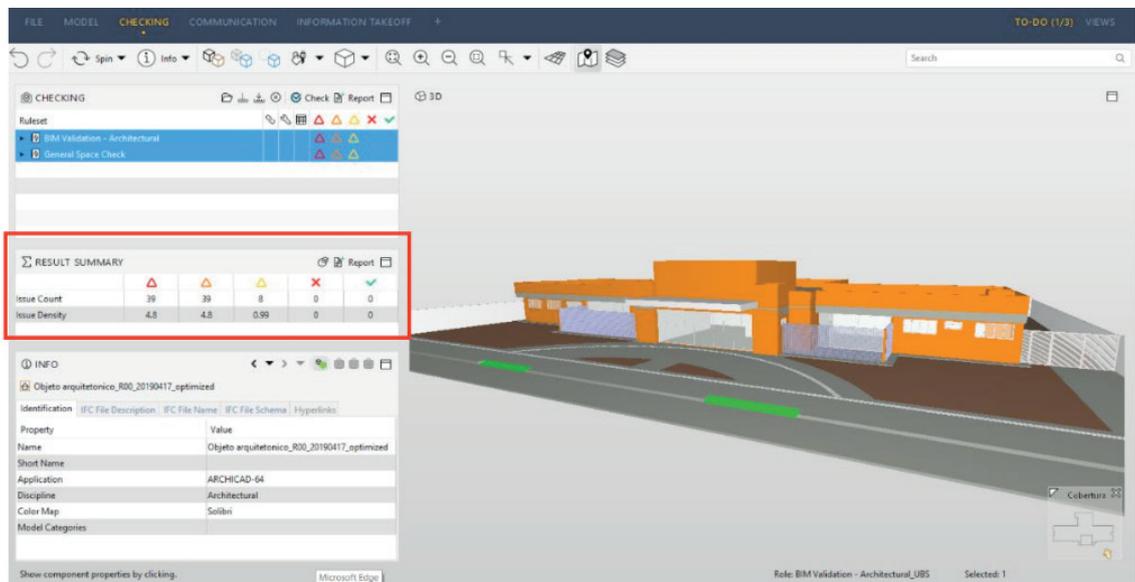


Figura 9: Resultados das análises regras essenciais

Fonte: OS AUTORES (2019)

SOLIBRI		Summary Report 1					
Model Name	Objeto arquitetónico_R00_20190417_optimized Version: 9.8						
Date	April 17, 2019						
Objeto arquitetónico_R00_20190417_optimized	Application: ARCHICAD-64 IFC: IFC2X3						
RuleSet	Rule	Description	Rule Support Tag	All Issues	Critical Issue	Moderate Issues	Low Severity Issues
BIM Validation - Architectural		This Ruleset includes rules to validate BIM models in general. This Ruleset does not check intersections between components nor spaces (there are other Rulesets for them)PLEASE NOTE: This check should be done before any further analysis of the model!		55	29	19	7
Component Check		The ruleset checks that components have reasonable dimensions and they have located in a correct way.		0	0	0	0
	Floor Heights	This rule checks distances between intermediate slabs (= floor free height). Checked slabs are selected by using Building Elements classification (see Classification View).	SOL/220/2.1	0	0	0	0
Component Dimensions		This rule set checks components' dimensions.		0	0	0	0
Wall Dimensions Should Be Sensible		This ruleset checks that wall dimensions are sensible (thickness is not too small or large, length and height are large enough).		0	0	0	0
	Wall Height	This rule checks that wall height is big enough.	SOL/230/1.1	0	0	0	0
	Wall Thickness	This rule checks that wall thickness is not too small or too large.	SOL/230/1.1	0	0	0	0
	Wall Length	This rule checks that wall height is big enough.	SOL/230/1.1	0	0	0	0
	Wall Opening Distances	This rule checks openings in exterior walls. It checks distances between openings and wall edges. Note that rule checks only wall defined as exterior walls in Building elements classification (see Classification View).	SOL/216/2.0	0	0	0	0
Door And Window Openings Must Have at Least Minimal Size		This ruleset checks the width and the height of windows and doors.		0	0	0	0
	Window Width	This rule checks the width of windows.	SOL/230/1.1	0	0	0	0
	Window Height	This rule checks the height of windows.	SOL/230/1.1	0	0	0	0
	Door Width	This rule checks the width of doors.	SOL/230/1.1	0	0	0	0
	Door Height	This rule checks the height of doors.	SOL/230/1.1	0	0	0	0
Slab Dimensions Should Be Sensible		This ruleset checks that slab dimensions are sensible (thickness is not too small or large, area is large enough).		0	0	0	0
	Slab Area	This rule checks that slab area is not very small.	SOL/230/1.1	0	0	0	0

Figura 10: Amostra do detalhamento das análises de regras

Fonte: OS AUTORES (2019)

- Na classificação dos componentes pode-se observar (figuras 11 e 12), que apenas 6% de componentes não estavam classificados. Este resultado deve-se à qualidade da modelagem que seguiu um padrão de classificação. Conclui-se que a classificação de componentes não seria impeditiva à aplicabilidade de automatização das regras específicas.

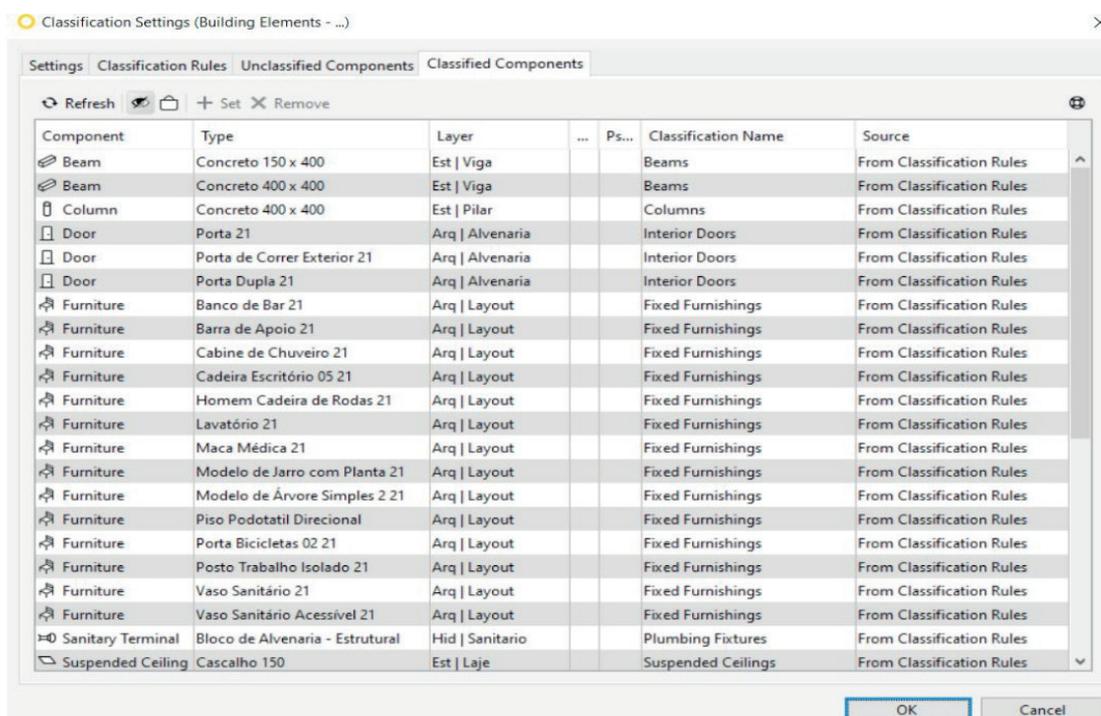


Figura 11: Exemplo de componentes classificados

Fonte: OS AUTORES (2019)

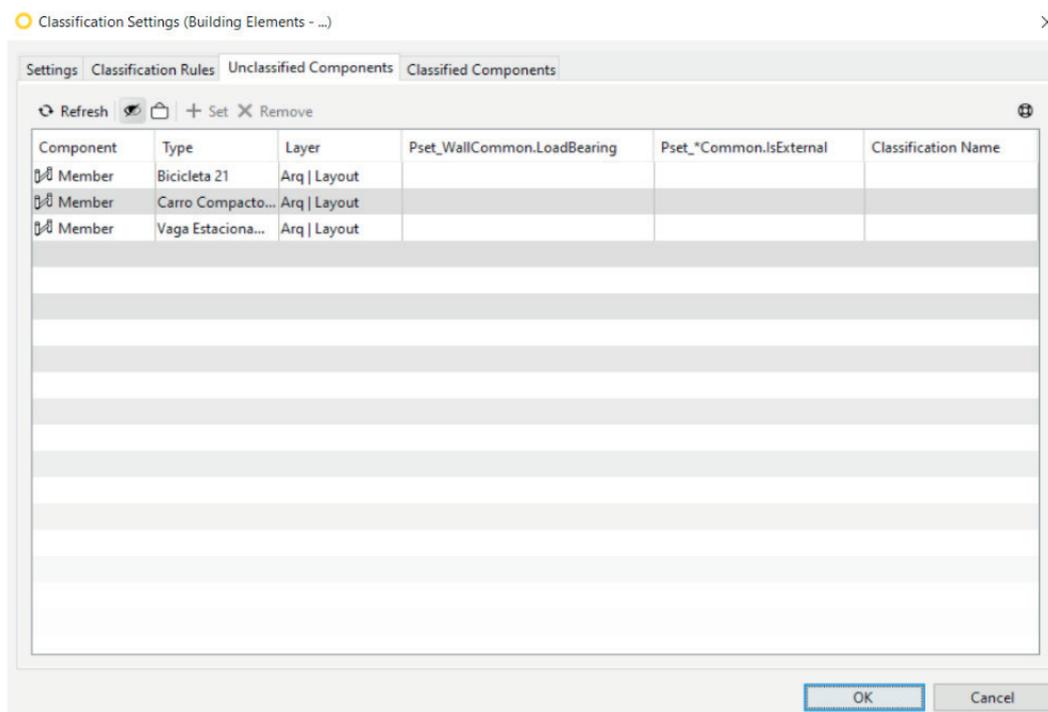


Figura 12: Exemplo de componentes não-classificados

Fonte: OS AUTORES (2019)

- Entretanto, na análise de classificação dos espaços, utilizando a nomenclatura de ambientes da tipologia UBS, pode-se observar que nenhum espaço pôde ser classificado pelo SMC.



Conforme EASTMAN (2014), um dos principais desafios detectados para implementação da automação da verificação das regras é relacionar os códigos das normas técnicas, aos códigos computacionais, de forma a obter resultados do sistema de automação. Outro destaque são os aspectos ligados à qualidade dos modelos virtuais como interoperabilidade, classificação da informação dos elementos, padrão de nomenclatura para espaços (ambientes).

Assim, devido a não classificação dos espaços, nenhuma regra específica (6º procedimento) pôde ainda ser aplicada de forma eficaz e direta no SMC.

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso identificou que automatização começa com padronização. No sistema BIM, tal como a Classificação da Informação, projetistas e desenvolvedores de ferramentas precedem de uma sintaxe própria para sustentar os diversos âmbitos da interoperabilidade.

Desta forma, vê-se que uma taxonomia para protocolos de nomeação de espaços, ambientes ou zonas seria um pressuposto aos processos de automatização de verificações. Este protocolo, em desenvolvimento, é parte constitutiva do constructo (etapas 4 e 5) desta referida Pesquisa Construtiva.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE E SILVA, Flávio Paulino de. **Verificação automática dos requisitos de projetos da Norma de Desempenho pela plataforma BIM Solibri Model Checker**. 2017. 161 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ARIADNE, Queila. **Burocracia encarece custo final de imóveis em até 12%**. Disponível em: < <https://www.otempo.com.br/capa/economia/burocracia-encarece-custo-final-de-im%C3%B3veis-em-at%C3%A9-12-1.1395934> > Acesso: 15 de janeiro de 2019.

BARISON, M. B.; SANTOS, E. T. **O papel do arquiteto em empreendimentos desenvolvidos com a tecnologia BIM e as habilidades que devem ser ensinadas na universidade**. Gestão e Tecnologia de Projetos, São Carlos, v. 11, n. 1, p. 103-120, jan./jun. 2016.

EASTMAN et al. Manual de BIM: **Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Porto Alegre: Bookman, 2014.

ELLWANGER, C.; SOUZA, V. N. R. S.; ROQUE, A. S.; BRUSCATO, U. M., Silva, R. P. **Experiência E Parametrização No Processo De Projeto De Aplicações Digitais Interativas**. Gestão e Tecnologia de Projetos, São Carlos, v. 11, n. 1, p. 7-20, jan./jun. 2016.

GOVERNO DO BRASIL. **Projetos de arquitetura para Unidades Básicas de Saúde são disponibilizados a gestores públicos**. Disponível em: < <http://www.brasil.gov.br/noticias/saude/2013/09/projetos-de-arquitetura-para-unidades-basicas-de-saude-sao-disponibilizados-a-gestores-publicos> > Acesso em: 25 de fevereiro de 2019.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. **Estratégia nacional de disseminação do BIM - Estratégia BIM BR**. Disponível em: < <http://www.mdic.gov.br/index.php/>

competitividade-industrial/ce-bim > Acesso em: 22 de janeiro de 2019.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria N° 340, De 4 De Março De 2013**. Disponível em: < [http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2013/prt0340\\_04\\_03\\_2013.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2013/prt0340_04_03_2013.html) > Acesso em: 25 de fevereiro de 2019.

SAMPAIO, Ana Virgínia C. F; CHAGAS, Suzana Sousa. **Avaliação De Conforto E Qualidade De Ambientes Hospitalares**. Gestão e Tecnologia de Projetos, São Carlos, v.5, n.2, p. 155-179, nov. 2010.

SOLIBRI. **Creating Rulesets in SMC v9.8**. Disponível em: < <https://solibri.wordpress.com/2017/11/20/creating-rulesets-in-smc-v9-8/> > Acesso em: 25 de fevereiro de 2019.

SOUZA, B.A. et al. **Análise dos indicadores PIB nacional e PIB da Indústria da Construção Civil**. Revista de Desenvolvimento Econômico, Salvador, v. 17, p.140-150. 2015. Disponível em <<https://revistas.unifacs.br/index.php/rde/article/view/3480> >. Acesso: 02 de janeiro de 2019.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: **A research and delivery foundation for industry stakeholders**. Automation in Construction, v. 18, p. 357-375, 2009. Elsevier BV.

## UM ESTUDO AUTOETNOGRÁFICO SOBRE A MONITORIA DA DISCIPLINA DE NOÇÕES DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIFESSPA

Data de aceite: 11/12/2019

### Antonio Carlos Santos do Nascimento Passos de Oliveira

Unifesspa (Universidade Federal do Sul do Sudeste do Pará), FAEC (Faculdade de Engenharia Civil)  
Marabá – PA

### Eduarda Guimarães Silva

Unifesspa, FAEC  
Marabá – PA

**RESUMO:** Com base nas recordações da monitoria, adotado um método autoetnográfico, o artigo se apresenta enquanto um relato de experiência, expondo as percepções sobre o programa de monitoria desenvolvido na Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Unifesspa). Como principal resultado percebeu-se como a monitoria pode figurar enquanto atividade de motivação e engajamento no curso, o que é de suma importância frente as questões de adoecimento universitário.

**PALAVRAS-CHAVE:** Monitoria Acadêmica; Ensino; Autoetnográfico.

### AN AUTOETHNOGRAPHIC STUDY ABOUT THE ACADEMIC MONITORING OF UNIFESSPA'S ARCHITECTURE AND

### URBANISM DISCIPLINE

**ABSTRACT:** Based on the monitor's recollections, adopting an autoethnographic method, the article presents itself as an experience report, exposing the perceptions about the academic monitoring program conducted at the Federal University of South and Southeast Pará (Unifesspa). As a main result, we noticed how academic monitoring can figure as an activity of motivation and engagement in undergraduate studies, which is extremely important in the face of university illness issues.

**KEYWORDS:** Academic Monitoring; Teaching; Autoethnographic.

### 1 | INTRODUÇÃO

A constante necessidade do incremento das disciplinas com práticas e que incentivem a interdisciplinaridade vem sendo observada no decorrer dos anos de existência de curso de Bacharelado em Engenharia Civil. No tocante a disciplina de Noções de Arquitetura e Urbanismo, ofertada no curso de Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Unifesspa), percebeu-se que na construção pedagógica do ementário dessa disciplina, temas ligados a Acessibilidade, Direitos Humanos, Gênero e

Diversidade, Patrimônio e Meio Ambiente foram incorporados.

Uma das razões apontadas, seria que a referida componente é ligada à formação humanística básica na Engenharia Civil, inclusive preparatória para demais disciplinas, pois através da elaboração de croquis permite aos discentes uma noção das dimensões e nuances mínimas necessárias ao bom desempenho de intervenções construtivas, sendo que durante os debates sobre o planejamento urbano, possibilita o incentivo ao desenvolvimento de uma percepção sobre as dinâmicas e empassos encarados na construção de cidades.

Uma visão vygotskyana interpela que os discentes em diferentes níveis de aprendizagem, podem ter uma interação enriquecedora, pois o conhecer perpassa por mediação sobre aquilo que se pretende conhecer (PEREIRA; ABIB, 2016), e a monitoria, permitiria que barreiras linguísticas e culturais, que por ventura possa existir, muito ligadas a questões geracionais, possam mais facilmente serem superadas.

Diante do exposto acima, o Curso de Engenharia Civil entende que a monitoria pode ser uma alternativa para o auxílio do professor na elaboração e realização de práticas relacionadas a disciplina e também na diminuição dos índices de reprovação na referida componente curricular. A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), trata a importância da atividade de monitoria, a mesma prevê que os discentes da educação superior poderão ser aproveitados em atividades de ensino dentro da própria instituição (Brasil, 1996, Art. 84).

Quando se rememora que os cursos de Engenharia são bacharelados, é preciso considerar que a carreira docente, que é fundamental para formação de novos engenheiros, muitas vezes, somente possui espaço para fomento nas atividades de monitoria.

Assim, no âmbito da Unifesspa, o programa de monitoria está vinculado a Pró-Reitora de Ensino de Graduação (PROEG), a qual oferta bolsas de monitoria via edital específico. Com base no que preconiza os editais da PROEG, com respeito a seleção de monitores, entende-se que o monitor deve dar suporte as atividades desenvolvidas em sala de aula pelo Professor responsável pela disciplina, auxiliando os discentes com dificuldades de compreensão do conteúdo ministrado em sala, além disso, deve também dar suporte na elaboração e realização de atividades práticas fora de sala.

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo apresentar, por meio de um relato de experiência, as percepções da monitoria da disciplina de Noções de Arquitetura e Urbanismo, na atividade de realização de maquetes de construções consideradas como patrimônio edificada, na ótica discente. Traçando um panorama enquanto discente do curso que cursou tal disciplina sem auxílio de monitoria. O estudo se propõe através dessa pesquisa qualitativa demonstrar a importância

dessas atividades, principalmente nesse cenário de corte de investimentos na Educação, vivenciados a partir de 2016.

## 2 | PERCURSO METODOLÓGICO

Baseando-se nas interpretações de Santos (2017) sobre a realização de pesquisas com uso do método autoetnográfico, esse trabalho construiu o relato de experiência com base na interpretação dos fatores vividos (com base na memória) da monitora da disciplina, orientando o conteúdo para um carácter reflexivo.

Dessa forma, a monitora, enquanto discente, foi indagada a refletir com base em sua vivência:

- 1) Que dificuldades rememora de ter vivenciado enquanto discente da disciplina?
- 2) Essas dificuldades foram vivenciadas pelos discentes no período em que ela foi monitora?
- 3) O ser monitora influenciou sua trajetória no curso?
- 4) A monitoria causou que limitações de oportunidades?
- 5) A monitoria propiciou quais oportunidades?
- 6) Quais dificuldades ela auxiliou os discentes a superar enquanto foi monitora?
- 7) Quais conhecimentos adquiriu ao auxiliar na prática de maquetes, que recorda não ter adquirido quando a realizou enquanto discente?

Com base na construção das respostas a esses questionamentos a monitora construiu um discurso sobre a reflexão da importância da atividade monitoria na disciplina de noções de arquitetura e urbanismo, considerando a lente interpretativa de que vivenciou a disciplina sem auxílio de monitora.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 apresenta um dos produtos da disciplina que são as maquetes produzidas durante a disciplina Noções de Arquitetura e Urbanismo, que no estudo autoetnográfico são os objetos que a monitora desenvolveu o aspecto relacional.



Figura 1: Maquetes que figuraram como os objetos em que a monitora desenvolveu a postura relacional.

Fonte: Autores, 2017.

Em relação ao primeiro questionamento, as dificuldades perpassavam pelos caminhos necessários para desenvolver as atividades: “das complicações em encontrar materiais adequados e de custo acessível na cidade para elaborar as maquetes”, dessa forma, a trajetória necessária a percorrer era incerta e não sabida, contudo, uma vez percorrida pela monitora, para os demais anos, a trilha a ser seguida já estava desenvolvida, e dessa forma, essas dificuldades iniciais, já não eram mais necessárias de serem resolvidas, pois a monitora já conhecia os “caminhos”.

É válido rememorar que também persistiam dúvidas de ordem material, como infraestrutura ligada a salas, maquinários e livros, as quais, institucionalmente, ainda se delongam. Essas barreiras caso não resolvidas, por ventura, ainda serão potencializadoras de dificuldades.

A monitoria se mostrou um instrumento para inserção nas atividades inerentes a conduta universitária: “além de melhorar meus conhecimentos técnicos na disciplina, a atividade de monitoria foi crucial no despertar para a pesquisa e à docência”, sendo que, a realização da monitoria permitiu um fluxo de atividade que propiciaram o envolvimento com a área de interesse no curso.

Rememorando sobre a atividades realizadas, a gestão do tempo se deu de maneira eficaz, uma vez que, não existiu registro de limitações de atividades em decorrência da monitoria.

É válido o registro de que a monitoria se configurou como um fator de motivação. O adoecimento psicológico dos acadêmicos é uma realidade de difícil enfrentamento, e os índices estão alarmante (ARINO; BARDAGI, 2018), dessa forma, a monitoria figurando como um fator de motivação, é deveras importante, e deve ser incentivado.

## 4 | CONSIDERAÇÕES

Ao longo deste trabalho pode-se perceber como que o programa de monitoria pode contribuir para a melhoria do ensino-aprendizado dos discentes do curso de Engenharia Civil da Unifesspa.

As impressões e percepções da monitora correlacionam a monitoria para além do invés eminentemente acadêmico, e configura no patamar de uma atividade de motivação. Dessa forma, as atividades realizadas são de importância para incentivar o engajamento no curso.

## REFERÊNCIAS

ARINO, Daniela Ornellas; BARDAGI, Marúcia Patta. **Relação entre Fatores Acadêmicos e a Saúde Mental de Estudantes Universitários**. *Psicol. pesq.*, Juiz de Fora, v. 12, n. 3, p. 44-52, dez. 2018. Disponível em <[http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1982-12472018000300005&lng=pt&nrm=iso](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-12472018000300005&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 21 out. 2019.

BRASIL. Lei 9.394, de 20 de dezembro de 1996. **Estabelece as Diretrizes de Bases da Educação Nacional**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 23 de dezembro de 1996 - Seção 1 - Página 27839.

PEREIRA, Marta Maximo; ABIB, Maria Lucia Vital dos Santos. **Afetividade e Metacognição em Percepções de Estudantes sobre sua Aprendizagem em Física**. *Ens. Pesqui. Educ. Ciênc. (Belo Horizonte)*, Belo Horizonte, v. 18, n. 1, p. 107-122, Abril, 2016.

SANTOS, S. M. **O método da autoetnografia na pesquisa sociológica: atores, perspectivas e desafios**. *Plural*, v. 24, n. 1, p. 214-241, 30 ago. 2017.

## GESTÃO DO CONHECIMENTO EM EMPRESAS DE CONSTRUÇÃO NA COLÔMBIA: CASOS E TENDÊNCIAS

Data de aceite: 11/12/2019

### Hernando Vargas Caicedo

Universidad de los Andes,

E-mail: hvargas@uniandes.edu.co

### Arturo Clemente Isaza

Universidad de los Andes,

E-mail: ac.isaza491@uniandes.edu.co

**RESUMEN:** El presente documento da una mirada a como se está haciendo el manejo del conocimiento en las empresas del sector de la construcción en Colombia, particularmente a las que tienen operación en la ciudad de Bogotá. A partir de revisión bibliográfica se generó un cuestionario para examinar la maduración en éstas de tres aspectos principales: gestión del conocimiento intra-organizacional e inter- organizacional y herramientas y técnicas de gestión del conocimiento. El cuestionario fue realizado de forma presencial y electrónica con actores relevantes en la industria de la construcción. Se encontró que las firmas de la construcción son reacias a compartir el conocimiento entre diferentes empresas a menos de que perciban beneficios. Se estableció que la mayoría de las empresas no tienen áreas o formas explícitas para el manejo del conocimiento adquirido, que reside esencialmente en las personas.

Por último, lo más cercano a una herramienta o técnica de gestión del conocimiento encontrado son los sistemas de gestión de calidad que en cierta manera documentan el funcionamiento de la empresa.

**PALABRAS-CLAVE:** Gestión del Conocimiento, Construcción, Colombia.

### KNOWLEDGE MANAGEMENT IN CONSTRUCTION FIRMS IN COLOMBIA: CASES AND TRENDS

**ABSTRACT:** This document studies knowledge management practices in construction firms in Colombia, mostly operating in Bogota. From bibliographical revision a questionnaire was developed to recognize their intraorganizational and interorganizational advance, as well as their tools and techniques. Questions were posed both personally and electronically to relevant construction industry actors. It was found that building firms are reluctant to share knowledge among them unless they perceive involved benefits. A majority of them lacks areas or explicit forms for knowledge management residing basically in individuals. Quality management systems were identified as procedures partially documenting firm operations.

**KEYWORDS:** Knowledge Management,

## 1 | INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas el conocimiento se ha reconocido como fuente de poder y ventajas comerciales. Una de las estrategias necesarias para tener éxito en los negocios en general es el manejo del conocimiento y el aprendizaje que se genera a partir de experiencias de las empresas en los diferentes negocios. A nivel mundial, el sector de la construcción se ha demorado en implementar metodologías para el manejo de la información (Kululanga & McCaffer, 2001). En este sector el manejo del saber es un recurso muy importante porque cada proyecto de construcción es muy diferente, puede estar en distintas localizaciones geográficas, y demanda soluciones especializadas a problemas que pueden tomarse como base para solucionar dificultades en otros proyectos. De aquí se pueden reconocer buenas prácticas, métodos para solucionar problemas, rutinas y lecciones aprendidas; que pueden replicarse en otros proyectos, ahorrando tiempo y recursos. Para esto existen diferentes herramientas tan sofisticadas como la minería de datos que permite organizar y clasificar información no estructurada de todo tipo (Maimon & Rokach, 2010). De esta forma se generan ventajas competitivas además que se promueve la innovación al adaptar soluciones anteriores a nuevos problemas (Ribeiro, 2009). Ya que la construcción sea una industria que requiere altos niveles de experiencia y conocimiento, su administración o Knowledge Management adquiere un valor estratégico de múltiples consecuencias sobre la competitividad, la calidad y el desarrollo de las firmas y sus recursos.

La metodología utilizada para el estudio fue la de generar un cuestionario abordando los tres temas principales del estudio: gestión del conocimiento intra-organizacional, gestión del conocimiento inter-organizacional; herramientas y técnicas de gestión del conocimiento. El cuestionario se aplicó de forma electrónica y/o presencial a diferentes actores del sector de la construcción. Los resultados de la encuesta se presentan de forma gráfica y se analizan. Finalmente se presentan las conclusiones del estudio.

El objetivo principal del trabajo fue tener un primer acercamiento a como se está manejando el conocimiento en el sector de la construcción en Colombia. El estudio se dirigió a reconocer y analizar su estado a partir de los testimonios los gerentes o personas encargadas del conocimiento en diferentes empresas.

## 2 | ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

En el caso colombiano existen pocos estudios sobre cómo se maneja el saber en las empresas de construcción y a nivel de sector. Por ser este un tema

relativamente reciente, en especial en empresas desarrolladoras de proyectos de edificación, se puede esperar que desde los últimos estudios del sector, en el 2006, existan avances. En ese año era claro un muy pobre el manejo del conocimiento en las firmas investigadas (Granados Acevedo, 2006).

La Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), órgano estatal creado para impulsar una nueva generación de grandes obras viales, propone una guía para la gestión del conocimiento que data del año 2012 (Acuña, 2012) que hace un recuento de diferentes modelos que se pueden utilizar para cumplir esta función. Sin embargo, por ser una publicación tan reciente, puede pensarse que, en general, el sector de la construcción e infraestructura a nivel nacional presenten retrasos en este tema.

El conocimiento en particular en la industria de la construcción tiene las siguientes características (Egbu & Robinson, Construction as a Knowledge-Based Industry, 2005). El cómo hace referencia a las habilidades y características necesarias para realizar la actividad. El qué se refiere al objeto o habilidad que se está desarrollando. El porqué es la razón o conocimiento científico que está detrás del objeto de desarrollo. Por último, el quién, se refiere al capital humano que tiene el conocimiento. La dimensión temporal del conocimiento a través de su ciclo de vida se expresa en la siguiente figura:

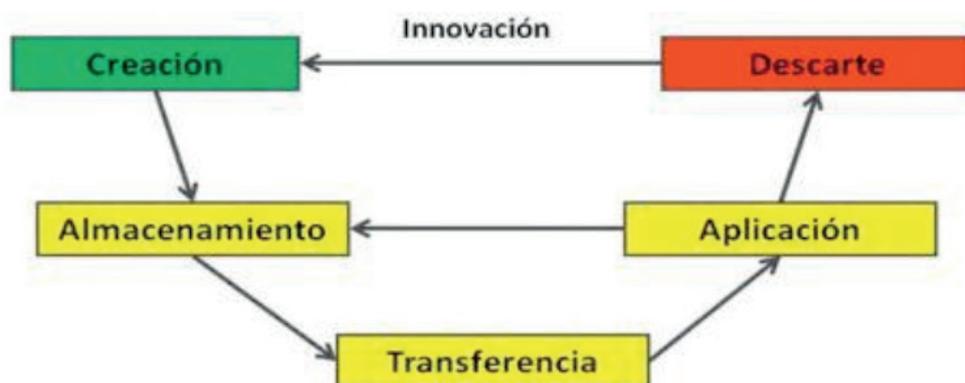


Figura 1. Ciclo de vida del conocimiento (Mason, 2007), (Gasik, 2011) y Propia

Dentro del tema existen múltiples formas de administrar el conocimiento, que van desde simples cambios en la conducta de los líderes de las empresas, hasta sofisticados softwares que integran toda la operación de las compañías. En este tema también se deben relacionar las culturas organizacionales con los diferentes aspectos del medio, desde los trabajadores, pasando por las culturas locales, hasta los clientes finales y proveedores (Egbu, Anumba, & Carrillo, 2005).

### 3 | OBJETIVOS Y METODOLOGIA

El estudio se propuso conocer las tendencias en cuanto al manejo del

conocimiento en destacadas empresas de la edificación en Colombia. Para esto se debió analizar el funcionamiento de empresas que manejan múltiples proyectos y cómo se realiza en ellas la gestión del saber, determinando lo que ellas identifican como factores clave para la gestión del conocimiento en un entorno con alta necesidad del mismo.

Con revisión bibliográfica se planteó marco teórico de referencia referido al caso de la industria de la construcción. A partir de esta revisión se determinó un cuestionario que reflejaba aspectos más importantes de la gestión del conocimiento, el cual va a ser presentado más adelante. Es importante destacar que el cuestionario es únicamente de selección múltiple con el fin de que fuera más fácil analizar las respuestas y que al encuestado le quedara más fácil responderlo. El formato de las encuestas fue electrónico, por medio de la herramienta Google Sheets, con el fin de hacer más fácil y práctica su distribución. Además de las encuestas se realizaron entrevistas personales a algunos de los actores más relevantes dentro del negocio de la construcción para poder obtener una información más detallada y de primera mano. El total de preguntas del cuestionario es de 57

Las entrevistas y encuestas estuvieron dirigidas principalmente a gerentes y directores de proyectos en las diferentes empresas, que por su cargo deben tener un alto conocimiento tanto técnico como general de las firmas y del sector de la construcción.

La selección de los encuestables se hizo con base en la lista de clientes de una firma de servicios de información para la construcción y al listado de empresas afiliadas a Camacol, Cámara Colombiana de la Construcción. Todas las entrevistas personales fueron grabadas. Con base a las respuestas de las encuestas y entrevistas se plantearon conclusiones sobre el estado de manejo del conocimiento en la industria de la edificación en Colombia. En total se envió la encuesta a 76 firmas de construcción diferentes y se realizaron 13 entrevistas.

## **4 | RESULTADOS**

En total de las 76 encuestas enviadas se recibió únicamente respuesta de 21 firmas de las cuales 13 fueron por parte de los entrevistados. Por esta razón las entrevistas tienen un peso muy importante dentro del estudio, porque adicionalmente contienen una información más profunda que las encuestas.

### **4.1 Sobre la gestión del conocimiento**

En primer lugar, es importante resaltar que el conocimiento es un tema crucial en la industria de la construcción. Esto fue algo que se encontró tanto en la teoría, en la revisión bibliográfica, como en la práctica, por medio de las entrevistas. En todas

las entrevistas los entrevistados hicieron énfasis en la importancia del conocimiento. Por citar algunas frases: “...*el conocimiento y la experiencia son todo en el negocio de la construcción...*” (Sánchez, 2014) o “...*el conocimiento es lo más importante...*” (García, 2014).

La siguiente tendencia en cuanto a la gestión del conocimiento encontrada es que existe un importante nivel de desconocimiento sobre el tema. A lo anterior se suma que hasta ahora muy pocas empresas tienen algún tipo de acercamiento consciente a KM. Sin embargo, se puede anticipar que como ya existen empresas que tienen o empiezan a tener en cuenta este, se puede esperar que en los próximos años aumente el número de empresas que van a empezar a implementar sistemas de gestión del conocimiento. Por afrontar la industria de la construcción local el entorno de un país multicultural como Colombia, podría ser de ayuda para las empresas implementar sistemas de gestión del conocimiento que les permitan operar en nuevos ambientes y regiones.

Otro problema del cual las empresas están muy conscientes es de que no pueden depender de las personas para su funcionamiento. Por esto han implementado diferentes maneras de promover que las personas se queden en la empresa, generando ambientes de trabajo muy amables, o, como tendencia general, manteniendo capaces equipos de trabajo donde resulta más fácil reemplazar a las personas que decidan irse.

Una tendencia registrada en las entrevistas es que se busca promover una cultura de transparencia, con el fin de generar un sector sostenible y entregar productos de calidad a los clientes. En cuanto a KM uno de los principales requisitos para una buena gestión es la transparencia de procesos que permita transferir conocimiento con facilidad.

## **4.2 Al interior de la empresa**

Las principales formas encontradas de implementación de gestión del conocimiento se alcanzaron de forma inconsciente a través de la certificación ISO 9001. Esta norma se refiere a que la empresa acreedora de la misma tiene implementados Sistemas de Gestión de Calidad, a través de los cuales se estandarizan procesos, se crean formas de medir rendimiento y calidad. Para lograr estas certificaciones cada empresa tiene una aproximación diferente, pero de una u otra forma implementan sistemas de gestión del conocimiento, como los manuales de gestión integral y procesos, generados eventualmente al interior de la empresa a partir de conocimiento de la misma.

Aunque la creación de estos manuales es diferente en cada empresa, tiene como finalidad común facilitar controles, asegurar calidad y estandarizar procesos, disminuyendo la dependencia de la empresa frente a las personas. Esto ocurre

haciendo que información importante sobre el cómo de cada operación o acción no dependa puramente del conocimiento individual, sino resida en esos documentos. La creación de estos, en la mayoría de los casos, incluso integraba a los proveedores en la concepción de los mismos, para mantener las garantías sobre sus suministros.

Además de lo anterior, existe un consenso generalizado sobre la formación continuada de los empleados. La mayoría de las empresas promueven que los empleados tomen cursos que aumenten su conocimiento. Por iniciativa propia de los empleados o a través de cursos institucionales, se busca que los empleados se mantengan informados y aprendiendo sobre las cosas nuevas que aparecen en el mercado.

Otra tendencia es que si bien no se maneja el saber bajo el nombre de gestión del conocimiento sí se ha manejado por otros medios. Puede ser porque la empresa ha tenido la necesidad de implementar sistemas para solucionar problemas o que ven un alto beneficio en alguna herramienta, como las bases de datos e intranets. En algunas empresas se están implementando motores de búsqueda para encontrar soluciones a problemas actuales en experiencias anteriores.

En cuanto a tecnologías, existe un predominio en la utilización del sistema de gestión integral de una firma local de servicios de información para la construcción, en gran parte asociado a que acompaña a las organizaciones durante el proceso de implementación y, a partir de softwares generales, los adapta a las necesidades especiales de cada empresa.

Otra tendencia muy importante al interior de las organizaciones del sector es que en todas se declara el interés en promover cultura de colaboración y ambiente que promueva el trabajo amable. De acuerdo a diferentes gerentes, los trabajadores que se sienten identificados con la empresa y que les gusta su trabajo rinden mucho mejor que uno que no y esto puede significar mejora en resultados.

### **4.3 Entre empresas**

Se encontró para la gestión del conocimiento entre empresas una tendencia muy importante en cuanto a actitud para compartir información. Las empresas del sector de no están abiertas a hacerlo a menos de que exista algún beneficio porque el conocimiento es una de las bases de sus ventajas competitivas. Cada empresa tiene su propio conocimiento y cultura que hacen que la hacen significativa en algunos aspectos solamente. En muchos casos, se trató de absurda la idea de compartir conocimiento pero se aclaró que en el caso de alianzas estratégicas se comparte información, aunque limitada exclusivamente a temas de las mismas.

Otra tendencia muy importante con relación a contratistas y proveedores es que se busca mantener cerca a los que desempeñan esos papeles de forma excepcional. Inclusive se llega a formar una simbiosis donde la constructora se encarga de

proporcionar formación a los empleados de tales organizaciones externas para aumentar el capital intelectual que participa en los proyectos.

## 5 | CONCLUSIONES

En primer lugar, se establecieron las tendencias actuales en cuanto a gestión del conocimiento en la industria de la construcción en Colombia. Como tendencia principal se determinó que las empresas están manejando indirecta e inconscientemente su conocimiento con ayuda de procesos como los derivados de la certificación ISO 9001.

En la revisión bibliográfica se identificaron diferentes herramientas y técnicas para la gestión del conocimiento y factores principales que influyen en la implementación de sistemas para su gestión. En especial se destaca como la cultura organizacional juega un papel vital para manejar el capital intelectual y personal de las empresas.

Se comprobó la forma diversa de gestionar proyectos con distintas culturas empresariales. Sin embargo, coincidían en la condición de transparencia como vital para ser exitosos en el desarrollo de proyectos de construcción y ser sostenibles a largo plazo.

El cuestionario extenso permitió ver tendencias en los diferentes temas aférentes a la gestión del conocimiento. Este reveló las diferentes direcciones en la industria y ayudó a guiar las entrevistas personales. Las entrevistas permitieron conocer en detalle el funcionamiento de las empresas y su manejo del conocimiento.

Las encuestas electrónicas fueron una especie de decepción ya que por falta de interés de las personas contactadas no se logró obtener muchas respuestas y prácticamente fue necesario limitarse a las entrevistas personales únicamente.

También se notó la importancia que se reconoce en el sector a la experiencia acumulada inicialmente como conocimiento tácito de cada persona. Por otra parte, se vio que en la mayoría de las empresas se busca ser independientes de las personas y mantener la información en los manuales y procesos de las empresas.

## 6 | RECOMENDACIONES Y FUTUROS ESTUDIOS

Como recomendaciones para estudios similares y posibles lineamientos para futuros estudios con base a la experiencia del presente trabajo, se plantea aumentar tamaño de la muestra entrevistada y encuestada, profundizar mediante entrevistas gracias al acceso que ofrecen a información más detallada y abierta, sistematizar resultados numéricos en las encuestas realizadas en Google Sheets, para facilitar su manejo en Excel. Conviene profundizar el estudio sobre la relación entre proveedores

y firmas de construcción. Para avanzar en el análisis del manejo del conocimiento al interior de las empresas se plantea la conveniencia de formular un modelo bajo el cual las organizaciones participes del sector de la construcción estén dispuestas a compartir conocimiento, realizando el mismo estudio en otros sectores como los de desarrollo de infraestructura o transporte. Desarrollar con firmas del sector de servicios de información, herramientas que permitan acceder a información no estructurada de las diferentes fuentes de información de las empresas.

## REFERENCIAS

- ACUÑA, M. *ANI*. Recuperado el 6 de 11 de 2013, de [http://www.ani.gov.co/sites/default/files/gi12\\_guia\\_para\\_la\\_gestion\\_del\\_conocimiento\\_v1\\_ani\\_0.pdf](http://www.ani.gov.co/sites/default/files/gi12_guia_para_la_gestion_del_conocimiento_v1_ani_0.pdf), 9 de Marzo de 2012
- EGBU, C. O., ANUMBA, C. J., & CARRILLO, P. M. **Introduction**. *Knowledge Management in Construction* , 2005
- EGBU, C. O., & ROBINSON, H. S. **Construction as a Knowledge-Based Industry**. *Knowledge Management in Construction* , 31-49, 2005
- GARCIA, L. E. Entrevista sobre Gestión del Conocimiento a la empresa Proyectos y Diseños. (A. Isaza, Entrevistador), 21 de Mayo de 2014
- GASIK, S. **A Model of Project Knowledge Management**. *Project Management Journal* , 42 (3), 23-44, 2011
- GRANADOS ACEVEDO, R. **Tesis de Magister: "Acercamiento al sector de la construcción y la ingeniería civil en gestión del conocimiento"**. Universidad de los Andes, Bogotá, 2006
- KULULANGA, G. K., & MCCAFFER, R. **Measuring knowledge management for construction organizations**. *Engineering Construction and Architectural Management* , 346– 354, 2001
- MASON, R. M. **The Critical Role of the Librarian/Information Officer as Boundary Spanner Across Cultures**. *Rethinking Knowledge Management* , 209-225, 2007.
- MAIMON, O., & ROKACH, L. **Springer**. *Data Mining and Knowledge Discovery Handbook*, 2010
- RIBEIRO, F. L. **Enhancing knowledge management in construction firms**. *Construction Innovation* , 268-284, 2009
- SÁNCHEZ, R. Entrevista sobre Gestión del Conocimiento en Constructora Las Galias, (A. Isaza, Entrevistador), 19 de Mayo de 2014

## NOVAS TECNOLOGIAS NO GERENCIAMENTO DE FACILIDADES? - UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Data de aceite: 11/12/2019

### Marcus Vinicius Rosário da Silva

Universidade Federal Fluminense, Laboratório de Tecnologia, Gestão de Negócios e Meio Ambiente  
Niterói, RJ

### Marcelo Jasmim Meiriño

Universidade Federal Fluminense, Laboratório de Tecnologia, Gestão de Negócios e Meio Ambiente  
Niterói, RJ

### Gilson Brito Alves Lima

Universidade Federal Fluminense, Laboratório de Tecnologia, Gestão de Negócios e Meio Ambiente  
Niterói, RJ

**RESUMO:** As atividades profissionais de Gerenciamento de Facilidades (*Facility Management* - FM) demandam diversas ferramentas tecnológicas, úteis para auxiliar a tarefas rotineiras à tomadas de decisão. Estudos anteriores revelam que as tecnologias foram absorvidas, ao longo do tempo, pelo mercado. Atualmente, quais são as tecnologias aplicadas ao setor de FM? Além disso, qual tecnologia tem maior número de estudos na abordagem estabelecida na pesquisa? Existe oportunidade para desenvolvimento de soluções integradas com duas ou mais tecnologias? Uma revisão sistemática de literatura foi realizada, com recorte temporal de 5 anos, para identificação

dos estudos recentes sobre tecnologias aplicadas à fase de operação e manutenção no ambiente construído. Os 74 artigos completos, em inglês, sobre o tema resultantes da revisão sistemática foram analisados quanto ao ano de publicação, bases de dados, periódicos, distribuição geográfica, principais autores e palavras-chaves recorrentes. Por fim, na discussão as novas tecnologias em FM são tratadas: (a) Modelagem de Informação da Construção - BIM; (b) Sistema de Informação Geográfica - GIS; (c) Sistemas Ciber-físicos - CPS; (d) *Big Data*; (e) Realidade Virtual; (f) Realidade Aumentada; (g) Internet das Coisas - IoT; e (h) Identificação por Rádio Frequência – RFID. O artigo foi inicialmente apresentado no SBTIC 2019.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelagem de Informação da Construção; Sistema de Informação Geográfica; Realidade Virtual e Aumentada; Internet das Coisas; Big Data.

### WHAT ARE THE NEW TECHNOLOGIES IN FACILITY MANAGEMENT? - A SYSTEMATIC REVIEW

**ABSTRACT:** The Facility Management (FM) professional activities require diverse technological tools, useful in assisting routine tasks to decision making. Previous studies reveal technologies were absorbed, over

time, by the market. Currently, what are the demanded technologies applied to the FM sector? Furthermore, which technology has the greatest number of studies in the approach settled in research? There is an opportunity for the development of integrated solutions with two or more technologies? A systematic literature review was carried out, within a 5-year timeframe, to identify the most recent studies on technologies applied to the phase of operation and maintenance in the built environment. The 74 completed papers in English on the subject resulting from the systematic review were analyzed by publication year, databases, journals, geographical distribution, main authors and recurrent keywords. Finally, in the discussion the new technologies in FM are treated: (a) Building Information Modelling - BIM; (b) Geographic Information Systems - GIS; (c) Cyber-physical systems - CPS; (d) Big Data; (e) Virtual Reality; (f) Augmented Reality; (g) Internet of Things - IoT; and (h) Radio Frequency identification - RFID. Article was selected at SBTIC 2019.

**KEYWORDS:** Building Information Modelling; Geographic Information System; Virtual and augmented reality; Internet of Things; Big Data.

## 1 | INTRODUÇÃO

A função organizacional de Gerenciamento de Facilidades (*Facility Management* - FM), integra pessoas, propriedades e processos dentro do ambiente construído com o propósito de melhorar a qualidade de vida das pessoas e a produtividade do negócio central (ISO, 2017). A complexidade e o profissionalismo em FM moderno obrigam os profissionais a adotarem ferramentas computadorizadas distintas, úteis na automatização de tarefas de rotina, no gerenciamento de informações, no monitoramento de desempenho do edifício e no auxílio às tomadas de decisão (CARREIRA *et al.*, 2018). A inovação pode elevar os níveis de qualidade e produtividade e atender às necessidades de mudança e superar as ofertas de concorrentes (LILLIS; SZWEJCZEWSKI; GOFFIN, 2015). A tecnologia da informação desempenha um papel importante nas estratégias, auxiliando o processo de inovação (SCUPOLA, 2014).

Estudos anteriores exploram ferramentas e sistemas com informações aperfeiçoadas para melhorar o gerenciamento de operação e manutenção (O&M), incluindo: (a) sistemas de Gerenciamento de Manutenção Computadorizada (*Computerized Maintenance Management Systems* - CMMS); (b) sistemas de Gerenciamento de Facilidades assistido por Computador (*Computer-Aided Facility Management* - CAFM); (c) Sistemas de Automação Predial (*Building Automation Systems* – BAS); (d) Sistemas Eletrônicos de Gerenciamento de Documentos e Sistemas de Gerenciamento de Energia (*Enterprise Resource Planning* – ERP); e (e) Sistemas Integrados de Gerenciamento de Locais de Trabalho (*Integrated Workplace Management Systems* – IWMS) (EDIRISINGHE *et al.*, 2017; LU *et al.*, 2018).

Neste contexto, a revisão sistemática de literatura - RLS busca responder as questões: quais os tipos de tecnologia são abordados nas pesquisas aplicadas à FM? qual tecnologia possui maior número de estudos no recorte estabelecido nesta pesquisa? há oportunidade para desenvolvimento de soluções integradas com duas ou mais tecnologias?

## 2 | METODOLOGIA

A RSL foi adotada, tendo como objetivo fornecer uma visão geral da área de pesquisa. Foi utilizado o processo descrito por Petersen *et al.* (2008) e diretrizes, estabelecidas por Kitchenham e Charters (2007), para busca de artigos relevantes (YLI-HUUMO *et al.*, 2016), organizados em quatro etapas (Figura 1): (a) **busca de todos os trabalhos científicos**, utilizando as palavras-chaves “*Facilities Management*” e *Technologies*” no Periódico CAPES com período de abrangência de 2013 à 2018, entre os dias 11/05/2018 a 15/05/2018; (b) **triagem dos artigos relevantes**, excluindo *papers* sem disponibilidade de texto completo em inglês, com tecnologia não relacionada as atividades de FM, e duplicados; (c) **redação-chave com base no resumo**, documentando palavras-chaves e conceitos em grupos; e (d) **Extração de dados e processo de mapeamento** para coleta de informações (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007; PETERSEN *et al.*, 2008).



Figura 1: etapas da RLS

Fonte: Os autores

## 3 | RESULTADOS

Na plataforma do periódico CAPES foram encontrados 1.083 artigos científicos em inglês, revisados por pares, a partir das palavras-chaves supracitados. Após a aplicação dos critérios de exclusão, resultou em 74 *papers* sobre tecnologia aplicadas à FM.

### 3.1 Ano de publicação, base de dados e periódicos

Os anos de 2015 (23%) e 2017 (26%) destacaram-se pelo número de publicações, dentro da amostra, totalizando 49% do total das publicações do recorte. Apresentando uma tendência ascendente (Figura 2).

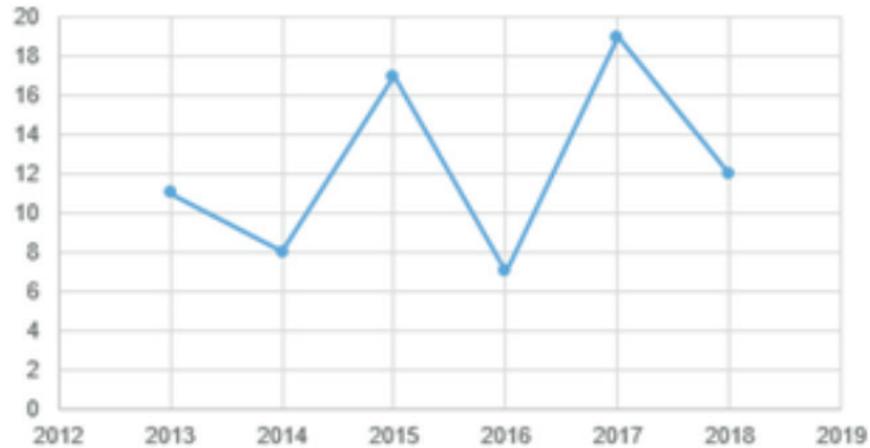


Figura 2: publicações

Fonte: Os autores.

O *ScienceDirect (Elsevier)* (41%) e a *Emerald insight* (31%) são evidenciados como base de dados com maior número de publicações no tema, contribuindo com 72% da amostra (Figura 3), Foram excluídos aqueles com um periódico.

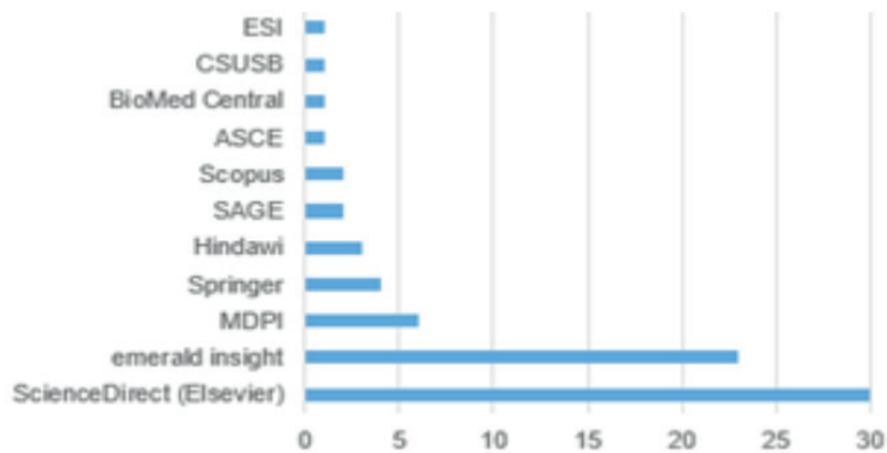


Figura 3: base de dados

Fonte: Os autores.

O periódico *Automation in Construction* (22%) desponta em publicações, seguido por *Facilities* (7%), e em terceiro o *Built Environment Project and Asset Management* e *Advanced Engineering informatics* (6% cada) (Figura 4).

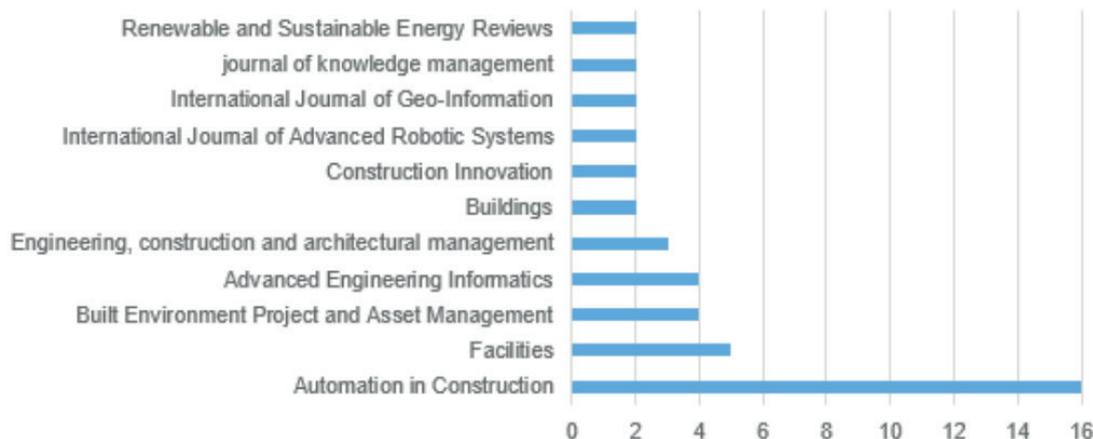


Figura 4: periódicos x publicações

Fonte: Os autores.

### 3.2 Distribuição geográfica, autores e palavras-chave

Reino Unido (18%), Estados Unidos da América (16%), Austrália (11%), Canadá (8%) e China (7%) são os primeiros colocados na lista de países dos autores principais, totalizando 60% da amostra (Figura 5).

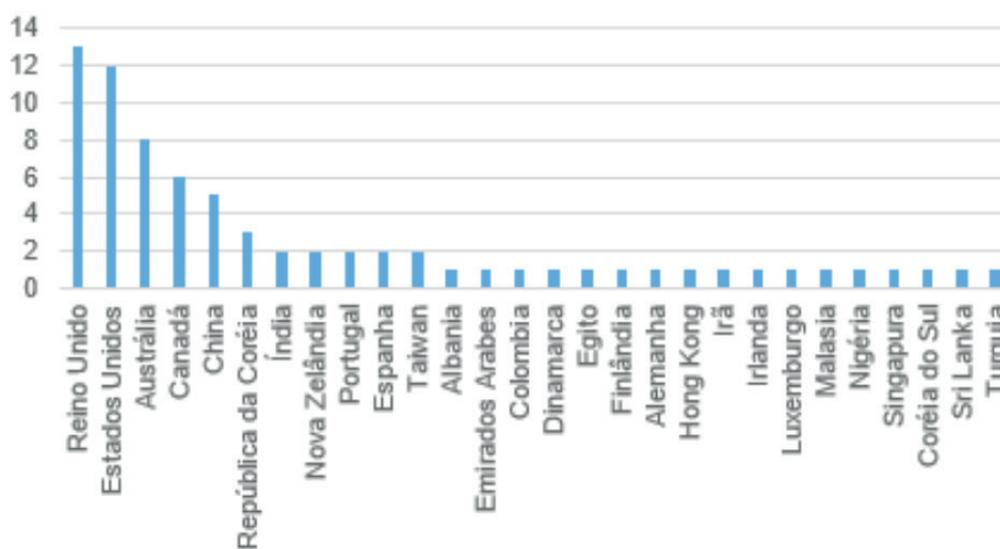


Figura 5: produções x países de origem do autor principal

Fonte: Os autores.

O autor com maior número de publicações (Figura 6) é Xiangyu Wang, da *School of Built Environment, Curtin University of Western Australia*, com 6 artigos e pesquisas em *Buiding Information Modelling – BIM*, *Geografic information System – GIS* e *Realidade Aumentada*. Os demais autores explicitados apresentaram diversidade quanto a tecnologia estudada e duas publicações cada. Autores com um *paper* foram excluídos.

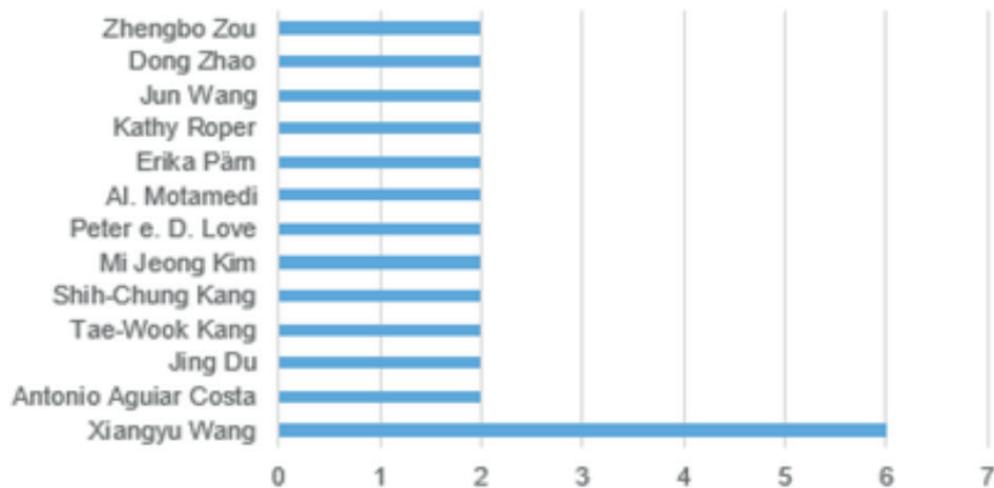


Figura 6: Autores com publicações recorrentes no tema

Fonte: Os autores.

Foram encontradas 369 palavras-chaves, das quais 174 apresentaram repetições em diferentes publicações. A palavra mais recorrente foi Modelagem de Informação da Construção (*Building Information Modelling*) com 24 ocorrências, seguidas de sua sigla BIM, com 19 ocorrências - totalizando, 43 ocorrências. A palavra Gerenciamento de Facilidades (*Facilities Management*) foi a terceira maior ocorrência em 14 artigos. Posteriormente, o conceito *Big Data* aparece 8 vezes. Seguidos dos termos *Facility Management* e Operação e Manutenção (*Operations & Maintenance*) com 5 ocorrências. A sigla FM, a tecnologia *cloud computing*, o Gerenciamento de Ativos, a realidade aumentada, a revisão de literatura e a tecnologia de *Wireless sensor network* apareceu 4 vezes cada. Interoperacionalidade de dados entre *software(s)*, TIC (ICT), Tecnologia da informação e comunicação (*Information and Communications Technology*), integração (*integration*) entre tecnologias, Gestão do conhecimento (*Knowledge Management*), manutenção (*maintenance*), RFID, segurança patrimonial (*security*) e Realidade Virtual (*Virtual Reality*) foram apresentadas 3 vezes. E por fim, dentre as 24 palavras com 2 ocorrências, destaca-se aqui as tecnologias presentes: Sistemas de Gerenciamento de Edifícios (*Building Management System*); Sistemas ciberfísicos (*Cyber-Physical Systems - CPS*); Sistema de Informação Geográfica (*Geographic Information System - GIS*); Sistema de Gerenciamento da Manutenção (*Maintenance Management System*); a sigla de Internet das coisas - IoT; e Identificação por rádio frequência (*Radio Frequency Identification*) (Figura 7).

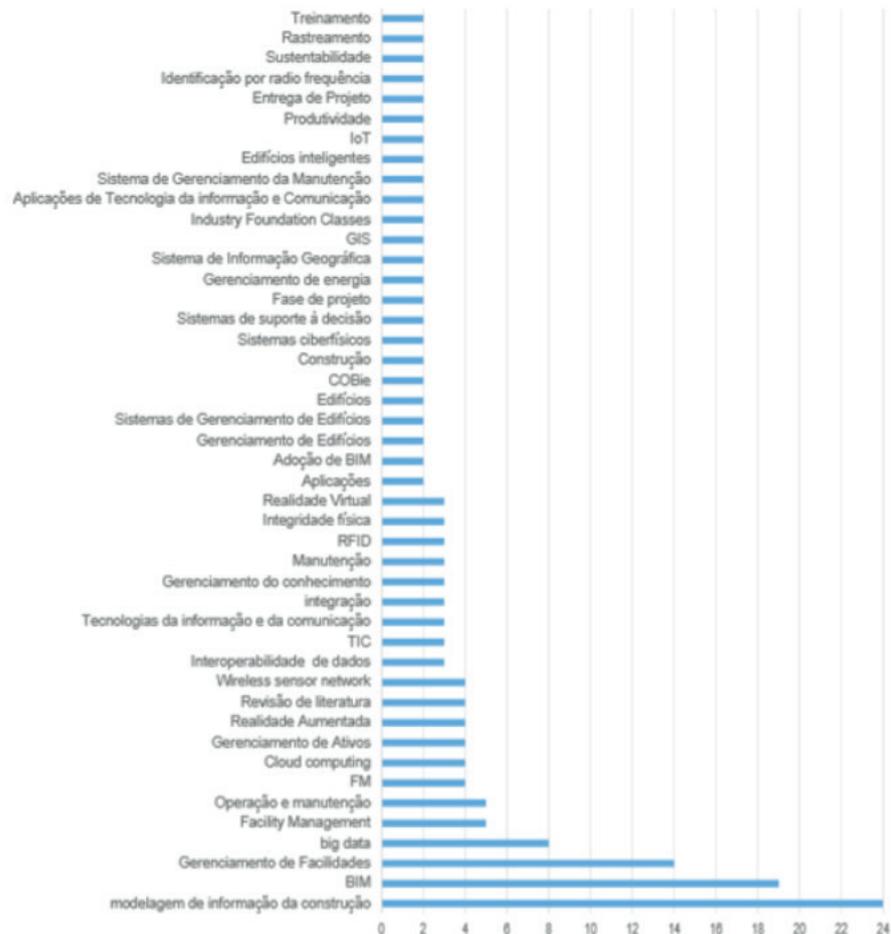


Figura 7: Compilação das palavras-chave

Fonte: Os autores.

## 4 | DISCUSSÃO

### Q.1: Quais os tipos de tecnologia são abordados nas pesquisas atuais aplicadas à FM?

A partir dos 74 *papers*, foi possível identificar as novas tecnologias aplicadas à FM, agrupando os artigos em 8 grupos, a saber:

**BIM** – representação digital compartilhada do ambiente construído para facilitar processos de projeto, construção e operação, formando base confiável para tomada de decisão (ISO, 2016; PÄRN, EDWARDS; SING, 2017). Como oportunidades para FM estão funções úteis para procedimentos de O&M, planos detalhados com requisitos de dados, transferência de informação e acesso de dados, otimização energética / de produtividade / segurança.

**GIS** – sistema de informação georreferenciado de suporte à decisão (WITTS JR., 2013; LIU *et al.*, 2017). Como oportunidades para FM estão a adequação para visualização de dados no local, modelo semântico integrado as entidades, e identificação de problemas como reutilização e extensibilidade

**CPS** – integrações nas quais dispositivos como sensores e atuadores são

conectados para detectar, monitorar e controlar o mundo físico. (REENA; MATHEW; JACOB, 2015). Como oportunidades para FM estão a portabilidade / reconhecimento / coleta de informações, algoritmo para otimização rápida em *Wireless Sensor Networks* (WSN).

**Big Data** – conceito que ganhou força nos anos 2000, com a definição do *Big Data mainstream* como 3V (volume, velocidade e variedade, permitindo descobertas e/ou análises (AHMED *et al.*, 2017; MAWES; AL-HAJJ, 2017). Como oportunidades para FM estão a exploração do conhecimento preditivo útil possível de ser gerado a partir desta tecnologia, algoritmos de solução e modelos de otimização.

**Realidade Virtual** – tecnologia multimídia imersiva, por meio da criação de um ambiente enriquecido, permitindo que o usuário interaja com objetos digitais em tempo real (CARREIRA *et al.*, 2018). Como oportunidades para FM estão as interações interpessoais no ambiente virtual, comunicação visual e simulação eficaz, e o potencial de aumento de produtividade.

**Realidade Aumentada** – combina o mundo real com dados gerados por computador, permitindo ao usuário o trabalho em um ambiente do mundo real enquanto recebe informações adicionais geradas por computador ou modeladas para dar suporte à tarefa (WANG *et al.*, 2013). Como oportunidades para FM estão a variedade de aplicações para AR, aprimoramento das práticas relacionadas à manutenção, e rastreamento de tempo e custo dos projetos de obra / reforma.

**IoT** - “infraestrutura de rede global dinâmica com recursos de autoconfiguração baseados em padrões e protocolos de comunicação interoperáveis. (...) Coisas físicas e virtuais com identidades e atributos, capazes de usar interfaces inteligentes e serem integradas como uma rede de informação” (LI; XU; ZHAO, 2015). Como oportunidades para FM estão a oferta de diversas plataformas de *hardware* e *software*. Atentando-se para os desafios a serem enfrentados pela comunidade de pesquisa e sociedade para sua implementação.

**RFID** – tecnologia usada para coletar dados sobre objetos usando microchip (HADDUD; DUGGER, 2015; ROPER; SEDEHI; ASHURI, 2015) Como oportunidades para FM estão a rastreabilidade de múltiplas *tag(s)* simultaneamente, reconhecimento de itens de instalações, armazenamento de informações históricas de manutenção e atualização de continuamente de informações em tempo real, permitindo inclusive a identificação da redução de despesas e fundos com ativos subutilizados.

**Q.2: Qual tecnologia possui maior número de estudos no recorte estabelecido nesta pesquisa?**

Dentro da seleção de artigos científicos analisados, o BIM destaca-se expressivamente como a tecnologia digital mais pesquisada no período temporal selecionado, envolvida em 49 das 74 referências. Apenas 22 publicações tratam exclusivamente de BIM. Com o decorrer do tempo, as pesquisas sobre BIM em FM

tornaram-se menos isoladas e passaram a dialogar mais com outras tecnologias, a fim de atender a necessidades específicas decorrentes da função organizacional de FM.

### **Q.3: Há oportunidade para desenvolvimento de soluções integradas com duas ou mais tecnologias?**

As novas tecnologias têm grandes potenciais para dialogarem entre si, devido a complementariedade de funções e / ou interoperabilidade de dados, como exemplificado pelos casos: BIM e GIS (LIU *et al.*, 2017); BIM e Realidade Virtual (Du *et al.*, 2018); BIM e Realidade Aumentada (WANG *et al.*, 2013). Desta forma, o intuito do mestrando é dar prosseguimento por estes caminhos.

## **5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O principal objetivo deste trabalho foi identificar as novas tecnologias em FM, tendo sido realizada uma revisão sistemática da literatura com recorte temporal de 5 anos. Com isso, foi possível identificar as tecnologias que atualmente estão sendo investigadas para auxiliar às atividades profissionais dos *facility managers*: (a) BIM - representação digital compartilhada do ambiente construído; (b) GIS – sistema de informação georreferenciado para suporte à decisão; (c) CPS – dispositivos conectados para monitorar e controlar o mundo físico; (d) *Big Data* – geração de imensa quantidade de dados por meio de IC; (e) Realidade Virtual – tecnologia que permite ao usuário interagir com objetos digitais em tempo real; (f) Realidade Aumentada – combina os dados gerados por computador ao mundo real; (g) IoT – Coisas físicas e virtuais capazes de usar interfaces inteligentes e integráveis à uma rede de comunicação; e (h) RFID – coletor de dados de objetivos usando microchip. Possuem potencial para desenvolvimento de soluções integradas a partir da complementariedade das funções e / ou interoperabilidade de dados. Para estudos futuros, recomenda-se o aprofundamento sobre a interação entre duas ou mais novas tecnologias aplicadas à FM.

## **REFERÊNCIAS**

AHMED, Vian; TEZEL, Algan; AZIZ, Zeeshan; SIBLEY, Magda. The future of Big Data in facilities management: opportunities and challenges. **Facilities**, v. 35, n. 13/14, 2017. Disponível em: <https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/F-06-2016-0064>. Acesso em: 15 maio 2018. doi: <https://doi.org/10.1108/F-06-2016-0064>

CARREIRA, Paulo; CASTELO, Tiago; GOMES, Cristina Caramelo; FERREIRA, Alfredo; RIBEIRO, Cláudia; COSTA, Antonio Aguiar. Virtual reality as integration environments for facilities management: Application and users perception. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 25, n. 1, 2018. Disponível em: <https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/ECAM-09-2016-0198>. Acesso em: 1 out. 2018. doi: <https://doi.org/10.1108/ECAM-09-2016-0198>.

DU, Jing; ZOU, Zhengbo; SHI, Yangming; ZHAO, Dong. Zero latency: Real-time synchronization of BIM data in virtual reality for collaborative decision-making. **Automation in Construction**, v. 85, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/automation-in-construction/vol/85/suppl/C>. Acesso em: 18 maio 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.009>.

EDIRISINGHE, Ruwini; LONDON, Kerry Anne; KALUTARA, Pushpitha; ARANDA-MENA, Guillermo. Building information modelling for facility management: are we there yet? **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 24, n. 6, 2017. Disponível em: <https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/ECAM-06-2016-0139>. Acesso em: 15 maio 2018. doi: <https://doi.org/10.1108/ECAM-06-2016-0139>.

HADDUD, Abubaker; DUGGER, John C.; LEE, Huei. Lee Manufacturing Control, Asset Tracking, and Asset Maintenance: Assessing the Impact of RFID Technology Adoption. **Journal of International Technology and Information Management**. V. 24, n. 2, 2015. ISSN 1941-6679. Disponível em: <http://scholarworks.lib.csusb.edu/jitim/vol24/iss2/3>. Acesso em: 17 maio 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/575402>.

ISO. INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 29481-1** Building Information Models – Information Delivery Manual – Part 1: Methodology and Format. 2016.

ISO. INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 41.011** Facility management – vocabulary. 2017.

KITCHENHAM, Barbara; CHARTES, Stuart. **Guidelines for performing Systematic literature Reviews in Software Engineering**. Version 2.3. 2007 School of Computer Science and Mathematics Keele University.

MAWES, Mahmoud; AL-HAJJ, Assem. Using big data to improve the performance management: a case study from the UAE FM industry. **Facilities**, v.35, n.13/14, 2017. Disponível em: <https://researchportal.hw.ac.uk/en/publications/using-big-data-to-improve-the-performance-management-a-case-study>. Acesso em: 15 maio 2018. doi: <https://doi.org/10.1108/F-01-2016-0006>

LI, Shancang; XU, Li Da; ZHAO, Shanshan. The internet of things: a survey. **Information Systems Frontiers**, v. 17, 2015. Disponível em: [http://home.ufam.edu.br/hiramaral/04\\_SIAPE\\_FINAL\\_2016/SIAPE\\_Biblioteca%20Geral/00000\\_MeDSE\\_Mendeley\\_2015/008\\_IoT/2014\\_LI\\_IoT%20survey.pdf](http://home.ufam.edu.br/hiramaral/04_SIAPE_FINAL_2016/SIAPE_Biblioteca%20Geral/00000_MeDSE_Mendeley_2015/008_IoT/2014_LI_IoT%20survey.pdf). Acesso em: 10 maio 2018. doi: <https://doi.org/10.1007/s10796-014-9492-7>.

LILLIS, Bob; SZWEJCZEWSKI, Marek; GOFFIN, Keith. The development of innovation capability in services: research propositions and management implications. **Operations Management Research**, vol. 8, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12063-015-0099-z>. Acesso em: 15 maio 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/14479338.2016.1233824>

LIU, Xin; WANG, Xiangyu; WRIGHT, Graeme; CHENG, Jack C.P.; LI, Xiao; LIU, Rui. A State-of-the-Art Review on the Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS). **International Journal of Geo-Information**, v. 6, n. 53, 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/313867222\\_A\\_State-of-the-Art\\_Review\\_on\\_the\\_Integration\\_of\\_Building\\_Information\\_Modeling\\_BIM\\_and\\_Geographic\\_Information\\_System\\_GIS](https://www.researchgate.net/publication/313867222_A_State-of-the-Art_Review_on_the_Integration_of_Building_Information_Modeling_BIM_and_Geographic_Information_System_GIS). Acesso em: 14 maio 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi6020053>.

LU, Qiuchen; CHEN, Long; LEE, Sanghoon; ZHAO, Xiaojing. Activity theory-bases analysis of BIM implementation in building O & M and first response. **Automation in Construction**, v. 85, 2018. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/322177798\\_Activity\\_theory-based\\_analysis\\_of\\_BIM\\_implementation\\_in\\_building\\_OM\\_and\\_first\\_response](https://www.researchgate.net/publication/322177798_Activity_theory-based_analysis_of_BIM_implementation_in_building_OM_and_first_response). Acesso em: 14 maio 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.017>.

PÄRN, Erika A.; EDWARDS, David J.; SING, Michael C. P. The building information modelling trajectory in facilities management: A review. **Automation in Construction**, v. 75, 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/311767883\\_The\\_building\\_information\\_modelling\\_trajectory\\_in\\_facilities\\_management\\_a\\_review](https://www.researchgate.net/publication/311767883_The_building_information_modelling_trajectory_in_facilities_management_a_review). Acesso em: 14 maio 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.017>.

org/10.1016/j.autcon.2016.12.003.

PETERSEN, Kai; FELDT, Robert; MUJTABA, Shahid; MATTSSON, Michael. Systematic mapping studies in software engineering. **12<sup>th</sup> International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE)**. 2008 Disponível em: <https://ewic.bcs.org/content/ConWebDoc/19543>. Acesso em: 20 abr 2018.

REENA, Kottarathil Eashy Mary; MATHEW Abraham Theckethil; JACOB Lillykutty. An Occupancy Based Cyber-Physical System Design for Intelligent Building Automation. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2015, ID 132182, ago. 2015. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2015/132182/>. Acesso em: 14 maio 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/132182>.

ROPER, Kathy O.; SEDEHI, Arya; ASHURI, Baabak. A cost-benefit case for RFID implementation in hospitals: adapting to industry reform. **Facilities**, v. 33, n. 5/6, 2015. Disponível em: <https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/F-05-2013-0041>. Acesso em: 26 nov. 2018. doi: <https://doi.org/10.1108/F-05-2013-0041>.

SCUPOLA, Ada. The relation between innovation sources and ICT roles in facility management organizations. **Journal of Facilities Management**, v. 12, n. 4, 2014. Disponível em: <https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/JFM-11-2013-0059>. Acesso em: 5 set. 2018. doi: <https://doi.org/10.1108/JFM-11-2013-0059>.

WANG, Xiangyu; LOVE, Peter E. D.; KIM, Mi Jeong; PARK, Chan-Sik; SING, Chun-Pong; HOU-Lei. A conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality. **Automation in Construction**, v. 34, 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/273134032\\_A\\_Conceptual\\_Framework\\_for\\_Integrating\\_Building\\_Information\\_Modelling\\_with\\_Augmented\\_Reality](https://www.researchgate.net/publication/273134032_A_Conceptual_Framework_for_Integrating_Building_Information_Modelling_with_Augmented_Reality). Acesso em: 14 maio 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.012>.

WITTS Jr., W. P. Roles of Geographic information systems in facility management. In: TEICHOLZ, E. **Technology for facility manager: the impact of cutting-edge technology on facility management**. IFMA, 2013. Cap. 4, p. 55-74.

YLI-HUUMO, Jesse; KO, Deokyoong; CHOI, Sujin; PARK, Sooyong; SMOLANDER, Kari. Where is current research on Blockchain Technology? – A systematic review. **PLOSone**. v. 11, n. 10, 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/308877750\\_Where\\_Is\\_Current\\_Research\\_on\\_Blockchain\\_Technology-A\\_Systematic\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/308877750_Where_Is_Current_Research_on_Blockchain_Technology-A_Systematic_Review). Acesso em: 10 mar. 2018. doi: <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0163477>.

## CASA POPULAR EFICIENTE: ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA O PERÍODO DE INVERNO

Data de aceite: 11/12/2019

Data de submissão: 01/11/2019

### Rayner Maurício e Silva Machado

Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC

Florianópolis - SC

<http://lattes.cnpq.br/7883450505038505>

### Marcos Alberto Oss Vaghetti

Universidade Federal de Santa Maria, UFSM

Santa Maria - RS

<http://lattes.cnpq.br/8730453050780826>

**RESUMO:** Esse trabalho tem como objetivo analisar quais são as estratégias necessárias para que as perdas térmicas não defiram um baixo desempenho térmico para essa edificação durante o período de inverno. As medições de campo foram realizadas através de registradores de temperatura e umidade relativa, programados para efetuarem medições a cada 36 minutos. Nos primeiros 45 dias, procurou-se anular as cargas térmicas oriunda da ventilação. No período restante essas cargas foram consideradas. A partir disso foi feito a média dessas variáveis para o conjunto de dias que correspondem a cada um desses períodos citados anteriormente. Utilizou-se uma carta de Givoni adaptada ao Brasil para estimar as estratégias bioclimáticas em percentuais. De maneira geral, a edificação apresentou a

necessidade por soluções de aquecimento solar passivo/alta inércia térmica para ambos os períodos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bioclimatologia, habitação sustentável, eficiência.

### POPULAR EFFICIENT HOUSE: BIOCLIMATIC STRATEGIES FOR THE WINTER SEASON

**ABSTRACT:** This work aims to analyze what are the strategies needed to that the heat loss not providing a low thermal performance for this building during the winter period. The field measurements were made using temperature recorders and relative humidity, programmed to effect measurements every 36 minutes. In the first 45 days, the heat loads coming from the ventilation were annulled. But, in the remainder period were considered. From this it was made the average of these variables to the set of days that correspond to each of these periods mentioned above. We used a chart of Givoni adapted to Brazil to estimate the bioclimatic strategies in percentage. As a whole, the building showed the need for solar heating solutions / high thermal inertia for both periods.

**KEYWORDS:** Bioclimatology, sustainable housing, efficiency.

## 1 | INTRODUÇÃO

O dispêndio energético de edificações que não passaram por métodos quantitativos de previsão de desempenho térmico em sua fase de projeto, pode implicar em um incremento considerável no consumo total de energia de uma nação. Isso evidencia não somente a necessidade por medidas singulares, para cada projeto, mas também por códigos e regulamentos que estabeleçam parâmetros que balizem as diretrizes construtivas. De acordo com Bagnati (2013) a forma da edificação tem influência sobre o conforto térmico e sobre o potencial de eficiência energética, uma vez que interfere nos fluxos de ar, assim como nos níveis de iluminação e de radiação solar incidentes.

Em relação a isso, nota-se que a NBR 15220 tem sido uma boa ferramenta para as estratégias de projeto que visam o condicionamento térmico através da configuração da envolvente. Ela separa o do território brasileiro em áreas que apresentam similaridades em suas características climáticas. Essas zonas apresentam estratégias bioclimáticas de projeto, as quais visam um melhor aproveitamento dos recursos ambientais em prol do conforto térmico e do desempenho térmico da edificação.

Partindo dessa premissa, ponderando para o fato que a habitação de interesse social fruto desse estudo possui perfil de eficiência, o projeto arquitetônico configurou em um dos itens mais importantes para que a eficiência energética e o conforto térmico do usuário fossem inseridos da melhor forma na proposta. Porém, Oliveira (2011) expõe que existem grandes perdas térmicas em construções que optam por materiais e tecnologias mais econômicas, como é o caso de habitações populares. Em relação a isso, nota-se a necessidade de estudos que apresentem resultados conclusivos quanto as estratégias necessárias para que o desempenho térmico da edificação tenha uma melhora considerável. Desse modo, esse trabalho tem como objetivo analisar quais são as estratégias necessárias para que o problema evidenciado por Oliveira (2011) não seja um item que defira um baixo desempenho térmico durante o período de inverno para essa edificação.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

A Casa Popular Eficiente foi construída no campus da Universidade Federal de Santa Maria com o intuito de servir como um balizador de projeto para a execução de uma Vila Ecológica em uma área de interesse social no município de Santa Maria. Ela é constituída por dois dormitórios, um banheiro, uma sala de estar e uma cozinha com área de serviço integrada totalizando 55,4m<sup>2</sup> de área útil.

Para que fosse feito um estudo direcionado às estratégias bioclimáticas do protótipo, utilizou-se registradores do tipo HOBO® para monitorar a temperatura e

a umidade relativa do ar. Foram programados um total de 10 aparelhos, os quais foram distribuídos, aos pares, no centro de cada cômodo interno (Figura 1). Sendo instalados a 1,20 metros do piso, conforme os procedimentos apresentados pela ISO 7726 e pela NBR 15575. Os registradores externos foram posicionados próximo ao beiral a fim de protegê-los da incidência direta do sol, evitando a influência da radiação solar nas medições.

O monitoramento da temperatura e da umidade relativa ocorreu entre os dias 21 de junho de 2014 e 21 de setembro de 2014, estando a edificação plenamente desocupada. Esses registradores foram programados para efetuarem medições a cada 36 minutos, de maneira sistemática. Durante os primeiros 45 dias, procurou-se anular as cargas térmicas oriunda da ventilação, através do fechamento hermético das aberturas. No período restante o sistema de ventilação foi aberto, proporcionando um aumento considerável na taxa de renovação horária do ar. Esses procedimentos foram realizados a fim de promover variações que auxiliem na análise dos componentes construtivos e do design projetual frente ao microclima local. Dessa forma permitindo relacionar as estratégias bioclimáticas para um período onde o ganho térmico obtido através da ventilação foi considerado, frente a outro onde essa variável foi inteiramente desconsiderada.

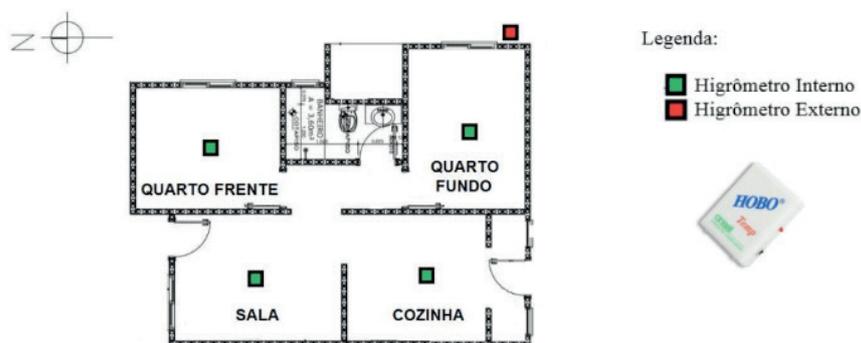


Figura 1 - Planta Baixa com a localização espacial dos higrômetros

Os dados obtidos foram processados a fim de encontrar as variáveis necessárias para ingressar na carta bioclimática desenvolvida por Givoni. Essa carta foi adaptada para o Brasil, tornando, dessa forma, umas das ferramentas mais importantes para o particionamento do território brasileiro em zonas bioclimáticas. Através do banco de dados, identificou-se a temperatura máxima, mínima e média de cada dia, assim também como a sua umidade relativa média. A partir disso foi feito a média dessas variáveis para o conjunto de dias que correspondem cada um desses períodos citados anteriormente, a fim de caracterizar as estratégias necessárias para o sistema de ventilação fechado e para o sistema de ventilação aberto. O mesmo foi feito para o ambiente externo. Não houve medição de pressão barométrica, pelo simples fato que as suas variações produzem diferenciações entre as cartas bioclimáticas, o que

proporcionaria erros ao comparar os resultados. Então as pressões barométricas foram normalizadas para 1001,1 hPa, referente à pressão barométrica média apresentada na carta bioclimática para a cidade de Santa Maria.

Os resultados foram incorporados no programa computacional Analysis Bio 2.0, desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina, o qual utiliza a carta de Givoni adaptada ao Brasil para estimar as estratégias bioclimáticas em percentuais. Segundo Bagnati (2013) o grande diferencial da carta bioclimática desenvolvida por Givoni, é que a mesma apresenta estratégias construtivas para adequar a arquitetura ao clima a partir das temperaturas internas da edificação.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o primeiro período de medição, quando as aberturas estavam hermeticamente fechadas, os resultados obtidos (Figura 2) foram bastante consistentes com o que se observava através de estudos analíticos preliminares. Como se pode observar, as estratégias bioclimáticas mais críticas (aquecimento solar passivo e aquecimento artificial) não foram observadas internamente. Esse fato é explicado em função da inércia térmica da edificação que proporcionou a estabilização da temperatura por meio do amortecimento térmico das temperaturas mínimas. Nota-se que as únicas partições da casa que estiveram em zona de conforto higrotérmico foram as posicionadas à norte, isso ocorre devido ao trajeto solar durante essa época do ano, fato que é reforçado ao se consultar a carta solar da cidade de Santa Maria.



Figura 2 – Estratégias bioclimáticas para o período com sistema de ventilação fechada

Verificou-se que o quarto da frente foi o único ambiente que esteve com porcentagem de conforto acima ao que foi encontrado externamente, enquanto a sala possui seu percentual de conforto relativamente menor ao ambiente externo. Isso ocorreu em função da sala estar ligada com a cozinha configurando em um ambiente conjugado. Esse fato, considerando que a cozinha está posicionada em uma localização que pouco privilegia seu conforto térmico durante o inverno, fez com que o conforto observado na sala fosse atenuado.

Durante o segundo período (Figura 3), quando foi considerado as trocas térmicas por ventilação, considerando os valores médios do período, não houveram momentos em que a moradia precisou apenas de aquecimento solar passivo, nem mesmo de aquecimento artificial. Verificou-se que o quarto da frente continuou apresentando um dos melhores desempenhos durante o inverno, porém nesse período ele divide com a sala os mesmos resultados. Após a abertura, o quarto do fundo e a cozinha apresentaram momentos que estiveram em conforto térmico.

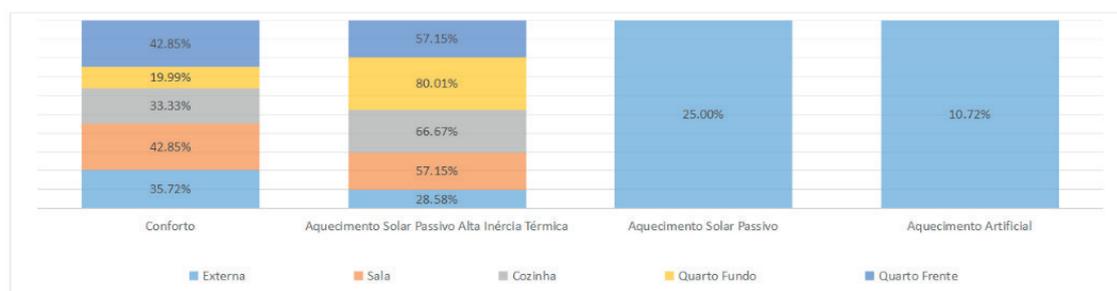


Figura 3 – Estratégias bioclimáticas para o período de ventilação aberta

Quanto ao quarto do fundo, seu percentual de conforto foi o menor de todos, visto a sua localização leste-sul. A cozinha não teve suas basculantes abertas durante esse período, porém a renovação de ar foi dada através da janela da sala, lembrando que esses dois ambientes configuram um ambiente conjugado, e também através da basculante situada na parede central. Isso conferiu a esse ambiente um maior percentual de conforto térmico comparando com o primeiro período. A sala e o quarto da frente tiveram percentuais de conforto térmico relativamente maiores que os observados externamente. Porém o quarto do fundo, como era de se imaginar, obteve resultados inferiores.

#### 4 | CONCLUSÕES

De maneira geral, a edificação apresentou a necessidade por soluções de aquecimento solar passivo/alta inércia térmica. Duas soluções exequíveis, tecnicamente, são possíveis, a primeira está relacionada com o reforço das paredes, através da colocação de revestimentos que confirmam uma melhor inércia térmica para o fechamento. Outra solução possível seria a colocação de aberturas que facilitassem o ganho térmico através da passagem do sol para dentro da edificação, principalmente no quarto dos fundos e na cozinha, os quais possuem baixa incidência solar.

Esse estudo reforça a ideia apresentada na carta bioclimática para a cidade de Santa Maria, de que existe a necessidade de levar em consideração o aquecimento solar passivo/alta inércia térmica, visando o conforto para o período de inverno.

Dentre as estratégias apresentada, considerando o estudo de caso feito, observa-se que a escolha dos componentes construtivos e suas configurações são de grande importância para um bom desempenho térmico da edificação.

O estudo mostrou, também, que é possível melhorar o desempenho térmico de edificações considerando a carta bioclimática de Givoni, sendo essa uma grande ferramenta para profissionais da área. Algumas questões, relativas ao banco de dados e às questões estatísticas de análise singular, para cada edificação, merecem atenção em suas aplicações, para que, desse modo, o processo se torne mais seguro e assertivo.

## REFERÊNCIAS

ABNT - **NBR 15220-2: 2005 – Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT - **NBR 15575-1: 2013 – Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT - **NBR 15575-5: 2013 – Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

Bagnati, Mariana Moura. **Zoneamento bioclimático e arquitetura brasileira: Qualidade do ambiente construído**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura. UFRGS, Brasil. 2013. 132p.

Givoni, Baruch. **Man, climate and architecture**. Londres, Applied Science Publishers. 1976. 499 p.

International Organization for Standardization. **ISO 7726. Ergonomics: instruments for measuring physical quantities**. ISO, Genève, Switzerland. 1998.

Oliveira, N. M. D. de. **Estudo do comportamento térmico de um edifício utilizando o programa RCCTE-STE**. Dissertação de mestrado (Engenharia Mecânica) – Universidade Nova de Lisboa, Portugal. 2011. 89p.

Vaghetti, M.A.O. et al. **Casa Popular Eficiente: um benefício ambiental aliado a um custo mínimo**. Santa Maria: UFSM, 2013. Projeto de Pesquisa (Protocolo GAP/CT nº 28582).

## AUTOMAÇÃO DE ÁRVORES SOLARES DE ALTA EFICIÊNCIA

*Data de aceite: 11/12/2019*

*Data de submissão: 13/10/2019*

### Hélio Henrique Rodrigues

Departamento de Engenharia, Faculdades  
Metropolitanas Unidas – FMU

Rua João Soliman, 22, São João, Ferraz de  
Vasconcelos, São Paulo, SP

E-mail: helviohenriquerodrigues@hotmail.com

### Rogério Luis Spagnolo da Silva

Departamento de Engenharia, Faculdades  
Metropolitanas Unidas – FMU

Avenida Brigadeiro Luiz Antônio, 917, Bela Vista,  
São Paulo, SP

E-mail: rogerio.spagnolo@fmu.br

**RESUMO:** Atualmente, a crise energética tornou-se um dos motivadores da pesquisa tecnológica na área de energias renováveis visando à melhoria contínua da captação de energia através do uso de ferramentas e técnicas mais eficientes. A tecnologia apresentada possui como base a junção das seguintes tecnologias: árvores solares, que em suas configurações naturais possuem maior eficiência na captação energética quando comparados com os modelos planos de painéis solares, e um sistema de controle de rastreamento solar (sistema de posicionamento e orientação para melhor disposição e captação

de incidência solar). A pesquisa acadêmica apresentada neste projeto tem como objetivo buscar conhecimento nas áreas de estudo da automação sensorial, estudo de células solares flexíveis, aplicação de disposição e convexidade natural das folhas, montagem e elaboração de dispositivos, dimensionamento, projeto teórico e aplicação prática.

**PALAVRAS-CHAVE:** Árvore Solar, Automação, Automação de alta eficiência, Energia renovável.

### SOLAR TREE HIGH EFFICIENCY AUTOMATION

**ABSTRACT:** Nowadays, the energy crisis has become one of the motivators of technological research in renewable energy aiming at the continuous improvement of energy uptake using more efficient tools and techniques. The technology presented is based on the combination of the following technologies: solar trees, which in their natural configurations have greater efficiency in energetic capture when compared to the flat models of solar panels, and a control system of solar tracking (positioning and orientation system for better disposition and capture of solar incidence). The academic research presented in this project aims to seek knowledge in the areas of study of sensory automation, study of flexible solar cells, application of disposition and natural convexity

of the leaves, assembly and elaboration of devices, dimensioning, theoretical design and practical application.

**KEYWORDS:** Solar tree, Automation, High Efficiency automation, Renewable energy.

## 1 | INTRODUÇÃO

Em meio às tecnologias atuais, embora sejam renováveis (NETO, M. R., CARVALHO, P. C., 2012), existem pontos negativos como, por exemplo, as áreas de ocupação para implantação dos painéis solares na qual devem possuir uma localização plana e favorável para a sua implantação e eficiência na captação de energia.

O desenvolvimento de novas tecnologias, para que se tornem viáveis, acaba gerando um custo elevado dos equipamentos. Em função de novas técnicas de fabricação, os custos dos equipamentos vêm decaindo. Entretanto, as áreas para implantação dessas tecnologias, ainda é um fator decisivo tanto para usinas de grande porte quanto para as usinas de pequeno porte, (residenciais) sendo necessárias grandes áreas de ocupação para possuir uma eficiência alta na captação desta energia.

Baseado nestas premissas, o objetivo do projeto é desenvolver uma tecnologia mais compacta, reduzindo as áreas de ocupação e tornar mais eficiente para a captação desta energia de fonte renovável e inesgotável (RODRIGUES, H.H., 2016). As finalidades posteriores deste conjunto serão grandes, realizando a contribuição não somente com o meio ambiente na qual poderá ocorrer à redução na geração de resíduos na fabricação, visto que as áreas de ocupação serão bem inferiores às técnicas tradicionais, mas também a união de conhecimentos de áreas distintas contribuindo com o meio acadêmico.

Para realização da conversão de energia solar em energia elétrica, foram utilizadas células fotovoltaicas (LOPEZ, 2012) na qual possuem como base a conversão de energia térmica, obtida através da luz, em energia elétrica por meio de uma aplicação de calor em um elemento que possui uma constante dielétrica característica associada com a variação da temperatura. (Richard, 1963). Neste projeto, a configuração e disposição natural do protótipo já apresentaram ganhos significativos para captação de energia solar e, portanto, foram implementados juntamente com sensores fotossensíveis na qual realizaram a automação do sistema de orientação guiada.

## 2 | CONCEPÇÃO DIMENSIONAL E FUNCIONAL DO PROTÓTIPO

O dimensionamento e a construção do protótipo da árvore solar autônoma é

denominado **G.I.N.O**<sup>®</sup> (Galho Interativo de Navegação Orientada). Este projeto é classificado, segundo a Aneel, como micro geração distribuída. (ANEEL, 2012)

Para a construção e viabilização das simulações, o **G.I.N.O**<sup>®</sup> foi desenvolvido em escala reduzida 1:10 como um protótipo constituído de um único galho e seu dimensionamento, foram considerados as aplicações finais em escala real 1:1. A coleta de dados foi realizada somente com um único modulo de galho sendo comparado com um painel solar flexível montado na forma tradicional: em plano horizontal com posicionamento para melhor incidência solar.

Para realizar o dimensionamento empírico do sistema, foi realizado o levantamento técnico dos dados e das grandezas necessárias para o cálculo técnico do conjunto. O sistema foi dimensionado para atuar em conjunto com o fornecimento elétrico atual de uma residência de médio porte da região Sudeste do país com uma faixa de consumo energético de aproximadamente  $P_c = 341 \text{ kW/mês}$  conforme

**Tabela 1:**

Cargas na Rede	QTD.	Consumo (kW/h)	Tempo uso (h)	Ciclos (Dias)	Subtotal Consumo (kWh/Mês)	Total kW/Mês (kW/dia)
Lâmpadas Fluorescentes	5	0,12	6	30	108	<b>341 (11,3)</b>
Geladeira	1	0,03	24	30	19,44	
Micro-ondas	1	1,4	0,15	30	6,3	
Máquina de lavar 10 kg	1	0,8	1	8	6,4	
Chuveiro Elétrico	1	7,5	0,15	30	33,75	
Televisor LCD	1	0,22	6	30	39,6	
Console Videogame	1	0,27	2	30	16,2	
CPU Gamer alta performance	1	0,58	5	12	34,8	
Carregadores de Celular	2	0,08	2	30	9,12	
Fontes Uso Geral	2	0,25	4	30	60	

Tabela 1: Carga total / Curva de Carga

Para obter os dados de radiação solar desta instalação, foi realizado o levantamento através do site da Sundata ([www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br)) que apresentou o resultado de medições de radiações solares para três localizações aproximadas conforme ilustrado na **Figura 2:**

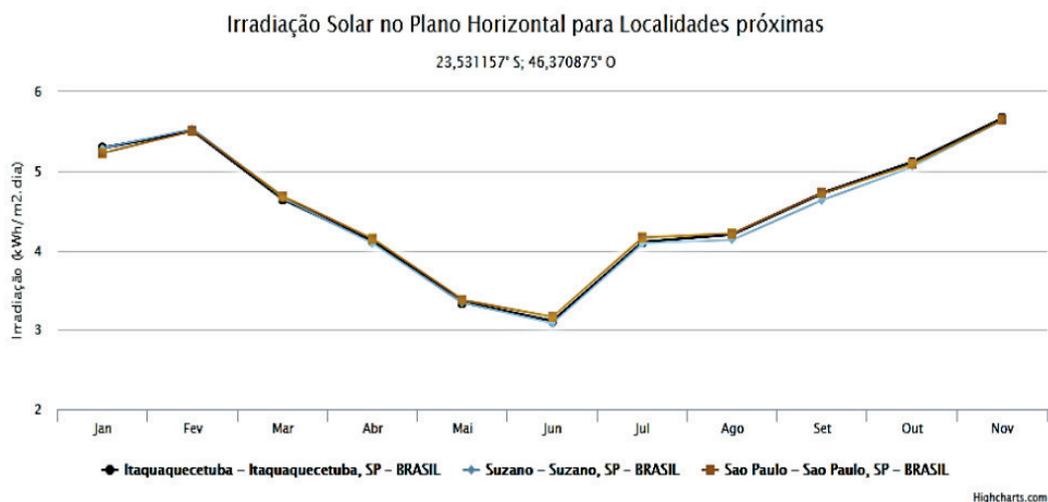


Figura 2 - Radiação diária média mensal para localidades próximas.

O sistema foi dimensionado para a menor faixa média de radiação solar anual para garantir o funcionamento pleno. Nesta condição, as possíveis perdas do conjunto do sistema fotovoltaico estão inseridas.

A **Tabela 2** ilustra as distancias e localidades escolhidas e a irradiação solar diária média:

Irradiação solar diária média [kWh/m <sup>2</sup> . dia]			
UF	São Paulo		
País	Brasil		
Estação	Itaquaquetuba	Suzano	São Paulo
Latitude [°]	23,5° S	23,601° S	23,5° S
Longitude [°]	46,349° O	46,349° O	46,449° O
Distância[km]	4,1	8,1	8,7
Jan.	5,29	5,29	5,23
Fev.	5,5	5,53	5,51
Mar	4,64	4,66	4,68
Abr.	4,12	4,09	4,15
Mai.	3,35	3,34	3,38
Jun.	3,11	3,08	3,16
Jul.	3,23	3,21	3,26
Ago.	4,11	4,09	4,16
Set.	4,2	4,13	4,21
Out.	4,72	4,64	4,72
Nov.	5,11	5,05	5,08
Dez.	5,66	5,64	5,64
Média	4,42	4,39	4,43

Tabela 2 : Dados proximidades locais Radiação Solar

Para o cálculo das horas de sol pleno (HSP) na localização do protótipo, foi considerada a média aritmética dos valores obtidos nas três localizações aproximadas ilustradas na **Tabela 2**, é representada na equação (1):

$$HSP = \frac{3,11+3,08+3,16}{3} = \frac{3,12kWh}{m^2} \cdot dia \quad (1)$$

A equação (2) apresenta o cálculo da potência mínima do sistema instalado, sem a consideração das perdas energéticas para atender o consumo diário:

$$P_{min} = \frac{P_c}{HPS} = \frac{11,3}{3,12} = 3,62 kW \quad (2)$$

A equação (3) representa o objetivo de redução em 60% do consumo atual:

$$P_{min} = 3,62 \times 60\% = 2,17 kW \quad (3)$$

Para o dimensionamento do sistema de captação solar foram consideradas as perdas do sistema segundo a ELETROBRÁS/PROCEL, 2006. O sistema apresentou redução nas perdas devido às configurações dimensionadas realizando o aumento na captação energética, ilustrada pela **Tabela 3**:

<b>Tabela de Perdas (N<sub>rendimento</sub>)</b>		
<b>Fatores de Perda</b>	<b>Variação</b>	<b>Média</b>
<b>Sombreamento</b>	0,0 - 5,0%	<b>0%</b>
<b>Sujidade</b>	1,0 - 3,0%	<b>1%</b>
<b>Reflexão</b>	3,0 - 5,0%	3,00%
<b>Variação do espectro AM 1.5</b>	1,0 - 2,0%	1,50%
<b>Mismatch</b>	0,5 - 2,5%	<b>0%</b>
<b>Condições Diferentes dos Padrões de Teste</b>	4,0 -9,0%	6,00%
<b>Perdas c.c</b>	0,5 - 1,5%	0,70%
<b>Perdas na conversão de Energia</b>	0,5 - 3,0%	1,50%
<b>Perdas do inversor</b>	3,0 - 7,5%	5,00%
<b>Perdas Fiação Elétrica</b>	0,2 - 1,5%	0,50%
	<b>Total de perdas</b>	<b>19,20%</b>

Tabela 3: Tabela de Perdas

Para o sistema foram adotadas as menores faixas de valores de perdas em função das seguintes condições de ganho:

- **Sombreamento e Reflexão:** Conjunto proposto conta com dispositivo tipo Solar “*tracker*”, na qual os coeficientes de sombreamento e reflexão por luz difusa são corrigidos através do sistema de controle do módulo durante operação, a faixa estipulada da perda está em 0%;
- **Sujidade:** Configuração convexa do conjunto tende a possuir o menor acúmulo de sujeira no dispositivo, a faixa estipulada da perda está em 1%;
- **Mismatch:** O fornecedor do painel já informa a potência mínima de geração.

A **Figura 3** ilustra a vista panorâmica tridimensional do protótipo **G.I.N.O<sup>®</sup>**:



Figura 3 - G.I.N.O<sup>®</sup> 1,5kW - Vista Panorâmica.

A **Figura 4** ilustra a vista superior tridimensional do protótipo **G.I.N.O<sup>®</sup>**:



Figura 4 - **G.I.N.O<sup>®</sup>** 1,5kW - Vista Superior.

### 3 | DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO G.I.N.O®

O protótipo **G.I.N.O®** foi desenvolvido em escala 1:10, adequado tanto para a fabricação quanto para a coleta, levantamento e análise das medições de máxima radiação capturada. O conjunto das folhas solares contam com sistemas individualizados de orientação solar (*solar-tracker*).

Cada conjunto é composto de três servos motores que realizam a translação do posicionamento das folhas solares em função da variação dos sensores de captação de luz solar (LDR). Estes sensores estão dispostos e posicionados nos extremos da célula solar para melhor captação da incidência solar.

O sistema de cada folha solar é constituído dos seguintes componentes: célula solar, haste de sustentação, servo motor, sensores LDR e conexões elétricas. A **Figura 5** ilustra a montagem deste sistema:



Figura 5 - Protótipo Folha Solar.

Para o controle do conjunto das folhas foi utilizado o micro controlador Atmega328P integrado a plataforma Arduino Uno R3 para realizar a interface entre o micro controlador e os componentes elétricos da folha solar. O esquema elétrico do conjunto é ilustrado na **Figura 7**:

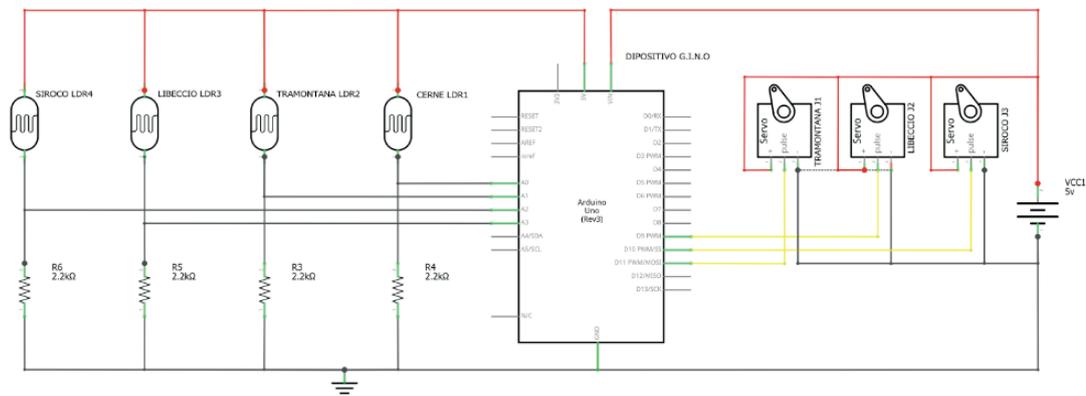


Figura 7 - Esquema Elétrico.

O micro controlador recebe as faixas de tensões analógicas emitidas pelos sensores LDR dispostos nas extremidades inferiores e superiores de cada módulo. Após a coleta dos valores é realizado o cálculo de posicionamento através do algoritmo de rastreamento na qual o controlador realiza a correção da posição dos módulos em função da maior irradiação solar lida pelos sensores, ampliando sua eficiência na captação de energia solar.

#### 4 | SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Para caracterização e verificação da eficiência, foram realizados testes funcionais com o sistema autônomo **G.I.N.O.**<sup>®</sup> e uma célula solar montada com características tradicionais: montagem plana, direcionamento para sentido de ciclo do sol conforme ilustra a **Figura 8**:



Figura 8 - Protótipo e célula convencional.

Para validação dos resultados obtidos pelo **G.I.N.O.**<sup>®</sup>, os testes foram realizados em dias distintos com situações climáticas distintas. A **Figura 6** ilustra a radiação máxima capturada:

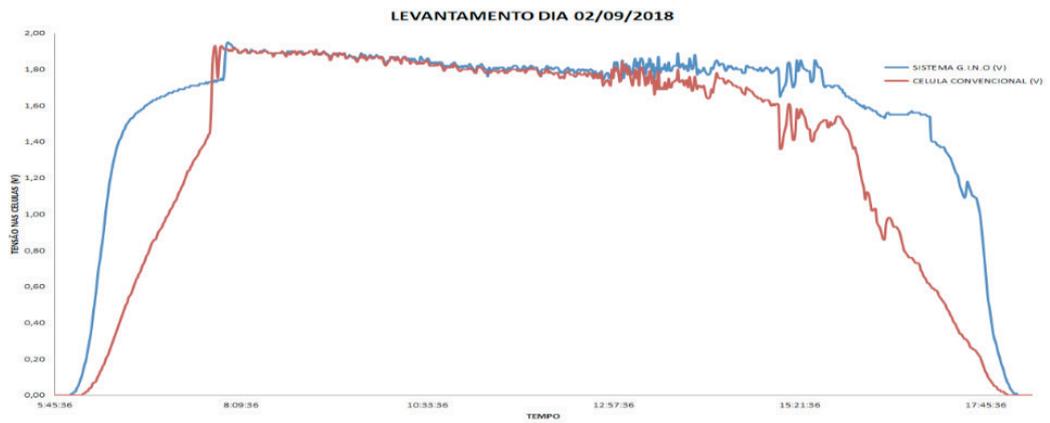


Figura 6 - Máxima radiação capturada (02/09/2018).

O sistema de captação **G.I.N.O**<sup>®</sup> (sistema em cor azul) possui uma área de cobertura maior quando comparado ao sistema de célula solar plana (sistema em cor vermelha), o conjunto **G.I.N.O**<sup>®</sup> possui maior eficiência durante os períodos de baixa luminosidade que se situa no gráfico entre 5:45 a 8:09 e 15:21 a 18:10.

A **Figura 7** ilustra a radiação máxima capturada em um dia com céu fechado com nuvens e com precipitação de chuva pela manhã:

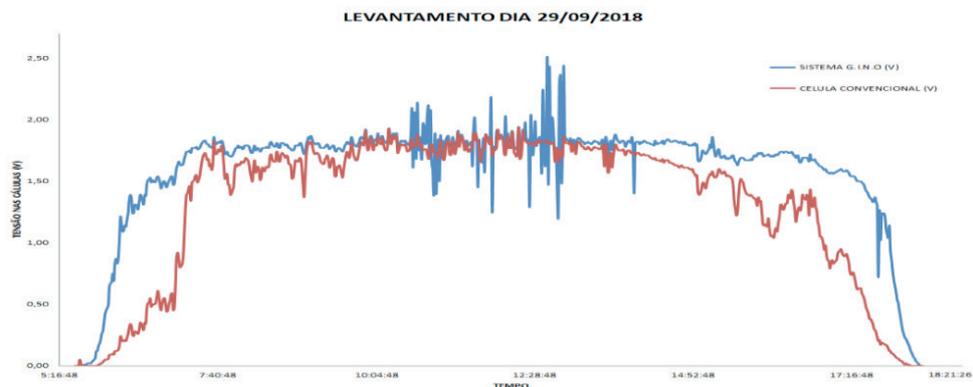


Figura 7 - Máxima radiação capturada (29/09/2018).

Durante o período de chuva observou-se a instabilidade de ambos os sistemas devido às variações de intensidade luminosa durante o dia. Todavia observa-se que o sistema de captação **G.I.N.O**<sup>®</sup> mante-se com área de cobertura maior em ambos os gráficos.

Os valores obtidos para comparação na eficiência energética foram equacionados através da diferença conforme ilustram as Figuras 8 e 9:

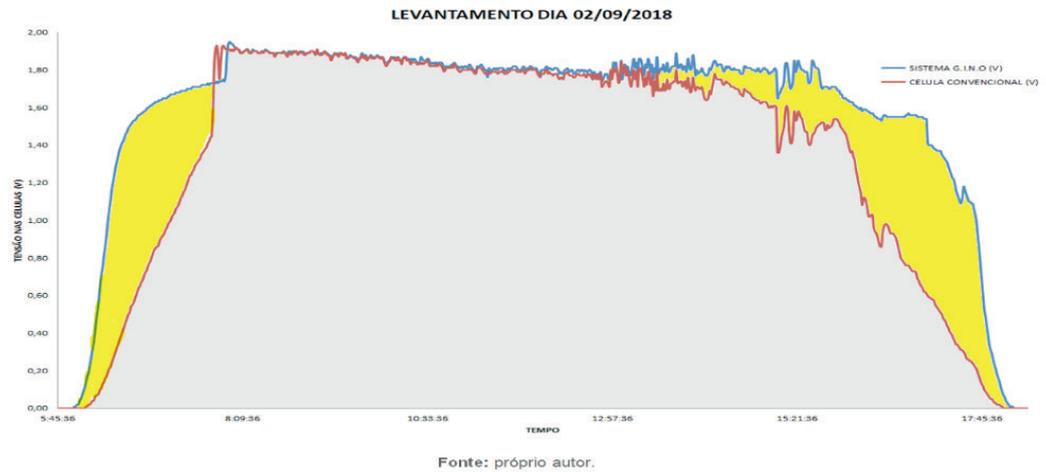


Figura 8 – Comparativo dos valores obtidos dia 02/09/2018.

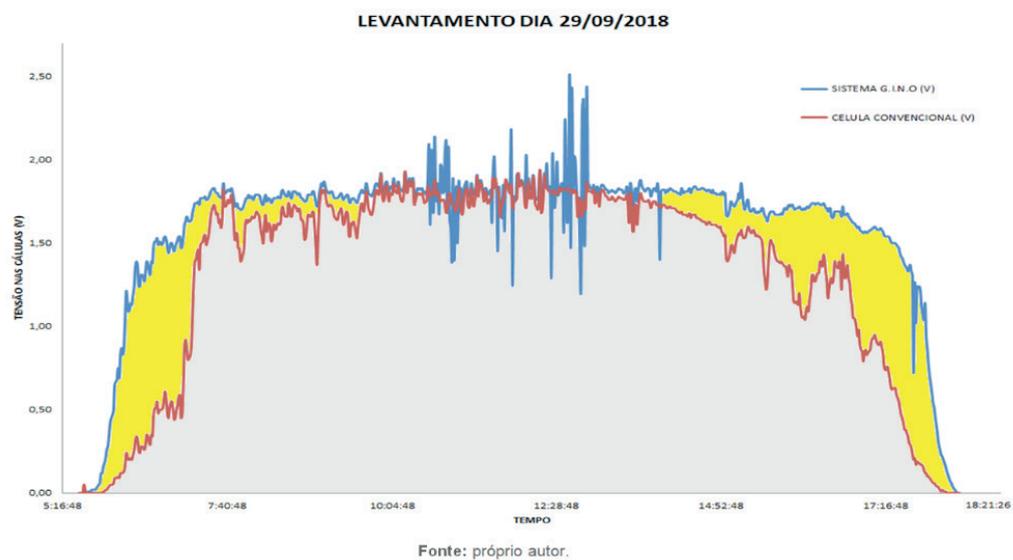


Figura 9 - Comparativo dos valores obtidos dia 29/09/2018.

Baseado nos valores obtidos durante as coletas, observou-se que o valor obtido do conjunto **G.I.N.O**<sup>®</sup> está em cerca de 21% acima dos valores gerados da matriz de células solares planas.

## 5 | CONCLUSÃO

Este projeto apresentou um novo conceito em obtenção de energia solar unindo as tecnologias atuais de árvores solares e automação de sistemas com tecnologia “*solar-tracking*”. O protótipo construído em escala reduzida apresentou ganhos significativos comparados com sistemas tradicionais de células solares, cerca de 21% de aumento na eficiência de captação energética.

Outro fator de destaque deste sistema proposto é a sua área de ocupação por m<sup>2</sup>. Para a uma planta com as mesmas capacidades de fornecimento elétrico

dimensionado a instalação tradicional ocuparia uma área de 15,23m<sup>2</sup> e um peso total de aproximadamente 207kg. O sistema proposto ocuparia uma área de 2m<sup>2</sup> e um peso total aproximado de 217kg. Sendo assim, o sistema proposto reduz em 86,9% a área de ocupação viabilizando sua implantação em qualquer localização.

Este sistema também pode ser instalado em operação paralela a rede elétrica ou na modalidade “*Off-Grid*” (locais sem acesso à energia elétrica). Devido à configuração e disposição da tecnologia das árvores solares, este sistema pode ser instalado em residências de pequeno a grande porte, indústrias, praças, parques, ruas e avenidas e até em grandes fazendas solares devido as suas características únicas na qual seu design prático e compacto possibilita e viabiliza sua implantação.

Os sistemas com células solares flexíveis possuem um alto custo de implantação em baixa escala de produção comparado a sistemas tradicionais de placas planas sendo efetivamente duas ou três vezes mais alto. No entanto, realizando a aplicação em escala industrial, as projeções tendem a redução de custo em média de 25%.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, ANEEL, **Resolução normativa nº 482**. (17 de Abril de 2012).

CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: PRC-PRODEEM. (1999).

ELETROBRÁS/PROCEL. **Conservação de Energia: Eficiência Energética em Instalações e Equipamentos**, Itajubá, Minas Gerais: Ed. EFEI. (2006).

FERREIRA, R. R., FILHO, P. C. (2009). **Energia Solar FV – Geração de energia limpa** (2009).

LOPEZ, R. A. **Energia Solar**. Artliber. (2012).

NETO, M. R., CARVALHO, P. C. **Geração de Energia Elétrica - Fundamentos**. Ed. Erica (2012).

RICHARD, H. S. (1963). **Patente Nº US 3.073.974**. Estados Unidos

RODRIGUES, H. H. **Automação de Amplificação do Potencial Energético de Árvores Solares**. Conic Semesp - 16º Congresso Nacional de Iniciação Científica , (p. 3). São Paulo. (2016). Disponível em: <<http://conic-semesp.org.br/anais/files/2016/trabalho-1000021899.pdf>>

## ESTUDO DE CASO DE PAINÉIS ALVEOLARES SUJEITOS AO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO DE VIBRAÇÕES EXCESSIVAS

Data de aceite: 11/12/2019

### Iago Vanderlei Dias Piva

Aluno, Fundação Hermínio Ometto, iagopiva111@gmail.com;

### Gustavo de Miranda Saleme Gidrão

Professor Msc. Fundação Hermínio Ometto, Gustavo.gidrao@gmail.com

### Danilo Pereira Santos

Mestrando, Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos, danilopereira.eng@usp.br

**RESUMO:** O presente artigo reporta sobre a discussão importância para verificação do Estado limite de vibrações excessivas (ELS-VE) de pavimentos pré moldados de painéis alveolares. Para o estudo foi utilizado um painel alveolar em concreto armado de 15 cm de altura modelado em elementos finitos, submetido à uma ação dinâmica vibracional, cujas frequências naturais fundamentais foram obtidas para vãos de 5, 7 e 9 metros. Foi efetuada então, uma verificação de frequência crítica para ELS-VE conforme a ABNT NBR 6118:2014. Verificou-se que somente a laje com 5 metros foi satisfatória em relação a situações de utilização como escritórios ou salas de concerto. Evidentemente o sistema construtivo de painéis alveolares, revolucionou a construção civil, porém, ainda é

escasso estudos da sua verificação em relação ao ELS-VE cuja metodologia é apresentada no presente artigo se faz importante para garantia da qualidade e eficiência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vibrações Excessivas, Painéis Alveolares, Frequência Natural.

### STUDY OF CASE OF ALVEOLAR PANELS SUBJECT TO THE STATE LIMIT OF EXCESSIVE VIBRATION SERVICE

#### 1 | INTRODUÇÃO

Devido à otimização da inércia, utilização de materiais com rígido controle de qualidade e aplicação de protensão, os painéis alveolares, se mostram, uma excelente alternativa para vencer grandes vãos. Entretanto a combinação de materiais com altas resistências, resultam em baixo amortecimento interno (GIDRÃO; KRAHL; CARRAZEDO, 2018), grandes vãos, peças mais leves e mais esbeltas podem ter efeitos colaterais como vibrações excessivas. Tal patologia pode se desenvolver tanto com excitações de baixa energia, por exemplo o caminhar de pessoas, movimentos rítmicos de academias, e ainda vibrações forçadas induzidas pelo movimento de grandes rotores.

Em todos estes casos pode-se observar uma queda da eficiência da estrutura e desconforto para os usuários, podendo até em alguns casos ser observado um desenvolvimento de doenças físicas e psicológicas.

## **2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Vibrações em lajes alveolares**

Um estudo realizado por PAVIC e REYNOLDS (2002), afirma que a caracterização de seres humanos como receptores de vibrações de piso é provavelmente o aspecto mais difícil do problema de manutenção da vibração do piso. Assim, é necessária extrema cautela ao interpretar a multiplicidade de procedimentos e parâmetros existentes na literatura relacionados à percepção humana de vibrações.

JOHANSSON (2009) desenvolve importante trabalho para avaliação subjetiva de conforto em lajes alveolares sujeitas a excitação do caminhar. Neste estudo, foi construído em laboratório um pavimento simplesmente apoiado com vão de 8 m, dentro dos limites normativos. Testes subjetivos foram realizados em usuários antes e depois do lançamento da capa de concreto. Os resultados apontaram que grande maioria das pessoas classificou como inaceitável as vibrações induzidas por outra pessoa caminhando. Após a concretagem da capa, os resultados dos testes subjetivos indicaram que a capa de concreto melhorou desempenho de vibração, mas as vibrações ainda eram classificadas como claramente perceptíveis ou fortemente perceptíveis. Portanto fica claro pelo trabalho de JOHANSSON (2009) que a sensibilidade de vibração é algo subjetivo e pessoal.

A verificação da vibração deve ser feita em uma etapa inicial do projeto (PAVIC; REYNOLDS, 2002). Os trabalhos de MARCOS e CARRAZEDO (2014) e MARCOS (2015) são pioneiros no Brasil na análise de casos de vibração em lajes alveolares demonstrando detalhadamente a metodologia para se efetuar a análise modal teórica e experimental de um pavimento de edifício comercial em estrutura de concreto pré-moldado.

### **2.2 Formulação do problema dinâmico e análise modal**

A ABNT NBR 6118:2014 propõe a utilização de um modelo de análise dinâmica linear. Logo, para se determinar a eficiência de um determinado elemento em relação ao estado limite de serviço, é de interesse se efetuar análise modal teórica prévia para se caracterizar as frequências naturais e modos de vibração estabelecendo critérios para a maior eficiência destes elementos.

Inicialmente, pode-se escrever equilíbrio dinâmico tensorial de uma estrutura com número arbitrário de graus de liberdade, conforme a 3ª Lei de Newton.

Para efeito de análise modal, isto é, determinação das frequências naturais e modos de vibração do sistema mecânico, supõe-se um impulso aplicado à estrutura em intervalo de tempo muito curto ( $p(t) = 0$ ), sendo possível reescrever a 3ª Lei de Newton, conforme a Eq.(1):

$$[M]\ddot{u} + [C]\dot{u} + [K]u = 0 \quad (1)$$

Como hipótese simplificadora, pode-se aceitar que o amortecimento é muito pequeno (e.g.  $\xi = 2\%$ , segundo BACHMANN et al. (1995)), e assim, para se obter as frequências naturais a estrutura pode descrever comportamento livre e não amortecido, logo tem-se que  $[C] = 0$ , conforme a Eq. (2):

$$[M]\ddot{u} + [K]u = 0 \quad (2)$$

Pela simples substituição, verifica-se facilmente que  $u = \phi_{ij} \sin(\omega_{ij}t)$  é solução da Eq. (2), e assim, este sistema de equações é válido para qualquer instante de tempo, implicando na existência da Eq.(3):

$$([K] - \omega^2[M])\phi = 0 \quad (3)$$

Portanto, conclui-se que além da solução trivial, este sistema apresentará solução não nula e indeterminada, se e somente se, o respectivo determinante for nulo, conforme a Equação(4):

$$\det[K] - \omega^2[M] = 0 \quad (4)$$

Desta forma, chega-se a um problema generalizado de autovetores ( $\phi_{ij}$ ) e autovalores ( $\omega_{ij}$ ), onde para um sistema oscilatório de N graus de liberdade, os autovalores encontrados serão as frequências naturais angulares e os autovetores serão os modos de vibração correspondentes a estas frequências naturais. Portanto, definidas as matrizes de rigidez e massa do problema, é possível se efetuar a análise modal via simulação numérica.

### 2.3 Limite da frequência natural fundamental

Uma vez encontradas as frequências naturais da estrutura, a frequência fundamental (1º modo) deverá ser comparada com os valores de frequências críticas de acordo com a utilização do pavieimento, conforme prescrições apresentadas pela ABNT NBR 6118:2014 (i.e., Tabela 1):

Finalidade da edificação	Freq. crítica
Ginásio/academias	8,0
Salas de dança ou concerto (s/ cadeiras fixas)	7,0
Passarelas	4,5
Escritórios	4,0
Salas de concerto (c/ cadeiras fixas)	3,5

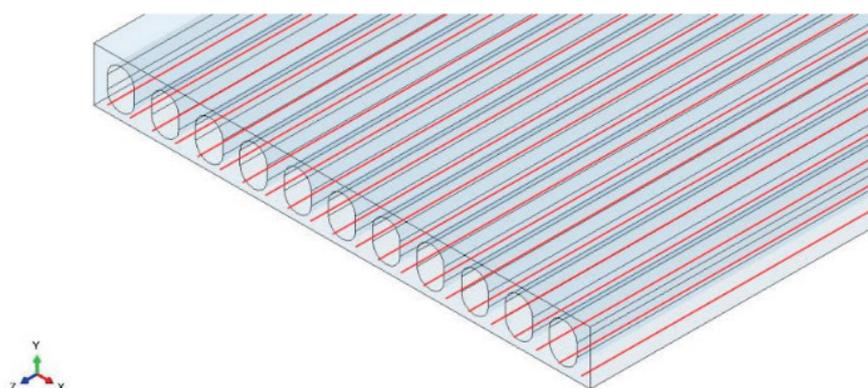
Tabela 1 - Frequências críticas (ABNT NBR 6118:2014)

Assim e conforme a ABNT NBR 6118:2014, quando o primeiro modo vibracional do pavimento analisado estiver pelo menos 20 % acima da frequência crítica, o mesmo apresenta bom desempenho ao Estado limite de serviço de vibrações excessivas, conforme a Eq. 5:

$$f_{n1} > 1,2f_{crit} \quad (5)$$

### 3 | ESTUDO DE CASO

No presente artigo será efetuado um estudo de caso de análise modal teórica para um painel alveolar de 15 cm de altura, com vãos de 5, 7 e 9 metros, largura de 111 cm, alvéolos de 12 cm, constituída de concreto armado C40, e armaduras de CA-50. Esse painel apresenta algumas características encontradas em painéis comercializados, porém adaptado para o estudo, devido às diferenças geométricas entre fabricantes. As características geométricas deste elemento são conforme a Figura 1.



(a)



(b)

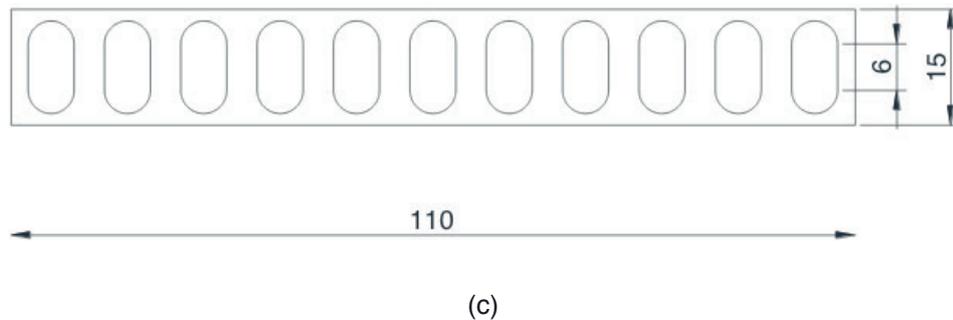


Figura 1 – Estudo de caso: características (a) malha de elementos finitos, (b) seção transversal para o painel alveolar e (c) disposição das armaduras.

Para esta simulação numérica foi utilizada uma fina malha de aproximadamente 1 cm, de elementos finitos sólidos C3D8, implementados no software comercial Abaqus CAE Simulia. As barras de armaduras foram consideradas como treliças 3D (i.e., modelo T3D2) perfeitamente embutidas dentro do sólido concreto. As condições de contorno utilizadas na simulação foi a de uma viga simplesmente apoiada nas extremidades dos painéis. Os módulos de elasticidade e densidade utilizados para cada material constituinte do modelo são conforme a Tabela 2. Cabe salientar que o módulo de elasticidade dinâmico do concreto C40 foi estimado conforme prescrições de GIDRÃO (2015). Foi utilizada a condição bi apoiada. Não foi considerada capa de concreto.

Material	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	E <sub>d</sub> (GPa)	Coefficiente de Poisson
Aço	7850	210	0,35
Concreto (C40)	2400	44	0,2

Tabela 2 – Materiais da laje alveolar

## 4 | RESULTADOS

A Figura 2.a apresenta as frequências naturais fundamentais de flexão em função do vão painéis estudados. Nota-se que o aumento de 5 m para 9 m de vão gerou um decréscimo de 70% na frequência natural do elemento. O painel com 5 metros de vão poderia ser utilizada na situação de passarelas, escritórios e salas de concerto, conforme a verificação de ELS-VE da ABNT NBR 6118:2014 (Eq. 5). Por outro lado, peças com grandes vãos de 7 m e 9 m não passariam em nenhuma situação. Outro fator interessante é que nenhum painel atendeu a situação de utilização de ginástica e salas de dança. Já a Figura 2.b e c apresentam respectivamente o modo de vibração flexional fundamental característico para o painel alveolar de 9 metros de vão (1,98 Hz) e o segundo modo de vibração para a mesma peça (7,83 Hz). Cabe salientar que a verificação da Eq. 5 é somente para o modo fundamental, uma vez

que para a excitação deste modo se requer uma menor energia.

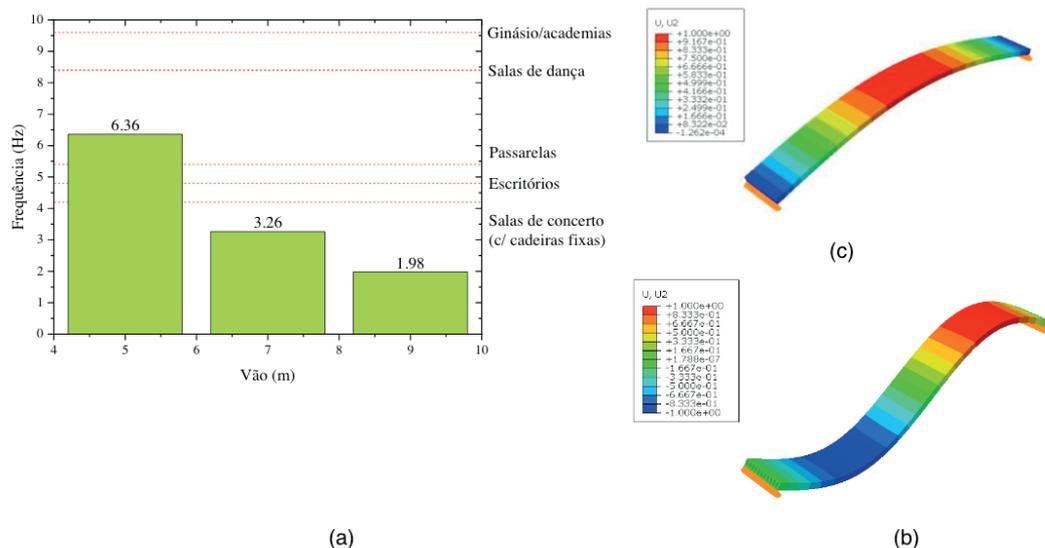


Figura 2 – (a) Frequências naturais, (b) 1º modo de vibração flexional – fundamental, (c) 2º modo flexional

## 5 | CONCLUSÕES

O presente artigo apresentou uma breve revisão bibliográfica e um estudo de caso para a verificação de estado limite de vibrações excessivas em painéis alveolares de concreto armado. Neste contexto, os principais pontos podem ser destacados:

- Devido a fatores como o avanço e precisão dos modelos de estado limite último, aumento da resistência dos concretos, otimização de seções transversais e diminuição do amortecimento interno, Estados limites de serviço como é o caso de vibrações excessivas podem ser críticos. Além disso e segundo a literatura, uma verificação prévia na fase de concepção deve ser efetuada;
- Esta verificação prévia de um painel alveolar pode ser efetuada conforme a metodologia apresentada no presente artigo, onde se efetua a análise modal teórica por meio da obtenção de autovetores e autovalores de um sistema dinâmico;
- O aumento de 1,8 vezes para o vão gerou a diminuição de 70 % da frequência natural do painel, demonstrando a grande dependência entre o vão e a frequência natural, conforme esperado;
- Este resultado demonstra que o ELS-VE é uma condição muito crítica, devendo ser analisada de forma criteriosa, principalmente em situações de grandes vãos;
- Como objeto de futuras investigações, pode-se verificar a influência da protensão na verificação do ELS-VE;

- A verificação do ELS-VE é importante na garantia da qualidade do sistema construtivo de lajes alveolares;
- Cabe salientar que a verificação de frequências da ABNT NBR 6118:2014 apresenta certa limitação no sentido de não ser capaz de mensurar a tolerância que cada usuário têm sobre as vibrações, mas é muito útil na falta de modelos mais precisos.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. In: 6118 2014, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro

BACHMANN, Hugo et al. *Vibration Problems in Structures - Practical Guidelines*. [s. l.], 1995.

DASSAULT SYSTEMES SIMULIA. Abaqus Documentation, [s. d.]. Disponível em: <<http://dsk.ippt.pan.pl/docs/abaqus/v6.13/index.html>>. Acesso em: 1 de jun de 2019.

EWINS, D. J. **Modal Testing : Theory and Praticce**. New York: Britisg Library, 1994.

GIDRÃO. **PROPRIEDADES DINÂMICAS DO CONCRETO E RELAÇÕES COM SUA MICROESTRUTURA**. 2015. Universidade de São Paulo, [s. l.], 2015.

GIDRÃO, Gustavo; KRAHL, Pablo; CARRAZEDO, Ricardo. Characterization of concrete internal damping. In: 30 ENCONTRO LUSO-BRASILEIRO DE DEGRADAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO SÃO CARLOS, SÃO PAULO, BRASIL 22 2018, São Carlos. **Anais...** São Carlos Disponível em: <[https://degrada2018.faiufscar.com/anais#/>/](https://degrada2018.faiufscar.com/anais#/)>

JOHANSSON, Pia. *Vibration of Hollow Core Concrete Elements Induced by Walking* Vibration of Hollow Core Concrete Elements Induced by Walking. [s. l.], 2009.

MARCOS, L. K.; CARRAZEDO, R. Parametric study on the vibration sensitivity of hollow-core slabs floors. **Proceedings of the International Conference on Structural Dynamic , EURODYN**, [s. l.], v. 2014–Janua, n. July, p. 1095–1102, 2014. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84994417668&partnerID=40&md5=abeaccd1646e17f1d9bbd140fae7b10d>>

MARCOS, LARA KAWAI. **Sensibilidade a vibrações de pavimentos com lajes alveolares**. 2015. Universidade de São Paulo, [s. l.], 2015.

PAULTRE, Patrick. **Dynamics of Structures**. London: ISTE ltd/Wiley, 2011.

PAVIC, A.; REYNOLDS, P. Vibration serviceability of long-span concrete building floors. Part 1: Review of background information. **Shock and Vibration Digest**, [s. l.], v. 34, n. January, p. 191–211, 2002.

WARBURTON, G. B. **The Dynamical Behaviour of Structures**. 2. ed. New York: PERGAMON PRESS OXFORD, 1976.

## MINIGERADOR EÓLICO: INTRODUÇÃO AO USO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

*Data de aceite: 11/12/2019*

**Roberta Costa Ribeiro da Silva**

Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC  
Canoinhas, SC

**Daiane Caroline Wagner**

Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC  
Canoinhas, SC

**RESUMO:** O trabalho é uma introdução ao uso de energias renováveis na construção civil, utilizando a energia eólica como exemplo. O objetivo principal deste projeto foi a de engajar a turma do primeiro ano do curso técnico em edificações EMI na construção de um protótipo de minigerador eólico e confecção de uma maquete simulando a rede elétrica de uma cidade, a qual tem sua iluminação abastecida pelo mesmo, dando oportunidade a estes alunos de terem contato com os conhecimentos teóricos sobre sustentabilidade transmitidos em sala de aula e proporcionar aos mesmos reflexões a respeito das escolhas de projeto. Conhecer a existência e o funcionamento deste tipo de tecnologia, é uma tarefa muito importante a ser compreendida por alunos do curso de edificações. A preservação dos recursos naturais e o uso de fontes alternativas de energia se faz necessário na criação e execução de projetos que estejam engajados

com as questões da sustentabilidade e preocupados com o esgotamento de recursos naturais, pois atualmente a matriz energética mundial é composta em praticamente quase sua totalidade por fontes de energia fósseis.

**PALAVRA-CHAVE:** energia eólica; sustentabilidade; construção civil

### WIND GENERATOR: INTRODUCTION TO THE USE OF RENEWABLE ENERGY IN CIVIL CONSTRUCTION

**ABSTRACT:** The paper is an introduction to the use of renewable energy in construction, using wind energy as an example. The main objective of this project was to engage the first year of the EMI building technical course in the construction of a wind generator prototype and a mock-up simulating the electricity grid of a city, which has its lighting supplied by it, giving these students the opportunity to have contact with the theoretical knowledge about sustainability transmitted in the classroom and to provide the same reflections about the project choices. Knowing the existence and operation of this type of technology is a very important task to be understood by students of the building course. The preservation of natural resources and the use of alternative sources of energy is necessary in the creation and execution of projects that are engaged with sustainability

issues and concerned with the depletion of natural resources, since today the world energy matrix is composed of almost their entirety by fossil energy sources.

**PALAVRA-CHAVE:** wind energy; sustainability; construction

## 1 | INTRODUÇÃO

Existem inúmeras fontes de energia disponíveis em nosso planeta, as quais estão divididas em energias renováveis e energias não renováveis.

Conforme Portal Energia (2015), são fontes de energia renovável aquelas em que a sua utilização e uso pode-se manter e ser aproveitado ao longo do tempo sem possibilidade de esgotamento, como por exemplo, a energia eólica e solar. As fontes de energias não renováveis têm recursos teoricamente limitados, onde esse limite depende dos recursos existentes no nosso planeta, como por exemplo os combustíveis fósseis.

Os combustíveis fósseis ainda dominam o consumo de energia, com uma participação de mercado de 87% da matriz energética mundial, onde as principais fontes são: óleo, gás natural, carvão, energia nuclear e usinas hidrelétricas de grande porte (BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY, 2012). Atualmente a principal fonte de energia é o petróleo, porém, além de este não ser renovável, é um dos principais responsáveis pelo efeito estufa e motivo de guerras e conflitos entre os países, como é o caso dos Estados Unidos, o qual depende muito desta fonte energética (PORTAL ENERGIA, 2015).

Segundo Aneel (2005), a energia eólica é utilizada há milhares de anos com as mesmas finalidades da energia hidráulica, como: bombeamento de água, moagem de grãos e outras aplicações que envolvem energia mecânica e somente no final do século XIX é que surgiram as primeiras tentativas para geração de eletricidade, sendo que apenas um século depois, é que houve interesse e investimentos suficientes para viabilizar o desenvolvimento e aplicação de equipamentos em escala comercial devido à crise internacional do petróleo, na década de 1970.

Para Ruther (2012), as taxas de crescimento da demanda energética per capita e global são crescentes em todo o mundo. Os combustíveis fósseis são esgotáveis e a humanidade caminha para a utilização de fontes renováveis de energia e para o uso eficiente da energia. Segundo o mesmo autor, a geração de potência elétrica pela força dos ventos a partir de modernas turbinas eólicas é uma indústria estabelecida e vem recebendo grande destaque por sua viabilidade econômica em sítios com potencial eólico considerável e conhecido. Em sítios com bom potencial eólico a média anual de produção pode ficar entre 25% e 33% da capacidade nominal, podendo chegar ao redor de 40% em locais excepcionais.

A escolha para o tema deste projeto vem da necessidade introduzir temas que

abordem a importância do uso de energias renováveis na construção civil, como é o caso da energia eólica, desde o primeiro ano do curso Técnico em Edificações Integrado ao Ensino Médio. O aprofundamento deste assunto será realizado na disciplina de Instalações Especiais, no último semestre do curso, porém, entrar em contato antecipadamente com a existência e o funcionamento deste tipo de tecnologia, é uma atividade de grande relevância a ser compreendida por estes alunos, os quais necessitarão criar, desenvolver e apresentar projetos de edificações nas disciplinas de Projeto Arquitetônico e Projeto Integrador, no decorrer do curso. A preservação dos recursos naturais e o uso de fontes alternativas se faz necessário na criação e execução construções que estejam verdadeiramente comprometidas com a sustentabilidade. Justificamos o estudo da sustentabilidade por fatores como: a forma com que fazemos as nossas atividades, como utilizamos os recursos, como produzimos, como fazemos nossas preferências e como as compartilhamos (SILVIUS G. et al., 2012).

A relevância deste projeto está em proporcionar aos alunos a vivência e a compreensão de uma experiência prática a respeito dos conteúdos teóricos transmitidos. O trabalho a ser desenvolvido, possui relação direta com os conteúdos abordados no curso de Edificações, nas disciplinas de Instalações Especiais (sustentabilidade), Técnicas Construtivas (manuseio de ferramentas e fixação de peças), Projeto Arquitetônico e Projeto Integrador (concepção e desenvolvimento de projeto) Projeto de Instalações Elétricas (conceitos básicos sobre eletricidade), Desenho Técnico e Arquitetônico (desenho e confecção da maquete) e contribuirá de forma enriquecedora para a formação acadêmica, profissional e humana, dos estudantes envolvidos, além de estimular a reflexão sobre a necessidade de preservação dos recursos naturais com o uso de tecnologias alternativas.

O objetivo geral da proposta é apresentar a geração de energia eólica como fonte de energia renovável e limpa, a qual deve ser incorporada na arquitetura. Os objetivos específicos são construir um minigerador eólico, executar maquete de uma cidade para ser alimentada pelo gerador, confeccionar a rede elétrica que deverá iluminar as lâmpadas da cidade e das casas, compreender o funcionamento do sistema de alimentação de energia elétrica desde o gerador até as residências, desenvolver e estimular nos alunos a busca pelo comprometimento no uso de energias renováveis nos projetos de edificações.

## 2 | METODOLOGIA

A realização do projeto do Minigerador Eólico foi executada em apenas uma etapa, por haver maior coerência na continuidade das ações, as quais envolveriam processos de montagem contínuos.

Desse modo, foi realizada uma aula expositiva e prática com a duração de 4 horas, no dia 28 de junho de 2017, onde no primeiro momento houve exposição oral e visual por meio de slides, liderada pelas professoras, abordando conceitos de sustentabilidade, demonstração de exemplos de fontes de energias fósseis e renováveis, com a participação dos alunos interagindo entre si por meio de debate sobre as questões que se apresentaram. Após, em um segundo momento, deu-se início às atividades práticas do projeto, onde a turma constituída por aproximadamente 40 alunos, foi dividida em 4 grupos que realizaram as seguintes tarefas:

Grupo 1 - Confecção das casas para a maquete: Os estudantes utilizaram os conceitos aprendidos nas aulas de Desenho Técnico e Arquitetônico para transpor para o material que constituiu as casas, o desenho das edificações na escala indicada, conforme folha com instruções recebida. Em seguida, foram feitos os recortes necessários com estilete no perímetro, finalizando com a montagem das peças da residência. Também foram confeccionadas árvores, para melhor ambientação do projeto. Materiais utilizados: escalímetro, esquadro, lapiseira, borracha, cola, tesoura, estilete, alfinete, palitos de madeira, acetato-vinilo de etileno (EVA), papel microondulado, esponja e cola quente.

Grupo 2 – Confecção da base da maquete da cidade e do gerador: Para receber as casas executadas pelo Grupo 1, foi necessária a preparação dos pisos das bases de madeira de 90 cm x 50 cm e 50 cm x 40 cm, previamente preparadas pelo técnico de laboratório de edificações, onde aos alunos competiu compatibilizar os desenhos das folhas de instruções recebidas, transpondo-os para a escala necessária, para recorte dos papéis coerentes de acordo com o tipo de piso indicado, tais como, asfalto, calçada e gramado. Também foi colado o piso representado o gramado, na base menor que recebeu o aerogerador. Ambas as bases, foram finalizadas em suas laterais com pintura PVA na cor branca. Materiais utilizados: escalímetro, esquadro, lapiseira, borracha, cola, tesoura, estilete, EVA, papel camurça, tinta PVA, cola quente.

Grupo 3 – Preparação de fios e lâmpadas para as ligações elétricas da maquete da cidade: Foram utilizadas 10 mini lâmpadas de led de cor amarela, para a iluminação da cidade. Quatro lâmpadas foram separadas para comporem os quatro postes do projeto e seis lâmpadas para as seis casas. Foram feitas ligações no polo positivo e no polo negativo do led, com fios retirados de cabos de internet, para serem ligados aos fios da rede elétrica alimentada pelo aerogerador. Para os quatro postes, foi executado o acabamento da lâmpada introduzindo os pólos em uma mini mangueira de pvc, colando-a com fita isolante em um canudo de plástico previamente dimensionado da altura de um poste real. Neste, foram colocados quatro pregos na parte superior para receber os fios da rede elétrica. As lâmpadas que iluminaram as casas, assim como as que estavam acopladas aos postes, foram conectadas aos fios

desta rede. Materiais utilizados: mini led 5mm, canudos plásticos, mini mangueira, pregos, fios de cobre, fita isolante, cola quente, escalímetro, estilete.

Grupo 4 – Preparação das ligações elétricas do minigerador eólico: Os alunos fixaram sobre a base de 50 cm x 40 cm, preparada pelo Grupo 2, uma cantoneira metálica para fixação do motor de impressora, o qual representou o motor de minigerador. Foi conectado a este motor, hélice de ventilador, bem como, diodo e capacitor, ligados a fios elétricos, os quais, quando conectados à rede elétrica da maquete da cidade e submetidos a condições de vento, tornariam possível o acendimento das lâmpadas. Materiais utilizados: cantoneira metálica 30 cm x 30 cm, motor de impressora, hélice, diodo 1N4007, capacitor eletrolítico 2200 uf – 63 Volts, fios de cobre, conectores tipo ‘garra de jacaré’, fita isolante,

Para a finalização do projeto, formou-se um novo grupo com 6 integrantes voluntários, orientados pelas professoras, os quais ficaram responsáveis pela compatibilização dos produtos gerados pelos grupos dando forma à maquete da cidade, iluminada pelo minigerador conforme apresentado na figura 1.



Figura 1 – Foto da maquete do minigerador e da cidade finalizada.

Fonte: Confeccionada pela autora.

Para tal ação foi necessário fazer a furação na base da maquete para encaixe dos postes, colagem das casas e árvores, passagem dos fios de cobre pelos pregos dos quatro postes representando a rede elétrica e ligação dos fios das lampadas dos postes e das casas na rede.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudantes puderam ampliar seus conhecimentos sobre geração de energia por meio de fontes renováveis e demonstraram bastante interesse e empenho nas

atividades propostas de acordo com as situações que surgiam durante o processo. Tais situações, estimularam a reflexão sobre o papel do projetista em estar comprometido com a incorporação destas tecnologias no ramo da construção civil, bem como, na tomada de decisões acerca dos procedimentos mais adequados, dependendo da situação que se apresentava.

No decorrer do exercício, diversos problemas se apresentaram, como por exemplo, a utilização de um motor de impressora com problemas, sem que houvesse a percepção em um primeiro momento tanto dos alunos, como das professoras, ocasionando em desperdício de tempo para a montagem do minigerador. Também a falta de atenção dos alunos na ocasião da explicação a respeito da correta identificação dos polos das lâmpadas para as ligações, na hora na montagem dos postes, a falta de paciência em esperar para colar as partes das casas com a cola própria, a má administração do tempo em relação à espera para a secagem dos materiais colados nas bases das maquetes, entre outras questões, necessitaram retrabalho por parte dos grupos, atrasando o trabalho. Tudo isso, teve significativa importância para o entendimento da relevância do planejamento das ações na hora da execução de um projeto.

Conversou-se sobre a importância da formação crítica a respeito da preservação do meio ambiente e dos recursos naturais, nas implicações a cerca de decisões tomadas na concepção dos projetos de edificações, assim como na importância da pesquisa como instrumento na busca de soluções para o aprimoramento da atuação profissional destes estudantes.

O resultado da atividade materializou-se em uma maquete que reproduz uma parcela da rede elétrica de uma cidade, composta por seis residências, as quais são iluminadas por lâmpadas que saem de quatro postes também com lâmpadas. O minigerador tem a função de alimentar a energia elétrica para suprir a demanda desta cidade.

A confecção desta maquete, não apenas serviu como exercício prático de aplicações de conceitos e reflexões por parte dos alunos e professores, mas também servirá como parte do acervo do Curso de Edificações para apresentações e demonstrações para os futuros estudantes do Campus Canoinhas, como também para atividades de divulgação externa do IFSC, mostrando para a sociedade o comprometimento da instituição com formação de profissionais que além de possuírem qualidade técnica, também se mostrem engajados nas questões de sustentabilidade.

## 4 | CONCLUSÕES

Com a realização deste trabalho foi possível introduzir os alunos do curso

técnico em edificações EMI ao tema sustentabilidade, demonstrando a importância do uso de energias renováveis na construção civil. A confecção do protótipo de gerador eólico pelo grupo, foi capaz de demonstrar aos estudantes de forma prática e eficiente, o funcionamento e a aplicação deste tipo de energia alternativa na construção civil. É importante salientar que além de atingir ao objetivo principal exposto, foi possível perceber que a atividade pode despertar nos estudantes diversas habilidades intelectuais e técnicas, bem como, reforçar a importância da organização dos indivíduos em relação à importância do planejamento das atividades quando trabalhadas em grupo, estabelecendo uma ordem nas etapas a serem cumpridas, para materialização do projeto de forma exitosa.

Do mesmo modo, a aplicação da energia solar tanto para aquecimento de água, como para geração de energia elétrica se apresenta como sugestão viável para a proposta de desenvolvimento de atividades em trabalhos futuros, uma vez que a construção de protótipos e maquetes a respeito do tema são bastante simples de serem aplicadas de forma prática, se trabalhados os conceitos de forma satisfatória com os estudantes, para que o aprendizado e incorporação das ideias se apresente de maneira interessante.

## REFERÊNCIAS

ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL. **Energia Eólica**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2ª. ed. Brasília: ANEEL, 2005.

BP STATISCAL REVIEW OF WORLD ENERGY. **Energy in 2011– disruptions and continuity**. Disponível em: < <https://www.laohamutuk.org/DVD/docs/BPWER2012report.pdf> > Acesso em: 03 de abril de 2017.

PORTAL ENERGIA. **Fontes de energia renováveis e não renováveis**. Disponível em: <<http://www.portalenergia.com/fontes-de-energia/>> Acesso em: 03 de abril de 2017.

RUTHER, R. **Energias Renováveis**. Apostila da disciplina de Energia Solar Fotovoltaica. Florianópolis: UFSC, 2012.

SILVIUS, A., Schipper, R.P., 2014. **Sustainability in project management: a literature review and impact analysis**. Soc. Bus. 4, 63–96

## REUSO DE ÁGUAS CINZAS EM RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR: ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA E FINANCEIRA DA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA

Data de aceite: 11/12/2019

Data de submissão: 04/11/2019

### Tháisa Mayane Tabosa da Silva

UNIFAVIP Wyden

Caruaru – PE

<http://lattes.cnpq.br/4462436266156856>

### Eduardo Cabral da Silva

UNIFAVIP Wyden

Caruaru – PE

<http://lattes.cnpq.br/2609068900467599>

### José Henrique Reis de Carvalho Tabosa

UNIFAVIP Wyden

Caruaru – PE

<http://lattes.cnpq.br/2364917570366841>

### Wilma de Oliveira Melo

UNIFAVIP Wyden

Caruaru – PE

<https://orcid.org/0000-0002-3998-4655>

**RESUMO:** O reuso de águas cinzas propicia inúmeros benefícios, desde a economia de água tratada até a redução do volume de esgoto descartado. Logo, para tal finalidade o presente estudo objetivou o desenvolvimento de um sistema de reuso de águas cinzas, destinado a fins não potáveis em uma residência unifamiliar de pequeno porte no município de Caruaru, Pernambuco; assim como a análise econômica e ambiental da sua implementação. Foi

realizado o dimensionamento de um sistema de abastecimento de reuso de águas cinzas, estimando os volumes e custos economizados e despesas de implantação do sistema de reuso. Por fim, o sistema proposto apresentou uma economia de aproximadamente 3,9m<sup>3</sup>/ano, equivalente a 36,5% do consumo total de água do empreendimento e obra orçada em R\$ 2.595,69 (com BDI de 20%), proporcionando uma economia anual de R\$403,10 e um período de retorno do investimento de aproximadamente 10 anos. Mediante os resultados expostos, conclui-se que a implantação do sistema de reuso apresentou-se economicamente viável, por se tratar de uma residência unifamiliar e economizar um recurso que situa-se em estado de precariedade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reuso. Ambiental. Benefícios.

### GRAY WATER REUSE IN UNIFAMILY RESIDENCE: ECONOMIC AND FINANCIAL FEASIBILITY ANALYSIS OF SYSTEM IMPLEMENTATION

**ABSTRACT:** The reuse of gray water provides numerous benefits, from the economics of treated water to reducing the volume of sewage discarded. Therefore, for this purpose, the present study aimed at the development of a gray water reuse system, destined for non

potable purposes in a small single family dwelling in the city of Caruaru, Pernambuco; as well as the economic and environmental analysis of its implementation. It was carried out the design of a gray water reuse supply system, estimating the volumes and costs saved and the implementation costs of the reuse system. Finally, the proposed system presented savings of approximately  $3.9\text{m}^3$  / year, equivalent to 36.5% of the total water consumption of the project and budgeted at R \$ 2,595.69 (with BDI of 20%), providing an economy per annum of R \$ 403.10 and a payback period of approximately 10 years. Based on the results, it is concluded that the implementation of the reuse system was economically feasible, since it is a single-family residence and saves a resource that is in a state of precariousness.

**KEYWORDS:** Reuse. Environmental. Benefits

## 1 | INTRODUÇÃO

O volume total de água presente no planeta Terra é avaliado em torno de 1,35 milhões de quilômetros cúbicos, onde 97,5% deste volume é de água salgada, localizada em mares e oceanos; e 2,5% é de água doce, entretanto situada em lugares de difícil entrada. Somente 0,007% da água doce situa-se em lugares acessíveis para o consumo humano, como lagos, rios e na atmosfera. Apesar da água doce ainda ser encontrada em grande quantidade no planeta, em algumas localidades do mundo, suprir a solicitação de água é uma dificuldade devido ao rápido aumento populacional, sobretudo urbano. (UNIÁGUA, 2006)

De acordo com a Organização das Nações Unidas (2018), a água é fundamental para a vida no planeta e é pré-condição para a vida humana. Ela é considerada um recurso precioso responsável pelo progresso econômico, paz, segurança, desenvolvimento sustentável e extinção da pobreza. Embora seja primordial no progresso sustentável, dificuldades como a poluição, a escassez e a má gestão do recurso ocasionam crises socioambientais, com graves implicações globais. O mundo vem enfrentando uma crise de água e sem uma prudente gestão deste recurso natural não será possível garantir a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos.

O município de Caruaru-PE está situado na região do Agreste de Pernambuco, a qual, há alguns anos vem sofrendo complicações no abastecimento de água tratada, causados pelo baixo índice de precipitação nas áreas de mananciais que abastecem a cidade, tornando a escassez de água um contratempo evidente.

Considerando a crise hídrica da região, a concessionária responsável pelo abastecimento público do estado de Pernambuco, COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento e Abastecimento), iniciou um racionamento de água através de rodízio de abastecimento entre os bairros da cidade. Logo, com a finalidade de diminuir esse impacto e de viabilizar a gestão desse recurso tão valioso,

são necessários processos alternativos para a utilização de água não potável.

Planejadores e entidades gestoras de recursos hídricos buscam, consecutivamente, novidades sobre fontes de recursos para aumentar a disponibilidade hídrica ainda acessível. Logo, tem-se a necessidade de serem fundadas políticas apropriadas e implantados sistemas de gestão eficazes. Como uma das escolhas para o combate do problema é o reuso da água, considerável instrumento de gestão ambiental do recurso água e detentor de metodologias já aprovadas para o seu adequado emprego. (BLUM *et al*, 2003; BRAGA, 2005)

De acordo com Philippi (2003), o reuso é considerado uma metodologia desenvolvida para suprir as necessidades dos seres humanos conforme o uso dos recursos hídricos, que apresentaram suas reservas afetadas pela poluição dos corpos d'água e consumo desordenado.

Asano (2007), ressalta que o reuso é uma estrutura importante para reduzir as dificuldades motivadas pelas redes públicas de abastecimento, as quais se encontram em estado precário e não acompanham as solicitações da demanda de fornecimento de água das comunidades em desenvolvimento.

Como opção de economia de água potável tem-se o reuso de águas cinzas. As águas cinzas são estabelecidas como esgoto que não tem contribuição da bacia sanitária, logo, é o esgoto originado pelo uso de banheiras, duchas, lavabos, máquinas de lavar e pias de cozinha situados em residências, escritórios comerciais, etc. (MAY, 2009)

Atualmente no Brasil, o reuso de água cinza ainda apresenta pouca utilização, todavia, em diversos outros países esta prática vem acontecendo em larga escala. No Brasil, mesmo o reuso de água cinza sendo pouco praticado, algumas regiões utilizam este sistema de reuso. (LIMA, 2010)

É indispensável identificar o lugar e o tipo de efluente para assim ser definido o tratamento mais competente e o emprego final ao qual será designado. As propriedades físicas, químicas e bacteriológicas das águas cinzas, são influenciadas pela característica da água de abastecimento e, sobretudo, devido à conduta do consumidor, como seu estilo de vida e padrão socioeconômico. A quantidade de produtos químicos também são pertinentes para a identificação da qualidade das águas cinzas, onde, a variação ocorre também de acordo com o local de coleta. (MAY, 2009)

May (2009) especifica que os componentes do sistema de reuso de águas cinzas são os coletores, armazenamento e tratamento. Os coletores do reuso de águas cinzas são os condutores horizontais e verticais que conduzem o efluente ao sistema de armazenamento; onde este sistema é formado por reservatórios de acumulação com a finalidade de armazenagem das águas cinzas derivadas de seus respectivos pontos de coleta e o tratamento é um conjunto de procedimento físicos

e químicos realizado conforme qualidade da água coletada e sua utilização final. (MAY, 2009)

Neste contexto, o presente trabalho visa avaliar a implantação de um sistema de reuso de águas cinzas destinado a fins não potáveis em uma residência unifamiliar localizada no município de Caruaru-PE, avaliar seu aspecto econômico e ambiental, e expor a viabilidade do sistema a longo prazo.

## 2 | METODOLOGIA

O objeto de estudo do presente trabalho foi uma residência com área de 100m<sup>2</sup>, sendo 63 m<sup>2</sup> de área construída, disposta em: sala, cozinha, banheiro, área de serviço e dois dormitórios, localizada no município de Caruaru, Pernambuco. Para efeito de cálculo para o volume das águas residuárias adotou-se um número de dois habitantes por dormitório.

As águas residuárias que foram analisadas no presente estudo avaliam as águas cinzas. Os pontos de captação das águas cinzas considerados foram os lavatórios e chuveiro, e os pontos de reutilização foram as torneiras de lavagem externa e bacia sanitária.

Para o efeito de cálculo da demanda interna requerida de água da edificação foi considerado a demanda diária per capita, onde adotou-se 80L/hab/dia de acordo com ENGEPLAS (2010). Segundo Gonçalves (2006), na determinação do consumo externo admite-se 4 L/m<sup>2</sup>/dia para lavagem de áreas impermeáveis, com periodicidade de utilização de 8 vezes por mês. Após definição das duas estimativas foi determinado a demanda hídrica mensal da residência.

Ao se projetar um sistema de tratamento de água cinza deve-se determinar a demanda de água cinza que a residência é capaz de disponibilizar. Segundo Tomaz (2000), em uma habitação o banheiro é o ponto de maior consumo de água. No Quadro 1 é possível verificar este fato através dos dados apresentados.

Consumo Interno	% de consumo
Bacia Sanitária	35%
Lavagem de roupas	22%
Chuveiros	18%
Torneiras	13%
Banhos	10%
Lavagem de pratos	2%
Total	100%

Quadro 1 - Consumo Residencial

Fonte: Tomaz, 2000.

Para o dimensionamento do sistema sanitário de reuso foi utilizado como base o sistema tradicional, porém o sistema deve prever a separação da coleta de águas cinzas e negras. Foram realizados dois tubos de queda, um para o direcionamento das águas cinzas e o outro para as negras, sendo o primeiro conduzido para um reservatório inferior, e o segundo para o sistema de coleta de esgoto. Os outros elementos do sistema foram dimensionados conforme normas definidas na NBR 8160.

Os aparelhos de contribuição do sistema de coleta foram associados e determinado a contribuição de cada aparelho e o diâmetro da tubulação.

Foram estimados dois reservatórios, um superior com 40% do volume reservado e outro inferior com 60%, onde o inferior receberá a água cinza e logo após seu tratamento o volume gerado será bombeado para o reservatório superior. Para determinação do volume de água cinza a ser armazenado nos reservatórios, foi utilizado o volume referente à sua oferta.

Em seguida, foi realizada a determinação da bomba a ser empregada e os diâmetros da tubulação de recalque e sucção.

No sistema de tratamento foi usado o Filtro de Reuso de Águas Cinzas, composto por mídias sobrepostas por pré-filtração, tratamento e polimento.

Em seguida, foi elaborado uma planilha orçamentária conforme banco de dados do SINAPI, referente ao período de 09/2018 do estado de Pernambuco; operação, através da avaliação de consumo anual de energia originado pelos equipamentos responsáveis pelo funcionamento do sistema e manutenção do mesmo. Logo, foi avaliado a viabilidade econômica da implantação do sistema, averiguando a economia anual de água potável promovida e o prazo de retorno do investimento, segundo avaliação de tarifas de água e esgoto cobradas pela COMPESA no município.

### 3 | RESULTADOS/DISCUSSÕES

#### 3.1. Oferta e Demanda de Águas Cinzas

A estimativa de consumo mensal da residência encontra-se representada na Tabela 1.

Número de habitantes	4
Consumo diário por habitante (L/hab.dia)	80
Consumo diário (L/dia)	320
Consumo Mensal* Interno (L/mês)	9.600
Consumo Mensal** Externo (L/mês)	1.184
Consumo Mensal Total (L/mês)	10.784

\*30 dias/mês,

\*\*8 dias/mês

Tabela 1 – Consumo Mensal

Fonte: Autor, 2019.

De posse dos dados da Tabela 1 é possível determinar a oferta e a demanda total de água cinza da habitação. A oferta é obtida através do somatório das demandas dos aparelhos que contribuem na alimentação do sistema de reuso (chuveiro e lavatório); já o consumo de reuso é obtido através do somatório das demandas dos aparelhos que irão se utilizar deste efluente (bacia sanitária e torneira de lavagem externa). A Tabela 2 demonstra a demanda e oferta do sistema de reuso de água cinza da habitação estudada, utilizando como base estudos do Quadro 1.

Aparelhos	Consumo	Oferta		Demanda
		Mensal (L/mês)	Diária (L/dia)	Mensal (L/mês)
Bacia Sanitária	35%	-	-	3.360
Banho/Chuveiro	28%	2688	89,6	-
Lavatório	13%	1.248	41,6	-
Consumo Externo	-	-	-	1.184
<b>TOTAL</b>		<b>3.936</b>	<b>131</b>	<b>4.544</b>

Tabela 2 – Oferta e Demanda Reuso

Fonte: Autor, 2019.

Ao analisar os dados obtidos na Tabela 2, é perceptível que os valores da oferta são inferiores à demanda, atendendo aproximadamente 36,5% referente ao consumo total do empreendimento.

### 3.2 Dimensionamento do Sistema de Reuso de Águas Cinzas

Os diâmetros das tubulações de abastecimento de água foram empregados os mesmos dos indicados no projeto tradicional, adicionando apenas as tubulações de abastecimento com águas cinzas.

O diâmetro dos ramais de esgoto utilizados no sistema de reuso foram os mesmos do sistema tradicional, no entanto, foi considerado a separação das águas negras das cinzas. Dessa forma, foram embutidos tubos de queda adicionais, a fim de efetuar o referido isolamento. O destino das águas negras foi o sistema de coleta de esgoto, enquanto as águas cinzas foram destinadas ao tratamento para posterior reutilização.

A determinação do volume de água cinza a ser armazenada foi calculada através da oferta semanal, onde, o volume de água cinza a ser reservado será de 984 L. Logo, como os reservatórios superior e inferior foram dimensionados para acomodar 40% e 60% do volume total de reuso, a parcela de água cinza equivale a 394 L e 590 L respectivamente. Os reservatórios comerciais com capacidade mais aproximadas

aos volumes determinados são os compostos em polietileno com capacidade para 500 L e 750 L.

No reservatório superior será instalado uma boia situada em um nível abaixo da boia referente a entrada da água de reuso, conectando-a ao reservatório superior de água potável, onde, esta boia acionará quando o nível ficar abaixo do mínimo, evitando assim a falta de água no sistema de reuso.

Para o dimensionamento do equipamento de bombeamento, inicialmente foi determinado o consumo diário através da demanda da água de reuso, sendo equivalente a 0,36 m<sup>3</sup>/dia. Posteriormente, foi calculada a vazão de recalque, resultando em 0,06 m<sup>3</sup>/h. A partir daí, foram dimensionados os diâmetros de recalque e sucção, onde foi adquirido o valor de 3,8 mm, logo, foram adotados os diâmetros comerciais com bitola de 20 mm para a tubulação de recalque e 25 mm para tubulação de sucção.

Em seguida, foi realizado o dimensionamento do conjunto motor-bomba, com dados de entrada equivalentes à vazão de recalque ( $1,7 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ ), eficiência do equipamento (50%) e altura manométrica (5,1 metros), chegando ao valor de aproximadamente 2W. Logo, para o sistema de bombeamento foi considerado uma bomba centrifuga de pequena capacidade, com 1/3 HP de potência; possuindo capacidade superior a estimada no dimensionamento da bomba ( $P_{ot} = 2 \text{ W}$ ).

No processo de tratamento das águas cinzas foi utilizado o Filtro de Reuso de Águas Cinzas, composto por mídias sobrepostas, onde o funcionamento do filtro se dá através da entrada da água por um filtro de sedimentos, que irá reter os sólidos em suspensão na água; em seguida é realizada a passagem por um tratamento mais profundo por meio da aplicação de cloro em concentração adequada, e em sua última etapa é efetivada a remoção de vestígios de turbidez e odor.

### 3.3 Análise da Viabilidade Técnica e Econômica do Sistema de Reuso

Conforme análise realizada no sistema de reuso de águas, será atendido cerca de 36,5% referente ao consumo total do empreendimento, ou seja, o sistema proporcionará uma economia de aproximadamente 3,9m<sup>3</sup> de água potável mensalmente.

Foram examinadas as tarifas cobradas pelo fornecimento de água potável e esgotamento sanitário referente a edificações públicas na página virtual da COMPESA. Daí, através do volume de água economizado anualmente, foi verificado a economia anual gerada pela implantação do sistema por meio da Tabela 3.

Volume Economizado (m³/ano)	Tarifa de abastecimento (R\$/m³)	Taxa de Esgoto (R\$/m³)	Economia Anual (R\$)
47,2	4,74	3,8	R\$403,10

Tabela 3 - Economia Anual gerada pelo Sistema

Fonte: Autor, 2019.

Logo, foram calculados os custos de operação e manutenção anual do sistema, conforme exibido em Tabela 4.

Fonte	Despesas Anuais	Und.	Qtd.	Valor Unitário (R\$)	Valor Total
CELPE	CONSUMO DE ENERGIA PARA EDIFICAÇÕES DE CLASSE B1 RESIDENCIAL	kWh	10	R\$0,74	R\$7,40
Estimativa	MANUTENÇÃO EM GERAL	Und.	1	R\$130,00	R\$130,00

Tabela 4 - Custos de Operação e Manutenção Anual do Sistema

Fonte: Autor, 2019.

Conforme apresentado na Tabela 3, o sistema em estudo proporciona uma economia anual de R\$ 403,1, todavia, necessita de gastos de R\$7,4 e R\$130,00 (Tabela 4), referente aos custos anuais de operação e manutenção, respectivamente.

A viabilidade econômica do presente estudo foi analisada através do orçamento exibido no Quadro 2, o qual obteve o valor de R\$ 2.595,69 (com BDI de 20%) para ser investido na execução do sistema de reuso de águas cinzas.

ITEM	TIPO	CÓD.	DESCRIÇÃO	UN	QTD	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL COM B.D.I 20%
1	<b>SERVIÇOS PRELIMINARES</b>						<b>R\$17,53</b>
1.1	Composição/ SINAPI	85423	ISOLAMENTO DE OBRA COM TELA PLASTICA COM MALHA DE 5MM	M2	2,3	R\$6,35	R\$17,53
2	<b>DEMOLIÇÃO, ESCAVAÇÃO, TRANSPORTE, REATERRO E COMPACTAÇÃO</b>						<b>R\$27,19</b>
2.1	<b>RESERVATÓRIO INFERIOR DE ÁGUAS CINZAS</b>						<b>R\$27,19</b>
2.1.1	Composição/ SINAPI	89887	ESCAVAÇÃO VERTICAL A CÉU ABERTO, INCLUI CARGA, DESCARGA E TRANSPORTE, EM SOLO DE 1ª CAT ESCAVAD HIDRÁULICA AF_12/2013	M3	2,3	R\$8,50	R\$23,46

2.1.2	Composição/ SINAPI	72961	REGULARIZACAO E COMPACT SUBLEITO ATE 20CM ESPESSUR	M2	2,3	R\$1,35	R\$3,73
<b>2.2</b>	<b>REDE DE ÁGUA CINZA</b>						<b>R\$108,12</b>
2.2.1	Composição/ SINAPI	93358	ESCAVAÇÃO MANUAL DE VALA COM PROFUNDIDADE MENOR OU IGUAL A 1,30 M. AF_03/2016	M3	1	R\$56,09	R\$67,31
2.2.2	Composição/ SINAPI	96995	REATERRO MANUAL APILOADO COM SOQUETE. AF_10/2017	M3	1	R\$34,01	R\$40,81
<b>3</b>	<b>INFRAESTRUTURAS</b>						<b>R\$52,22</b>
<b>3.1</b>	<b>RESERVATÓRIO INFERIOR DE ÁGUAS CINZAS</b>						<b>R\$52,22</b>
3.1.1	Composição/ SINAPI	95241	LASTRO DE CONCRETO MAGRO, APLICADO EM PISOS OU RADIERS, ESPESSURA DE 5 CM. AF_07/2016	M2	2,3	R\$18,92	R\$52,22
<b>4</b>	<b>INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS</b>						<b>R\$2.498,76</b>
<b>4.1</b>	<b>RESERVATÓRIO INFERIOR DE ÁGUAS CINZAS</b>						<b>R\$1.263,38</b>
4.1.1	Mercado	BC-98	BOMBA CENTRÍFUGA SCHNEIDER BC 98 1/3 CV 220V MONOFÁSICA	UN	1	R\$396,93	R\$476,32
4.1.2	Composição/ SINAPI	73796/2	VÁLVULA DE PÉ COM CRIVO Ø 25MM (1") - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO	UN	1	R\$55,87	R\$67,04
4.1.3	Composição/ SINAPI	73795/1	VÁLVULA DE RETENÇÃO VERTICAL Ø 20MM (3/4") - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO	UN	1	R\$53,11	R\$63,73
4.1.4	Composição	94494	REGISTRO DE GAVETA BRUTO, LATÃO, ROSCÁVEL, 3/4" AF_06/2016	UN	1	R\$57,91	R\$69,49
4.1.5	Mercado	500	CAIXA D'AGUA EM POLIETILENO 750 LITROS, COM TAMPA	UN	1	R\$489,00	R\$586,80
<b>4.2</b>	<b>REDE DE ÁGUA CINZA</b>						<b>R\$939,42</b>

4.2.1	Composição/ SINAPI	91788	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) DO SERVIÇO DE INSTALAÇÃO DE TUBOS DE PVC, SOLDÁVEL, ÁGUA FRIA, DN 50 MM AF_10/2015	M	1	R\$29,17	R\$35,00
4.2.2	Composição/ SINAPI	91785	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) DO SERVIÇO DE INSTALAÇÃO DE TUBOS DE PVC, SOLDÁVEL, ÁGUA FRIA, DN 25 MM AF_10/2015	M	1,3	R\$28,89	R\$45,07
4.2.3	Composição/ SINAPI	91784	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) DO SERVIÇO DE INSTALAÇÃO DE TUBOS DE PVC, SOLDÁVEL, ÁGUA FRIA, DN 20 MM AF_10/2015	M	4	R\$29,28	R\$140,54
4.2.4	Mercado	GBF 500	FILTRO REUSO DE ÁGUAS CINZAS	UN	1	R\$599,00	R\$718,80
<b>4.4</b>	<b>RESERVATÓRIO SUPERIOR DE ÁGUA CINZA</b>						<b>R\$295,96</b>
4.4.1	Composição/ SINAPI	34637	CAIXA D'AGUA EM POLIETILENO 500 LITROS, COM TAMPA	UN	1	R\$159,04	R\$190,85
4.4.1	Composição/ SINAPI	85195	CHAVE DE BOIA AUTOMÁTICA	UN	1	R\$63,30	R\$75,96
4.4.2	Composição/ SINAPI	40329	TORNEIRA PLASTICA DE BOIA CONVENCIONAL P/ CAIXA DE AGUA,3/4 "	UN	1	R\$9,85	R\$11,82
4.4.3	Composição/ SINAPI	91785	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) DO SERVIÇO DE INSTALAÇÃO DE TUBOS DE PVC, SOLDÁVEL, ÁGUA FRIA, DN 25 MM AF_10/2015	M	0,5	R\$28,89	R\$17,33
<b>TOTAL</b>							<b>R\$2.595,69</b>

Quadro 2 – Orçamento Sistema Reuso

Fonte: Autor, 2019.

Assim, o investimento realizado no projeto em estudo terá um período de retorno de aproximadamente 10 anos, proporcionando resultado satisfatório, por se tratar de uma residência unifamiliar e economia de um recurso que atualmente encontra-se

em estado de escassez.

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O reuso de água cinza apresentou-se como uma técnica eficaz no combate a pouca disponibilidade hídrica na cidade de Caruaru/PE, proporcionando bons resultados quando aplicada em finalidades não potáveis como lavagem de pisos e descarga de bacias sanitárias. Diante do cenário hídrico da região, é necessário o uso de técnicas e tecnologias que promovam o consumo racional e minimização das dificuldades ocasionadas pela escassez hídrica, além de contribuir na dificuldade de drenagem urbana.

A obra orçada em R\$ 2.595,69, é economicamente viável por ofertar uma economia anual de R\$ 403,10 com retorno do investimento inicial previsto em 10 anos, prazo satisfatório, por se tratar de uma residência de pequeno porte.

Portanto, pode-se concluir que o sistema de reuso de águas cinzas na residência unifamiliar é uma escolha apreciável na economia do consumo de água tratada em atividades não potáveis, além de impulsionar a conservação da água, que atualmente encontra-se em escassez.

## REFERÊNCIAS

ASANO, T. et al.; Metcalf & Eddy AECOM. **Water Reuse: issues, technologies, and applications**. New York: Mc Graw Hill, 2007. 1570p.

BLUM, José Roberto Coppini; et al. **Reuso de Água**. 1 ed. São Paulo: Manole, 2003.

BRAGA, Benedito; et al. **INTRODUÇÃO À ENGENHARIA AMBIENTAL**. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

ENGEPLAS. **Consumo Médio de Água por Pessoa/Dia**. Disponível em: <[www.engeplas.com.br](http://www.engeplas.com.br)>. Acesso em: 20/03/2019.

GONÇALVES, R. F. **Uso Racional da Água em Edificações**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

LIMA, Rodrigo Mendonça de Araújo. **GESTÃO DA ÁGUA EM EDIFICAÇÕES: UTILIZAÇÃO DE APARELHOS ECONOMIZADORES, APROVEITAMENTO DE**

**ÁGUA PLUVIAL E REUSO DE ÁGUA CINZA**. 2010. 71 f. Monografia - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

MAY, Simone. **Caracterização, tratamento e reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. 2009. 223f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Relatório de Painel Internacional pede Mudança Fundamental na Gestão da Água**. 2018. Disponível em <<https://nacoesunidas.org/relatorio-de->

painel-internacional-pede-mudanca-fundamental-na-gestao-da-agua/>. Acesso em: 04/09/2018.

PHILIPPI JR, A. **Introdução ao reuso de águas**. In: Mancuso, P. C. S.; SANTOS, H. F. Reuso de águas. 579 p. São Paulo: Manole, 2003.

TOMAZ, P. **Previsão de Consumo de Água**. São Paulo: Hermano & Bugelli, 2000.

UNIÁGUA. **Água no Planeta**. 2006. Disponível em: <<http://www.uniagua.org.br/aguaplaneta.htm>>. Acesso em: 04/09/2018.

## SISTEMA DE CAPTAÇÃO E REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA ATRAVÉS DE CONCRETO POROSO

Data de aceite: 11/12/2019

Data de submissão: (03/11/2019)

### Ana Beatriz De Oliveira Silva

Centro Universitário Unimetrocamp Wyden

Campinas – São Paulo

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0825952815623220>

### Jonatha Roberto Pereira

Centro Universitário Unimetrocamp Wyden

Campinas – São Paulo

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4907308156626023>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3456-7956>

**RESUMO:** A crise hídrica é uma das crises que mais afetam a sociedade, com isso, muitas pessoas diminuem o uso abusivo de água e procuram soluções para reaproveitamento da água da chuva. O artigo visa a elaboração de um protótipo para captação e armazenamento de água pluvial criado a partir de placas de concreto poroso inseridas à uma tubulação que irá conduzir a água para um reservatório. Após testes de percolação e resistência, as placas criadas atingiram 93% de drenagem e 4,975 MPa de resistência à compressão o que as tornam viável para o estudo pretendido.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto poroso. Captação de água. Sustentabilidade.

Reaproveitamento de água.

### SYSTEM OF ABSTRACTION AND REAPPLICATION FROM WATER BY POROUS CONCRETE

**ABSTRACT:** The water crisis is an of the crises that most affect society, with this, many people reduce the abuse of water and seek solutions for the reuse of rainwater. The article aims to elaborate a prototype for rainwater collection and storage created from porous concrete plates inserted in a pipe that will lead the water to a reservoir. After percolation and strength tests, the plates created reached 93% drainage and 4,975 MPa of compressive strength making them feasible for the intended study.

**KEYWORDS:** Porous concrete. Water abstraction. Sustainability. Water Reuse.

### 1 | INTRODUÇÃO

O setor da construção civil está buscando cada vez mais novas práticas de sustentabilidade visando uma melhoria durante os projetos, obra ou com construções propriamente sustentáveis. (MOTTA; AGUILAR,2009).

Com o aumento populacional, o crescimento desordenado das áreas urbanas

e a má distribuição de água em estados brasileiros, a principal consequência é um aumento do consumo de água potável. Com isso a racionalização e a reutilização da água da chuva se fazem necessário. (LIMA et al.,2011).

Em razão desse aumento populacional ocorrem muitas construções para atender toda população e isso modifica inteiramente ou parte de um local gerando um impacto nos solos e tornando-os mais impermeáveis do que deveriam ser, uma vez que sua permeabilidade permite que parte da água da chuva se transmita até o lençol freático. (MÜLLER,2017).

A partir dessas necessidades o projeto constitui na criação de um protótipo de placas de concreto poroso, visando um alto percentual de percolação de água para garantir a captação da água da chuva.

## 2 | OBJETIVO GERAL

Esse projeto tem como objetivo propor a reutilização da água de chuva a partir de placas de concreto poroso e sistemas de captação para armazenamento.

Além disso, foi realizada a criação de um protótipo de placas de concreto poroso para testes de percolação e resistência.

## 3 | MÉTODO

Foram verificados artigos para maiores informações sobre o tema e com isso foi encontrado um traço de concreto que se adequou à necessidade desse projeto.

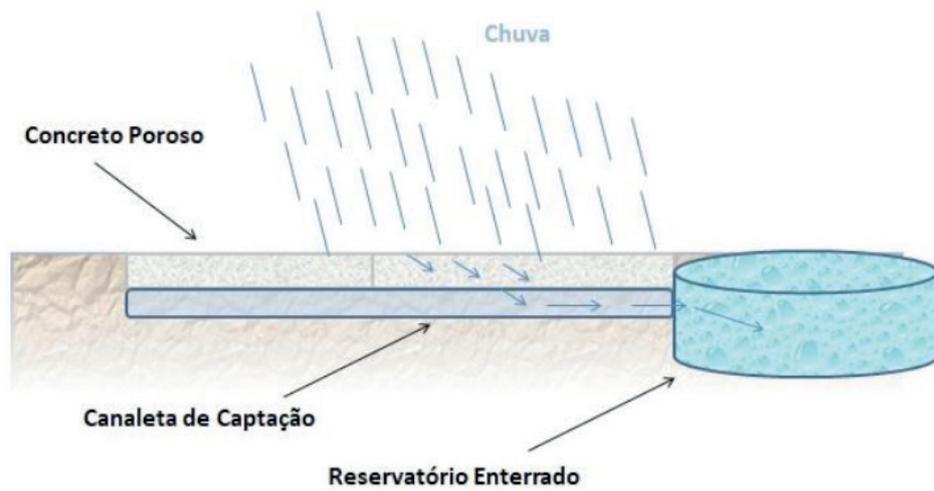
O traço utilizado possui uma relação água cimento de aproximadamente 0,27 sendo 1,42 Kg de água para 5,32 Kg de cimento CP II. A quantidade de agregado graúdo (brita) é de 12,25 Kg e para obter um concreto com a porosidade desejada não foi utilizado agregado miúdo (areia).

Após estudos teóricos, uma calha de pvc de um metro de comprimento e 14 centímetros de largura foi adquirida para utilizar como condutor de água e, com isso, foi produzida uma forma de madeira para desenvolvimento de placas de concreto de cinquenta centímetros cada.

Para verificar drenagem foram desaguados aproximadamente 3.650ml de água sobre a peça de concreto, a água escoou sobre a calha e foi depositada num recipiente para medir o percentual de água drenada.

Além das placas de 50 centímetros de comprimento, foram feitos corpos de prova cilíndricos de acordo com a NBR – 5739 (2007) com 10 centímetros de diâmetro e 20 centímetros de altura para verificar a resistência à compressão desse concreto.

A sequência apresenta a proposta do modelo de drenagem e captação de água.



#### 4 | RESULTADOS

Após os testes de drenagem e resistência, foram realizados cálculos para ambos e o resultado obtido foram placas drenando aproximadamente 93% da água com uma resistência à compressão de 4,975 MPa.

As fotos a seguir demonstram as placas finalizadas e alocadas no condutor de pvc.



Foto 1: Vista inferior da placa após desenformada.



Foto 2: Vista superior da placa inserida no condutor de água.



Foto 3: Vista frontal da placa inserida no condutor de água.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora as placas apresentem baixa resistência à compressão, sua utilização como sistema de captação de água se torna viável, contanto que sua instalação seja executada em locais onde não há circulação de veículos.

Verificou-se que o percentual de percolação de água adquirido nos testes realizados garante uma drenagem notável de água de chuva satisfazendo o objetivo desse projeto.

A próxima etapa desse projeto propõe simular a chuva e realizar medições de drenagem e volume coletado.

## REFERÊNCIAS

LIMA, Jeferson Alberto et al. **POTENCIAL DA ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL PELO USO DE ÁGUA PLUVIAL: ANÁLISE DE 40 CIDADES DA AMAZÔNIA**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 16, n. 3, p. 291-298, 20 jul. 2011. DOI Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522011000300012>. Acesso em: 27 mar. 2019.

MOTTA, S.; AGUILAR, M. T. **SUSTENTABILIDADE E PROCESSOS DE PROJETOS DE EDIFICAÇÕES**. Gestão & Tecnologia de Projetos, v. 4, n. 1, p. 88-123, 30 maio 2009.

MÜLLER, Marina Zart. **TÉCNICA COMPENSATÓRIA DE DRENAGEM URBANA: UM ESTUDO SOBRE PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEÁVEL**. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2017. Disponível em: <http://www.riuni.unisul.br/handle/12345/3691>. Acesso em: 27 mar. 2019.

## O USO DE GEOTECNOLOGIAS EM PERÍCIAS AMBIENTAIS: VANTAGENS E AVANÇOS TECNOLÓGICOS

Data de aceite: 11/12/2019

### **Giovanna Feitosa de Lima**

DNIT, SRE – PB, João Pessoa - Paraíba

### **Ellen Kathia Tavares Batista**

DNIT, SRE – PB, João Pessoa - Paraíba

### **Edson Alves de Jesus**

UFPB, CEAR, João Pessoa - Paraíba

### **Nayara Michele Silva de Lima**

UNIFAVIP, Caruaru - Pernambuco

### **Barbara Alves Lima**

UNIFAVIP, Caruaru - Pernambuco

**RESUMO:** O avanço tecnológico tem impactado diretamente várias áreas do conhecimento, fornecendo ferramentas e embasando teorias. No caso específico de perícias ambientais, o uso de mecanismos de georreferenciamento, como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), GPS, GNSS e suas ferramentas de processamentos, como RapidEye, AutodeskMap, SPRING, Google Earth entre outros softwares de processamento de dados, podem contribuir de maneira significativa para o acompanhamento do desenvolvimento de parâmetros ambientais, por exemplo desmatamento, reflorestamento, delimitação de áreas de preservação e mesmo supressão vegetal. Diante de uma peça pericial bem argumentada e consubstanciada, a

decisão do magistrado acontecerá de maneira objetiva e ficará assegurado elevado nível de segurança às decisões judiciais, eliminando os questionamentos e efetivando a aceitação da prova pelas partes. O acesso de especialistas, da comunidade e dos governantes às ferramentas de monitoramento por imagem, por exemplo, pode ser o ponto crucial entre lidar com o dano ambiental e evita-lo. O objetivo deste trabalho é apresentar as tecnologias existentes aplicáveis aos trâmites periciais e demonstrar sua eficiência e economicidade. Através de pesquisa bibliográfica em artigos e livros, além de normativos, pôde-se verificar que os relatos de utilização das muitas técnicas e ferramentas de georreferenciamento e elaboração de produtos é eficiente e produtivo, sendo marcado pelo avanço tecnológico e ganhos ambientais. Além disso, já é possível afirmar com precisão, que com o uso de tais ferramentas, se é capaz não só de punir pela ocorrência do dano, mas monitorar as alterações ambientais e prevenir sua degradação, sendo uma importante ferramenta na luta pela preservação ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geotecnologias. Perícia Ambiental. Avanços Tecnológicos.

THE USE OF GEOTECHNOLOGIES IN ENVIRONMENTAL SKILLS: ADVANTAGES AND TECHNOLOGICAL ADVANCES

**ABSTRACT:** Technological advancement has directly impacted various areas of knowledge, providing tools and grounding theories. In the specific case of environmental expertise, the use of georeferencing mechanisms such as Geographic Information Systems (GIS), GPS, GNSS and their processing tools such as RapidEye, AutodeskMap, SPRING, Google Earth and other data processing software, They can contribute significantly to the monitoring of the development of environmental parameters, such as deforestation, reforestation, delimitation of preservation areas and even vegetation suppression. Faced with a well argued and substantiated expert piece, the magistrate's decision will take place objectively and will ensure a high level of security to court decisions, eliminating the questions and making the acceptance of evidence by the parties. Access by experts, the community, and policy makers to image monitoring tools, for example, can be the crucial point between dealing with environmental damage and avoiding it. The aim of this paper is to present the existing technologies applicable to the expert procedures and to demonstrate their efficiency and economy. Through bibliographic research in articles and books, as well as normative, it was verified that the reports of use of the many techniques and tools of georeferencing and elaboration of products is efficient and productive, being marked by technological advance and environmental gains. Moreover, it is already possible to state with precision that with the use of such tools one can not only punish for the occurrence of damage, but monitor environmental changes and prevent their degradation, being an important tool in the fight for environmental preservation.

**KEYWORDS:** Geotechnologies. Environmental expertise. Technological advancements.

## 1 | INTRODUÇÃO

Muitas são as leis que norteiam a proteção ambiental no Brasil e todas parecem ser consonantes e apresentam escala evolutiva bem definida.

A proteção ambiental emergiu timidamente no Brasil na década de 1970, após a participação do país na Conferência de Estocolmo de 1972, com a criação da Secretaria Especial de Meio Ambiente no então Ministério do Interior, embrião do futuro Ministério do Meio Ambiente.

Tancredi *et al.* (2012) afirmam que a Declaração do Rio de Janeiro sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992) tem como um de seus tópicos principais a ampla observância pelos Estados do princípio da precaução, de modo a proteger o meio ambiente de acordo com suas capacidades. Além disso, alinhou como o “dever de todos os Estados de propiciar acesso efetivo a mecanismos judiciais e administrativos, inclusive para a compensação e a reparação de danos ambientais”.

Nesse âmbito, de acordo com Almeida, Oliveira e Panno (2003), a perícia judicial surge como a atividade que apura as circunstâncias relativas a fatos sobre os quais o magistrado não é capaz de emitir opinião técnica, com vistas ao esclarecimento da verdade. É então um instrumento do sistema judiciário para fazer cumprir as leis

e proteger o meio ambiente, sobretudo. E o perito é o técnico que representa os interesses do judiciário, devendo o produto de seu trabalho estar livre de qualquer contaminação ética ou moral, garantindo os princípios estabelecidos por lei.

No caso específico das perícias ambientais, o uso de mecanismos de georreferenciamento, Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e softwares como o AutoCad® e o QGIS®, podem contribuir de maneira significativa para o acompanhamento do desenvolvimento de parâmetros ambientais, seja desmatamento, reflorestamento, delimitação de áreas de preservação e mesmo supressão vegetal em obras lineares, como a implantação de rodovias ou ferrovias.

O uso de mapas do tipo shapefile desenvolvidos e disponibilizados gratuitamente pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, por exemplo, combinados com coordenadas obtidas em campo com o auxílio de equipamento de GPS – Sistema Global de Posicionamento, referenciados na mesma base de dados, que no Brasil é o SIRGAS 2000, pode oferecer recursos vastos de análises ao perito ambiental, na elaboração da prova pericial.

Otimizar os custos de um processo judicial deve ser uma meta constante, sem interferir, é claro, na qualidade das informações coletadas e apresentadas pelo perito. Dessa forma, investir no uso de geotecnologias pode ser a etapa evolutiva natural após as delimitações estabelecidas pelo Novo Código de Processo Civil - CPC 2015, agregando valor ao processo judicial e garantindo assertividade ainda maior no embasamento de decisões do magistrado.

Assim, o objetivo deste trabalho foi demonstrar como as geotecnologias podem ser aplicadas ao desenvolvimento de perícias consistentes, através de pesquisa bibliográfica em periódicos e livros, buscando estudos de casos sobre a aplicação desses métodos de obtenção de dados.

## 2 | METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho estruturou-se através da escolha de artigos, livros e normativos ambientais, com pesquisa na plataforma Google Acadêmico e acervos pessoais, além de sites. Os materiais selecionados estabelecem relação com o tema aqui proposto. A seleção dos títulos foi realizada procurando responder ao objetivo principal deste trabalho, elucidando o uso de geotecnologias e suas ferramentas de processamento de dados à serviço da Perícia e Auditoria Ambiental, orientado pelas palavras-chaves, de modo que foi possível elencar casos de uso destas geotecnologias com expressivos ganhos em qualidade e confiabilidade de dados. A seleção dos materiais estudados constituiu, então, uma fase preliminar da pesquisa. Não foram excluídos quaisquer trabalhos selecionados previamente.

Foram consultados 28 títulos além do levantamento da legislação específica

aplicada ao uso de geotecnologias em perícias ambientais e gestão ambiental. As obras foram publicadas entre os anos de 2001 e 2016.

Os trabalhos consultados identificaram aspectos ambientais diversos como contaminação do solo, poluição das águas, emissões atmosféricas, etc e demonstram o uso de métodos como sensoriamento remoto, imagens aéreas e processamento de imagens, além de gestão de bancos de dados georrelacionais.

### 3 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para Vieira (2010) pode-se dizer que a função essencial da perícia é estabelecer nexos de causalidade, estabelecendo a existência de ligações entre uma determinada atividade-causa e os resultados verificados como consequências.

Por outro lado, Rocha e Simioni (2005, *apud* Vieira, 2010) observam que a relação entre os conhecimentos jurídicos e técnicos ambientais funciona como dois sistemas independentes que interagem e convergem em determinados pontos, entretanto, cada um apresenta sua linguagem própria, seus princípios e diretrizes. Desta forma, a peça técnica, ou perícia ambiental, é apenas um elemento do processo judicial.

Tancredi *et al.* (2012) demonstra que o desenvolvimento e aplicação de ferramentas adequadas à perícia ambiental tem sido alvo de inúmeros estudos e pesquisas, com destaque para a aplicação das geotecnologias, num estágio avançado de desenvolvimento, permitindo grande acessibilidade de recursos tecnológicos a custos relativamente baixos.

Pacheco (2008) ressalta que estando presente a prova do ato lesivo e a notoriedade do prejuízo causado, poderá o causador ser punido na forma cabível, dispensando as perícias intermináveis, morosas e onerosas.

Assim, diante de uma peça pericial bem argumentada e consubstanciada, a decisão do magistrado acontecerá de maneira objetiva. É possível ainda afirmar que as ferramentas utilizadas, desde que validadas tecnicamente, garantirão elevado nível de segurança às decisões judiciais, eliminando os questionamentos e efetivando a aceitação da prova pelas partes.

#### 3.1 Perícia ambiental

Em seus estudos, Boeira *et al.* (2016) verificaram que é possível aliar geotecnologias aos levantamentos de campo e conseguiram comprovar que após uma cheia, a área alagada pelo Rio Madeira, apesar de superada a máxima cheia prevista, não invadia propriedades particulares, limitando-se à área já desapropriada para implantação da Usina Hidrelétrica Santo Antônio, em Porto Velho - RO.

Ainda segundo Boeira *et al.* (2016), apesar de comprovar que não houve dano

à propriedade particular, um levantamento completo da propriedade em questão utilizando como ferramentas fotos de satélite, *shapefiles* e levantamento topográfico planialtimétrico georreferenciado, associados ao uso regular de um Sistema de Informação Geográfica e softwares de processamentos de dados, demonstrou que o processo prévio de desapropriação resultou em remanescente de módulo fiscal com área inferior ao permitido em Instruções Especiais (IE) expedidas pelo INCRA, sugerindo ao juiz a indenização do imóvel remanescente.

Outrossim, Jensen e Epiphanyo (2011) ressaltam que os dados obtidos por meio de sensoriamento remoto (SR) podem ser gerados por meio de veículos aéreos não tripulados (VANT's), espectrorradiômetros (sensores terrestres) e orbitais (imagens de alta resolução espacial) que possuem instrumentos de sensores ópticos, como câmeras fotográficas aéreas e imageadores multiespectrais e hiperespectrais para obtenção de dados, sendo possível, por exemplo, realizar a análise da composição de um solo em área de difícil acesso através de imagens.

Essa técnica é corroborada por Oliveira *et al.* (2007) ao afirmar que as geotecnologias podem ser utilizadas para apoiar o mapeamento digital de solos por meio de dados obtidos a partir do comportamento espectral decorrente das propriedades físicas, químicas, mineralógicas e biológicas que caracterizam os diferentes tipos de solos, possibilitando levantamento de dados para estudos e perícias. Botteon (2016) completa afirmando que a avaliação do solo por imagens espectrais permite a quantificação de alguns de seus atributos, constituindo um método mais rápido e pouco oneroso, além de gerar menos impactos ao meio ambiente, quando comparado a métodos tradicionais, que podem gerar efluentes tóxicos durante as análises físico-químicas de amostras.

Fica claro que os indicadores apresentados por Botteon (2016) e Oliveira *et al.* (2007) aplicam-se a identificação de áreas degradadas ou contaminadas, sendo necessária a avaliação *in situ* apenas quando já constatada a natureza do dano provocado, para avaliar o potencial de recuperação do solo, por exemplo.

Para Da Franca Fernandes, Baptista e Rodrigues (2009), as geotecnologias se tornaram as principais ferramentas para análise de dados espaciais no tocante à gestão de recursos hídricos. Um conjunto de técnicas computacionais relacionado à coleta, armazenamento e tratamento de informações georreferenciadas tornou-se a base para o fornecimento de ferramentas computacionais para que os usuários analisem evoluções espaciais e temporais de fenômenos geográficos e suas interrelações.

Já Pires *et al.* (2014) defende a necessidade de manter registros georreferenciados periódicos como relevante metodologia de acompanhamento da evolução dos aspectos ambientais aplicados à áreas de estudos definidas. O autores sugerem ainda que a análise das variáveis sobre os impactos ambientais relativas

aos meios físico, biótico e antrópico é que define a realização de um empreendimento garantindo parcialmente a sustentabilidade do ambiente.

Numa abordagem diferente, Fogiato (2006) utilizou mapas clinográficos para definição de áreas de preservação permanente, diferenciando-as e fazendo o correto enquadramento para definição do uso e ocupação do solo de forma mais apropriada, respeitando os normativos estabelecidos. Tais mapas podem ser montados para uma região específica ou mesmo ser adaptado de um levantamento altimétrico mais abrangente. Hofig e Araujo-Junior (2015) sugerem ainda o uso de técnicas de geoprocessamento como a elaboração a partir da carta de declividade originada de imagens orbitais adquiridas pela Missão Topográfica de Radar Transportado – SRTM, da NASA, com uma resolução espacial de 90 m.

Segundo Fornelos e Neves (2007), a utilização de modelos digitais de elevação gerados a partir de imagens de radar interferométrico (SRTM) na geração do fator topográfico (LS), que considera a relação entre o comprimento da encosta e sua declividade, consiste na consagração dos avanços na geração dos produtos de sensoriamento remoto, pois convencionalmente, este fator é gerado a partir de um Modelo Numérico do Terreno (MNT), obtido da digitalização da hipsometria das cartas topográficas, um processo suscetível a erros devido às sucessivas interações necessárias.

Em seus estudos, Lima (2013) comparou métodos de obtenção de dados georreferenciados, analisando as ferramentas matemáticas que compõem a estruturas das decodificações aplicadas, sugerindo que ao longo dos anos, as metodologias sofreram avanços e correções significativas oferecendo cada vez mais resultados fidedignos.

Lima (2013) explica ainda que além dos estudos de campo, são comumente realizadas análises remotas utilizando o levantamento aerofotogramétrico e a imagem ortorretificada, ambos utilizando sistema de projeção UTM e datum SIRGAS 2000. Ressalta entretanto que o uso do Georreferenciamento Expedito 2D não é mais aconselhado, devido a sua baixa qualidade posicional.

Ainda segundo Lima (2013), as análises remotas servem, por exemplo, para determinar o posicionamento de uma área alterada (edificação, desflorestamento, incêndio florestal, extração mineral, poluição, etc.) em relação a áreas protegidas e/ou de interesse da União Federal.

### **3.2 SIG e softwares de processamento**

O termo geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informação geográfica. (CÂMARA e DAVIS, 2001).

Para Rosa (2011), as geotecnologias envolvem desde um conjunto de

tecnologias responsáveis pela coleta de imagens geográficas, como o Sensoriamento Remoto e o Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System – GPS), o armazenamento destes dados em Bancos de Dados Geográficos, até o processamento e análise das informações com a geração de mapas digitais através de SIG.

Com o auxílio de tecnologias de sensoriamento remoto, de SIG e posicionamento via GNSS (GPS), largo espectro de perícias pode ser realizado, diminuindo a duração dos exames de local e ampliando a compreensão de fenômenos associados, em especial, aos crimes ambientais (ALVES *et al.*, 2012).

Sobre o SIG, destaca-se:

A tecnologia SIG vai além dos softwares capazes de realizar mapeamentos de variáveis no espaço a partir de dados pré-elaborados; sua capacidade de associar ao mesmo tempo informações geográficas a um banco de dados multidisciplinar é o que o torna mais poderoso e de grande utilidade potencial (...). O SIG permite estabelecer uma ligação direta e imediata entre um conjunto de dados e sua localização no espaço; sua essência, portanto, consiste na possibilidade de se realizar operações espaciais com as informações disponíveis. (CUNHA e JACOB, 1994 *apud* BASSANEZI, 2016).

Câmara e Monteiro (2001) demonstram que para obtenção de um SIG é preciso que as diversas disciplinas que o compõem sejam capazes de traduzir em números os dados e análises de interesse. Uma vez montado o banco de dados, as fórmulas matemáticas farão a interação entre os dados, gerando a representação gráfica da análise requerida, representando cada um dos pontos de interesse selecionados.

Segundo Davis e Câmara (2001), as ferramentas gráficas que melhor se adaptam às necessidades do SIG são os sistemas CAD (Computer Aided Design). Estas ferramentas têm seu uso bastante consolidado nas áreas de engenharia, arquitetura e semelhantes, e são naturais candidatas a ambientes de produção cartográfica.

Quanto aos softwares de processamento, Rosa (2011) cita o Autodesk Map® como uma das principais ferramentas de produção de mapas em computador. Este produto apresenta as ferramentas do AutoCAD® tradicional num ambiente desenvolvido para profissionais de cartografia. Permite integrar vários tipos de dados e formatos gráficos, possibilitando também fazer análises espaciais.

Já o software Quantum GIS (QGIS) é um sistema de informação geográfica (SIG) gratuito e licenciado sob a General Public License (GNU), portanto se trata de um software livre (ARAGÃO e DA SILVA ARAÚJO, 2014).

Sobre o QGIS, Dos Santos *et al.* (2015) completa, afirmando que o projeto QGIS é o resultado do trabalho voluntário de um grupo de desenvolvedores, tradutores, autores de documentação e pessoas que ajudam no processo de lançamento de novas versões, identificando e divulgando as falhas do programa.

Neste contexto, RapidEye® é uma constelação de 5 micro-satélites que foi lançada no dia 29 de agosto de 2008. É controlada pela empresa RapidEye® AG, localizada em Brandenburg an der Havel, no estado de Brandenburgo, perto de Berlim, na Alemanha. (ARAGÃO e DA SILVA ARAÚJO, 2014).

Ainda sobre o RapidEye®, Aragão e Da Silva Araújo (2014) apontam que as imagens RapidEye® apresentam cinco bandas espectrais, que cobrem uma grande faixa do espectro. Além disso, dispõem da banda Red Edge, localizada entre o vermelho e o infravermelho próximo, e especialmente incluída para auxiliar na discriminação da vegetação e de corpos aquáticos.

Segundo Simon e Trentin (2009) entre os anos de 2004 e 2005, um software desenvolvido pela companhia Keyhole Inc., adquirido e renomeado pelo Google como Google Earth, possibilitou o acesso público a imagens de satélite que cobrem toda a superfície do planeta. Ainda segundo os autores, o programa permitia inicialmente a visualização a partir de imagens do sistema LANDSAT, de forma que apenas alguns lugares do globo, de maior importância econômico-administrativa, podiam ser visualizados por intermédio de imagens de maior resolução espacial, como as do sistema IKONOS e QUICK BIRD.

Corroborando este raciocínio, Oliveira *et al.* (2009) afirma que o Google Earth é o que revoluciona, na contemporaneidade, o processo de disponibilização de produtos cartográficos de forma gratuita. Conforme o site <http://earth.google.com/faq.html> é possível visualizar em diferentes partes do globo, imagens de satélites georreferenciadas (muitas vezes de alta resolução geométrica) caracterizando informações detalhadas como: parques, hospitais, aeroportos, sistemas aquíferos, cadeias de montanhas, florestas, afloramentos, falhas e fraturas, etc.

A regularidade dos imageamentos - média de uma vez ao ano – também chamou a atenção de pesquisadores vinculados a geografia, que passaram a adotar as imagens como fonte de localização e instrumento de ensino (GONÇALVES *et al.* 2007).

Ainda sobre softwares de processamento de dados, Dos Santos *et al.* (2015) afirma que o TerraView é um aplicativo construído sobre a biblioteca de geoprocessamento TerraLib, tendo como principais objetivos: apresentar à comunidade um fácil visualizador de dados geográficos com recursos de consulta a análise destes dados e exemplificar a utilização da biblioteca TerraLib.

Dos Santos *et al.* (2015) descreve ainda o TerraView como uma ferramenta que manipula dados vetoriais (pontos, linhas e polígonos) e matriciais (grades e imagens), ambos armazenados em Sistema Gerenciador de Bancos de Dados relacionais ou georrelacionais de mercado, incluindo ACCESS, PostgreSQL, MySQL, Oracle, SQLServer e Firebird.

Em uma aplicação prática, os autores relatam que foi possível comprovar um

crime ambiental através das imagens RapidEye® armazenadas no Geo Catálogo do Ministério do Meio Ambiente, nos anos de 2011, 2012 e 2013, conforme Figura 1, corroborando mais uma vez o conceito de apoio e evolução prestados pela geotecnologias às perícias e investigações ambientais.

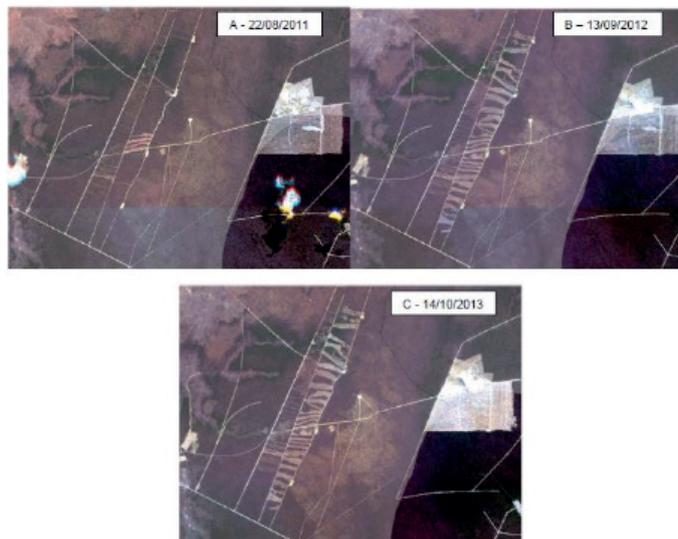


Figura 1 – Crescimento de área desmatada entre 2011 e 2013.

Fonte: Aragão e Da Silva Araújo (2014).

Segundo Dona, Da Silva e Fensterseifer (2012) para o processamento de imagens de satélite, desponta um importante aplicativo computacional brasileiro conhecido como SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), que é um SIG com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais.

Para Vendrusculo, Oliveira e Silva (2008), na última década, vem crescendo a disponibilidade de ferramentas para disseminação de dados geoespaciais, principalmente sob o paradigma do código livre ou open source. Surge uma nova classe de aplicativos denominada GEOFOSS1, a qual reúne sistemas gerenciadores de banco de dados geográficos, servidores de mapas, de catálogos e Web Service.

#### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se nesta pesquisa grande taxa de sucesso na utilização de geotecnologias para avaliações em perícias e investigações ambientais, demonstrando também a evolução das técnicas utilizadas ao longo dos anos.

Ficou caracterizada a modernização dos bancos de dados como um todo, passando de físico, nos mapas e cartas diversos, ao digital georreferenciado e até em tempo real.

É cada vez mais pujante a necessidade não só de periciar o fato ocorrido, mas

acompanhar seu desenvolvimento e possibilitar a intervenção minimizando danos de maior monta. Nesse aspecto, as imagens de satélite são essenciais para através de sistemas de processamento evidenciar o surgimento de irregularidades.

Investir na utilização de SIG e ferramentas de processamento de dados mais potentes e eficientes é um dever da sociedade organizada e dos governos, procurando o equilíbrio entre o crescimento populacional – e os impactos causados em função dele – e a preservação e manutenção das boas condições do meio ambiente.

Como elemento de embasamento para decisões judiciais, laudos periciais precisam comprovar os fatos observados, registrando sua magnitude, e devem contar, para isso, com as geotecnologias como SIG, GPS, GNSS e suas ferramentas de processamentos, como RapidEye, AutodeskMap, SPRING, Google Earth entre outros.

Grandes resultados vem sendo obtidos com o emprego de geotecnologias, como os relatados por Aragão e Da Silva Araújo (2014), sobre o emprego do SIG com imagens RapidEye pelo Ministério Público Estadual no Piauí, que conseguiu constatar que a degradação ambiental de uma determinada área, embora cessada, teve grande aumento após a ordem judicial de interrupção do dano, sendo possível punir com mais severidade os criminosos.

Além disso, Bassanezi (2016) afirma ter utilizado com sucesso o processamento do Google Earth para otimizar o acompanhamento da ocupação do solo de municípios de pequeno porte no estado de São Paulo. E Dona, Da Silva e Fensterseifer (2012) afirmaram ser possível atender municípios da região central do rio Grande do Sul em suas necessidades relativas ao planejamento e desenvolvimento econômico, como base em um sistema de informações geográficas.

Por fim, fica nítida a eficiência das técnicas apresentadas e pode-se observar que o desenvolvimento de novas técnicas de baixo custo e em versões livres permite o acesso de especialistas, comunidade e governantes às informações e aos softwares de processamento.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Josimar Ribeiro de; OLIVEIRA, Simone Gomes de; PANNO, Marcia. Perícia ambiental. In: **Perícia ambiental**. Thex, 2003.

ALVES, R. A. L.; RUSSO, D.; MAGLIANO, M. M.; BLUM, M. L. B.. Fundamentos de geoprocessamento aplicado a perícia. In: TOCCHETTO, D.. **Perícia ambiental criminal**. 2 ed. Campinas: Millennium Editora, 2012.

ARAGÃO, Faruk Moraes; DA SILVA ARAÚJO, Francisco de Assis. Sensoriamento remoto na perícia ambiental do Ministério Público do Estado do Piauí: estudo de caso. **Engineering Sciences**, v. 2, n. 1, p. 17-28, 2014.

BASSANEZI, Maria Silvia C. Beozzo. População, imigração e propriedade da terra—procedimentos de

- pesquisa. **Anais XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais**, ABEP, realizado em Caxambú-MG – Brasil, p. 1-16, 2016.
- BOEIRA, Anielise Santos *et al.* Uso de geoprocessamento como ferramenta para Perícia Ambiental de uma área atingida pela enchente do Rio Madeira. **Revista Farociência**, v. 1, n. 1, p. 214-219, 2016.
- BOTTEON, Victor Wilson. Aplicabilidade de ferramentas de geotecnologia para estudos e perícias ambientais. **Revista Brasileira de Criminalística**, v. 5, n. 1, p. 7-13, 2016.
- CÂMARA,G.; DAVIS, C. Introdução. In CÂMARA G.; DAVIS, C; MONTEIRO, A.M.V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 2001. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>> Acesso em: 02 jan. 2018.
- CÂMARA,G.; MONTEIRO, A.M.V. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. In CÂMARA G.; DAVIS, C; MONTEIRO, A.M.V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 2001. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>> Acesso em: 02 jan. 2018.
- DA FRANCA FERNANDES, Vladimir; BAPTISTA, Juliana Vasconcellos; RODRIGUES, Suelen Oliveira Alpino. Geotecnologias aplicadas à espacialização de pontos de outorgas no Estado do Rio de Janeiro. **Anais II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade**, Taubaté, Brasil, 09-11 dezembro 2009, IPABHi, p. 41-48.
- DAVIS, C ; CÂMARA,G.; Arquitetura de sistemas de informação geográfica. In CÂMARA G.; DAVIS, C; MONTEIRO, A.M.V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 2001. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>> Acesso em: 02 jan. 2018.
- DONA, Paulo César Baisch; DA SILVA, Rafael Franco; FENSTERSEIFER, Sandro Luciano Barreto. Determinação do desmatamento através da classificação digital de cenas do Satélite Landsat 5. **Disciplinarum Scientia Naturais e Tecnológicas**, v. 13, n. 2, p. 151-158, 2012.
- DOS SANTOS, Hélder Gramacho *et al.* Análise exploratória espacial dos preços das terras agrícolas no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 3, n. 1, p. 2-11, 2015.
- FOGIATO, Sonia Mari *et al.* **Geotecnologias Aplicadas À Área Ambiental: Estudo De Caso Nas Microbacias Hidrográficas Da Sanga Da Taquara E Do Arroio Inhamandá No Município De São Pedro Do Sul-Rs**. 2006.
- FORNELOS, Leonardo Franklin; NEVES, S. M. A. S. Uso de modelos digitais de elevação (MDE) gerados a partir de imagens de radar interferométricos (SRTM) na estimativa de perdas de solo. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 1, p. 25-33, 2007.
- GONÇALVES, Amanda Rodrigues *et al.* Analisando o uso de Imagens do “Google Earth” e de mapas no ensino de geografia. **Ar@cne-Revista electrónica de recursos en Internet sobre Geografía y Ciencias Sociales**. Barcelona: Universidad de Barcelona, n. 97, 2007.
- HÖFIG, Pedro; ARAUJO-JUNIOR, Cezar Francisco. Classes de declividade do terreno e potencial para mecanização no estado do Paraná. **Coffee Science**, v. 10, n. 2, p. 195-203, 2015.
- JENSEN, John R.; EPIPHANIO, José Carlos Neves. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Parêntese, 2011.
- LIMA, César Augusto de Freitas *et al.* **Correções geométricas para a utilização de imagens em perícias criminais ambientais**. 2013.
- OLIVEIRA, M. Z. de *et al.* Imagens do Google Earth para fins de planejamento ambiental: uma análise de exatidão para o município de São Leopoldo/RS. **IV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento**

Remoto-SBSR, v. 1, p. 1835-1842, 2009.

OLIVEIRA, U. F. U. *et al.* **Caracterização de indicadores da erosão do solo em bacias hidrográficas com o suporte de geotecnologias e modelo predictivo.** 2007.

PACHECO, Cristiano de Souza Lima. **O dano ambiental potencial.** 2008.

PIRES, Eduardo Vinícius Rocha *et al.* Geotecnologias aplicadas a qualidade ambiental dos afluentes do sistema bacia hidrográfica do rio Sucuriú que sofrem influência direta de pequenas centrais hidroelétricas (PCHs)–MS. **Anais I Simpósio Mineiro de Geografia**, Alfenas 26 a 30 de maio de 2014.

ROSA, Roberto. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 81-90, 2011.

SIMON, Adriano Luís Heck; TRENTIN, Gracieli. Elaboração de cenários recentes de uso da terra utilizando imagens do Google Earth. **Ar@cne: revista electrónica de recursos en internet sobre geografía y ciencias sociales**, 2009.

TANCREDI, Nicola Saveiro Holanda *et al.* Uso de geotecnologias em laudos periciais ambientais: estudo de caso no município de Jacundá, Pará. **Revista Geografar**, v. 7, n. 1, 2012.

VENDRUSCULO, Laurimar Gonçalves; OLIVEIRA, SR de M.; SILVA, J. Tecnologia Web para suporte ao licenciamento ambiental. **Embrapa Informática Agropecuária-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2008.

VIEIRA, Karina de Vasconcelos. **Perícia judicial ambiental: conhecimentos técnicos e jurídicos como suporte para tomada de decisão.** 2010.

## ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRA DE POLIPROPILENO NA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO EM RELAÇÃO À RESISTÊNCIA À RETRAÇÃO POR SECAGEM

Data de aceite: 11/12/2019

Data de submissão: (02/11/2019)

**Jonatha Roberto Pereira**

Centro Universitário Unimetrocamp Wyden  
Campinas – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/4907308156626023>

**Mariana Cristina Buratto Pereira**

Centro Universitário Unimetrocamp Wyden  
Campinas – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/4738625123871968>

**RESUMO:** Existem atualmente diversos trabalhos que analisam a influência mecânica da adição de fibras naturais e sintéticas em compósitos cimentícios na construção civil. Dentre todas as fibras analisadas destaca-se a fibra de polipropileno devido ao seu baixo custo de aquisição e suas propriedades físicas. Durante essa pesquisa buscou-se analisar a influência das fibras de polipropileno tanto na argamassa convencional de areia e cimento quanto em argamassa pronta, em relação a retração por secagem. O estudo é de grande relevância para o meio acadêmico visto a necessidade de se criar alternativas para combater uma patologia comum nas edificações que é o aparecimento de fissuras em argamassa de revestimento e também para o desenvolvimento de uma norma que regulamente os testes e padronize

metodologias nesse campo de pesquisa. Para análise experimental foi utilizado argamassa convencional de cimento (1:2,06:0,60) com adição de diferentes teores de fibras (0,1% e 0,5%) e depois utilizou-se os mesmos percentagem de fibras na argamassa pronta. Ambas as análises foram comparadas a uma argamassa de referência sem a utilização de fibras. Após as análises dos ensaios mecânicos, os testes concluíram que a utilização da fibra de polipropileno em argamassas é viável e contribuem de forma favorável para o ganho de resistência mecânica. E o objetivo de avaliar o comportamento mecânico da argamassa convencional e da argamassa pronta com adição de diferentes teores de fibras de polipropileno em relação à retração por secagem foi atendido. **PALAVRAS-CHAVE:** Argamassa. Retração. Fissuras. Fibras de Polipropileno.

### ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF ADDITION OF POLYPROPYLENE FIBER ON COATING MORTAR WITH RESISTANCE TO DRY RETRACTION

**ABSTRACT:** There are currently several works that analyze the mechanical influence of the addition of natural and synthetic fibers in cement composites in civil construction. Among all the analyzed fibers stands the polypropylene fiber due to its low cost of acquisition and its physical

properties. During this research, the influence of polypropylene fibers in both conventional sand and cement mortar and in ready-mixed mortar in relation to the drying retraction was investigated. The study is of great relevance for environment science since it is necessary to create alternatives to combat a common pathology of buildings such as the appearance of cracks in coating mortar and for the development of a standard that regulates the tests and standardizes methodologies in that research field. Experimental analysis, conventional mortar was used (1:2,06:0,60) changing the composition with different fiber contents (0.1% and 0.5%) we then used the same percentage of fibers in the ready mortar. These analyzes were then compared to a reference mortar without the addition of fibers. After analysis of the mechanical tests, the tests concluded that the use of polypropylene fiber in mortars is viable and contributes favorably to the gain of mechanical strength. And the objective of evaluating the mechanical behavior of conventional mortar and ready mortar with addition of different polypropylene fiber contents in relation to the drying retraction was met.

**KEYWORDS:** Mortar. Retraction. Cracks. Polypropylene Fibers

## 1 | INTRODUÇÃO

Os revestimentos argamassados representam importante parcela no orçamento de uma construção. Fiorito (2003) mostra que cerca de 10% a 30% do gasto total de uma edificação está relacionado aos revestimentos argamassados. Ainda segundo o autor, para que as funções do revestimento ocorram de forma eficaz, ele precisa apresentar um conjunto de propriedades, tanto no estado fresco (quando a argamassa pode ser trabalhada) quanto no estado endurecido (depois de seca). Se ocorrer alguma falha em alguma dessas propriedades, podem ocorrer problemas patológicos.

Considerações apresentadas por Silva (2011) ressalta que é muito comum encontrar manifestações patológicas em revestimentos argamassados, principalmente na forma de fissuras causadas pelos processos de retração plástica e por secagem.

Segundo Centofante e Dagostini (2014) uma das formas de combater os surgimentos de fissuras em argamassas é a adição de fibras sintéticas pode funcionar como barreiras à propagação dessas fissuras. Dentre essas fibras sintéticas, se destacam as fibras de polipropileno.

É necessário avaliar a influência dessa fibra quando adicionada a argamassa de revestimento, bem como, qual teor deve ser acrescentado, para que possa resultar em um bom desempenho e assim evitar o desenvolvimento de fissuras. A presente pesquisa tem o intuito de analisar o potencial de surgimento de fissuras em argamassas e a contribuição das fibras de polipropileno no combate ao surgimento das fissuras..

## 2 | OBJETIVO GERAL

O presente estudo tem como objetivo avaliar a influência da adição de fibras de polipropileno adicionada na produção de argamassas de revestimento preparadas “in loco” e argamassas prontas ao combate de surgimentos de fissuras sob o efeito da retração por secagem, comparando-a com argamassas sem utilização de fibras e apresentar os resultados obtidos através de ensaios laboratoriais, a fim de obter um melhor desempenho ao compósito.

## 3 | MÉTODO

A metodologia foi dividida em 4 momentos, caracterização dos materiais, produção da argamassa, ensaios e análise dos resultados, conforme apresentado na Figura 01.



Figura 1 - Fluxo da metodologia.

Após a caracterização dos materiais foi elaborado um traço de análise como referência, foi baseado em um traço plástico, ou seja, com relação água/cimento maior. Sua composição é de 1:2,06:0,60, respectivamente, cimento, areia e água como apresentado na figura 02.



Figura 2 – Composição dos materiais para produção da argamassa.

A adição das fibras de polipropileno foi realizada nas proporções de 0,1% e 0,5% em relação ao volume da placa, sendo obtidos os resultados de 2,025 e 12,15 gramas, respectivamente.

Para elaboração do traço de argamassa pronta foi somado o peso da areia e do cimento, que foram utilizados para o traço da argamassa convencional, e o resultado dessa soma. Após a rodagem do traço, o material foi colocado nas placas, a argamassa foi nivelada, e em seguida foram colocadas dentro da estufa e em frente ao ventilador, conforme procedimentos apresentados na ASTM C1579:2013 com demonstrado na figura 03. Se passando 24 horas as placas foram retiradas dos locais de teste e foram medidas as fissuras utilizando réguas fissurumetras.



Figura 3 – A) secagem por vento; B) secagem na estufa com variação da temperatura; C) exemplo de placa fissurada.

#### 4 | RESULTADOS

Para esse ensaio foram realizados seis traços: argamassa convencional de referência, com adição de 0,1% e 0,5% de fibras de polipropileno, e argamassa pronta de referência, com adição de 0,1% e 0,5% de fibras. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 01 e 02.

ÁREA DE FISSURAÇÃO								
TRAÇO	ARGAMASSA CONVENCIONAL (Exposta ao vento)		ARGAMASSA CONVENCIONAL (Secagem na estufa)		ARGAMASSA PRONTA (Exposta ao vento)		ARGAMASSA PRONTA (Secagem na estufa)	
	Referência	24,84	mm <sup>2</sup>	50,27	mm <sup>2</sup>	225,81	mm <sup>2</sup>	141,07
0,1%	1,12	mm <sup>2</sup>	47,59	mm <sup>2</sup>	60,98	mm <sup>2</sup>	11,91	mm <sup>2</sup>
0,5%	0	mm <sup>2</sup>	0	mm <sup>2</sup>	6,15	mm <sup>2</sup>	1,09	mm <sup>2</sup>

Tabela 01 - Resultados da área de fissuração do ensaio de retração.

RETRAÇÃO LATERAL								
TRAÇO	ARGAMASSA CONVENCIONAL (Exposta ao vento)		ARGAMASSA CONVENCIONAL (Secagem na estufa)		ARGAMASSA PRONTA (Exposta ao vento)		ARGAMASSA PRONTA (Secagem na estufa)	
	Referência	0,3	mm	0,25	mm	0,2	mm	0
0,1%	0,25	mm	0,35	mm	0	mm	0	mm
0,5%	0	mm	0	mm	0	mm	0	mm

Tabela 02 - Resultados de retração lateral do ensaio de retração.

Os resultados no estado endurecidos estão apresentados nas tabelas 03 e 04.

COMPRESSÃO AXIAL								
TRAÇOS	ARGAMASSA CONVENCIONAL				ARGAMASSA PRONTA			
	7 dias		28 dias		7 dias		28 dias	
Referência	1,95	Mpa	3,51	MPa	1,20	MPa	1,77	MPa
0,1%	2,21	Mpa	3,75	MPa	1,40	MPa	1,90	MPa
0,5%	3,02	Mpa	3,64	MPa	1,28	MPa	2,04	MPa

Tabela 03 - Resultados do ensaio de compressão axial.

TRAÇÃO NA FLEXÃO								
TRAÇOS	ARGAMASSA CONVENCIONAL				ARGAMASSA PRONTA			
	7 dias		28 dias		7 dias		28 dias	
Referência	0,57	Mpa	0,63	MPa	0,36	MPa	0,44	MPa
0,1%	0,60	Mpa	0,94	MPa	0,37	MPa	0,77	MPa
0,5%	0,62	Mpa	0,81	MPa	0,42	MPa	0,62	MPa

Tabela 04 - Resultados do ensaio de tração na flexão.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensaio de retração realizado com 0,5% de adição de fibras foi o que obteve um melhor resultado, diminuindo em 100% as fissuras nas placas com argamassa convencional e média de 98% nas placas de argamassa pronta. Assim, podemos concluir que, a adição da fibra de polipropileno atua positivamente, ajudando

a manter as características ideais segundo a norma brasileira. No ensaio de compressão axial todos os resultados dos traços com adição de fibras obtiveram uma resistência um pouco maior do que o traço de referência. No ensaio de tração na flexão os resultados dos traços com adição de fibras de polipropilenos obtiveram um aumento significativo na resistência em comparação ao traço de referência, tanto para argamassa convencional quanto para argamassa pronta.

A partir das conclusões é possível afirmar que a utilização da fibra de polipropileno em argamassas é viável e contribuem de forma favorável para o ganho de resistência mecânica, tanto a compressão quanto a tração, e principalmente ao combate as fissuras causadas por retração por secagem, seja ela pela ação do vento ou do calor.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOT TESTING AND MATERIALS, ASTM C1579: **Standard test method for evaluating plastic shrinkage cracking of restrained fiber reinforced concrete (using a steel form insert)**. Philadelphia, USA, 2013. 7p.

CENTOFANTE, G.; DAGOSTINI, C. M.; **Análise das propriedades de argamassas de revestimento com adição de fibras de polipropileno**. 10f. Artigo, Unoesc & Ciência - ACET, Joaçaba, p. 7-16, Edição Especial 2014

FIORITO, A. J. S. I.; **Manual de Argamassas e Revestimentos**. 1ª Ed., PINI , São Paulo,2003.

SILVA, N. G.; **Avaliação da retração e da fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

## ESTUDO DA DOSAGEM DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE POLIAMIDA E POLIETILENO PARA UTILIZAÇÃO EM PAREDES DE CONCRETO

Data de aceite: 11/12/2019

Data de submissão: (04/11/2019)

### Alexandre Rodriguez Murari

Faculdades Integradas Einstein de Limeira – FIEL  
Limeira - São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/0768654046027780>

### Alysson Gethe Gonçalves de Oliveira

Faculdades Integradas Einstein de Limeira – FIEL  
Limeira - São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/1217769089735375>

### Daiane Cristina Silva Fernandes

Faculdades Integradas Einstein de Limeira – FIEL  
Limeira - São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/2690765478299189>

### Hagar da Silva

Faculdades Integradas Einstein de Limeira – FIEL  
Limeira - São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/0029356740934293>

### Victor José dos Santos Baldan

Faculdades Integradas Einstein de Limeira – FIEL  
Limeira - São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/5714966948798458>

**RESUMO:** O concreto em suas mais diversas aplicações é o material mais utilizado na construção civil, devido às suas propriedades mecânicas como elevada resistência à compressão, durabilidade e rigidez. Para melhorar a resistência à tração e a tenacidade,

podem ser adicionadas ao concreto fibras, pois atuam como pontes de transferência de tensões através das fissuras, suprimindo assim as deficiências da matriz. Desta forma, esse trabalho teve como objetivo estudar as dosagens e propriedades do concreto convencional reforçado com fibras de poliamida e de polietileno, apresentando as vantagens de utilização no concreto. Os resultados obtidos foram a partir de ensaios mecânicos realizados por meio de ensaios de compressão simples, compressão diametral, e absorção de água de cada dosagem. Verificou-se um aumento na resistência a tração nos traços de concreto reforçado com fibras de poliamida e de polietileno.

**PALAVRAS-CHAVE:** concreto, concreto reforçado com fibras, fibras poliméricas, construção civil.

### STUDY OF CONCRETE DOSAGE REINFORCED WITH POLYAMIDE AND POLYETHYLENE FIBERS FOR USE ON CONCRETE WALLS

**ABSTRACT:** Concrete in its most diverse applications is the most used material in construction, due to its mechanical properties such as high compressive strength, durability and rigidity. To improve tensile strength and toughness, fibers can be added to the concrete

as they act as stress transfer bridges across the cracks, thus addressing the matrix deficiencies. Thus, this work aimed to study the dosages and properties of conventional concrete reinforced with polyamide and polyethylene fibers, presenting the advantages of use in concrete. The results were obtained from mechanical tests performed by simple compression tests, diametral compression, and water absorption of each dosage. There was an increase in tensile strength in the traces of reinforced concrete made of polyamide and polyethylene.

**KEYWORDS:** concrete, fiber-reinforced concrete, polymer fibers, construction.

## 1 | INTRODUÇÃO

O concreto é atualmente o material de construção mais utilizado no mundo, o mesmo está presente há muito tempo, sendo o segundo item mais utilizado em construções, sendo a água o primeiro item mais utilizado. (ISAIA, 2005)

Antigamente era muito utilizada a pedra como material de construção. (BOTELHO; MARCHETTI, 2015). A busca por um material que ligasse alvenarias de pedra fez com que a civilização romana utilizasse argila e cal como aglomerantes. (GUIMARÃES, 1997).

Esses descobrimentos impulsionaram a engenharia romana e possibilitaram adotar um novo material de construção, o *Opus Caementicium*. Este, também conhecido como *caementum*, tem em sua composição uma cinza pozzolânica que quando misturada à argamassa de cal, produz um material que tem características semelhantes ao cimento atual. (GUIMARÃES, 1997)

As cinzas Pozzolânica é uma mistura de pozzonalas naturais e industriais com cimento, as mesmas são rochas de origem vulcânica. A pozzolana é um material que contém grande concentração de silício e alumínio sem características aglomerantes.

Os romanos nomearam de *concretus* ou *concretum* as pedras que eram ligadas por *caementum*, dessa forma ficou conhecido como o concreto romano (GUIMARÃES, 1997).

Foi evidente o desenvolvimento tecnológico do concreto no período do Império Romano, porém esse conhecimento ficou esquecido no decorrer da Idade Média e tão somente foi resgatada em meados do século XVIII.

Desde o período romano foram criados uma infinidade de tipo de concreto, para se adequar com os mais diversos tipos de construções. Os mesmos têm em sua composição uma imensa gama de cimentos, agregados e aditivos. O grande uso do concreto se dá ao fácil manuseio enquanto fresco e resistência após endurecido.

Enquanto fresco, o concreto apresenta maleabilidade e trabalhabilidade, se adequando a diversos formatos e moldes. Em seu estado endurecido, o concreto apresenta resistência mecânica, durabilidade e resistência a intempéries e ação da

água.

Para obterem um resultado satisfatório é necessário se atentar a escolha adequada dos materiais, a elaboração do traço, a homogeneização, a aplicação e a cura correta da estrutura.

Atualmente usa-se o concreto em inúmeros setores, pois é um material de grande resistência e grandemente difuso, sendo encontrado nas construções de rodovias, de casas de alvenarias, de pontes, nos mais altos edifícios, nas usinas nucleares e hidrelétricas, até mesmo nas plataformas de extração de petróleo.

A utilização de fibras para reforço de estruturas remonta a época dos Romanos e Egípcios, mas era utilizada em argila. A utilização de fibras em estruturas de concreto com significativa importância começou somente na metade do século passado. (LINTZ e CARNIO, 2009)

Fibras são utilizadas por terem grande capacidade de absorção de energia, ductilidade, controle de fissuração e resistência às ações dinâmicas, de fadiga e de impacto. Sendo assim elas suprem necessidades de algumas deficiências do concreto. As fibras são fabricadas a partir de diversos tipos de materiais: metálicas, cerâmicas, poliméricas sintéticas ou naturais (FIGUEIREDO, 2011).

O concreto padrão apresenta um desempenho baixo quando submetidos a esforços de tração e tenacidade, não apresentando praticamente nenhuma deformação plástica, isso comparado ao concreto com fibras.

Sendo assim, as fibras quando adicionadas ao concreto aumentam significativamente a resistência à tração e tenacidade do concreto em estado endurecido, já que as fibras atuam como um meio de transferir tensões através das fissuras, suprimindo assim as deficiências que o concreto simples apresenta (FIGUEIREDO, 2011).

Existe inúmeros tipos de fibras que podem ser empregues, de acordo com as necessidades específicas de cada estrutura. As fibras se diferenciam entre si e cada uma tem suas características, desde o seu procedimento de composição química e física, forma, características mecânicas, resistência a meios agressivos, fabricação, entre outros. (FIGUEIREDO, 2011).

Paredes de concreto são um sistema construtivo racionalizado, que permite fazer um planejamento completo e detalhado da obra. Com mão de obra qualificada e maior produção em menos tempo, melhoram os indicadores de produtividade e custo. Esse tipo de parede pode ser empregado em edificações com vários pavimentos e é um tipo de construção mais sustentável, limpo, versátil, isolante, além de ter patologias e custos reduzidos.

Este estudo faz a comparação entre dosagens de concreto simples, concreto com fibras de poliamida e concreto com fibras polietileno, apresentando os resultados de ensaio em laboratório de cada tipo de dosagem e suas vantagens e visa aplicar

o concreto com fibras em edificações com paredes de concreto.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

Para confecção dos corpos de prova para a realização dos ensaios foram utilizados os equipamentos do Laboratório de Materiais de Construção das Faculdades Integradas Einstein de Limeira. Foi utilizado o cimento Portland CP2 – Z32.

Com base em Pereira (2005) foram utilizados os seguintes traços:

- Sem fibras (referência): **1:2,85:3,15** com relação **água/cimento de 0,60**;
- Com fibras de poliamida: **1:2,85:3,15** com relação **água/cimento de 0,60** e **0,6% de fibras** em volume;
- Com fibras de polietileno: **1:2,85:3,15** com relação **água/cimento de 0,60** e **0,6% de fibras** em volume.

Foram confeccionados 12 corpos de prova para cada traço, sendo 6 por traço para realização dos ensaios de compressão simples e 6 por traço para realização dos ensaios de compressão diametral para obtenção da resistência a tração. A Figura 1 ilustra as etapas de confecção e cura dos corpos de prova.



Figura 1 – Moldagem e cura dos corpos de prova

Fonte: Autores (2019)

### 2.1 Concreto padrão

Conforme Pinheiro (2012) o concreto é uma mistura uniforme de cimento com agregados graúdos e miúdos, ou seja, argamassa e agregado graúdo (cimento, água, areia e pedra).

Em seu estado endurecido, o concreto simples, em geral, apresenta resistência a compressão, baixa resistência a tração, e seu comportamento é frágil, rompendo com pequenas deformações.

O ensaio em laboratório realizado para este estudo possui as características de agregado graúdo com diâmetro de 19mm, agregado miúdo com diâmetro de 9,5mm,

e traço 1:2,85:3,15 com relação água/cimento igual a 0,60.

## 2.2 Concreto reforçado com fibras de poliamida

As fibras de poliamida são constituídas por um polímero sintético. As mesmas estão divididas em dois tipos segundo a origem do polímero, que pode ser a poliamida 6 ou a poliamida 6.6, sendo também conhecidas como náilon.

O ensaio em laboratório realizado para este estudo possui as características de agregado graúdo com diâmetro de 19mm, agregado miúdo com diâmetro de 9,5mm, e traço 1:2,85:3,15 com relação água/cimento igual a 0,60 e porcentagem de fibras em volume igual a 0,6%.

## 2.3 Concreto reforçado com fibras de polietileno

O politereftalato de etileno (PET) é um dos poliésteres mais conhecidos, usado na atualidade como material de constituição das garrafas plásticas do tipo “PET”.

Todavia as fibras de polietileno, de peso molecular normal, têm um módulo de elasticidade baixo, são altamente resistentes aos álcalis e fracamente aderidas à matriz cimentícia.

O ensaio em laboratório realizado para este estudo possui as características de agregado graúdo com diâmetro de 19mm, agregado miúdo com diâmetro de 9,5mm, e traço 1:2,85:3,15 com relação água/cimento igual a 0,60 e porcentagem de fibras em volume igual a 0,6%.

## 2.4 Ensaaios

### 2.4.1 Ensaaios de compressão simples

O ensaio de compressão simples é a característica mecânica mais importante. Para estimá-la, são moldados e preparados corpos de prova segundo a NBR 5738 – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto (ABNT, 2018), sendo estes utilizados no ensaio de acordo com a NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2003).

Este ensaio é feito pelo método de compressão axial. Após a moldagem do corpo de prova, ele é armazenado em câmara úmida até atingir a sua resistência característica no 28º dia. Após esse tempo, o corpo de prova é encaminhado para o rompimento. A máquina universal de ensaios exerce uma força gradual de compressão sobre o corpo de prova até que o mesmo venha a romper.

Após o ensaio de vários corpos de prova, obtém-se o gráfico com a Curva Estatística de Gauss, onde se encontram a resistência média do concreto à compressão e resistência característica do concreto à compressão.

### 2.4.2 Ensaio de compressão diametral

Este ensaio, desenvolvido por Lobo Carneiro em 1943, e conhecido internacionalmente como Ensaio Brasileiro.

Para a sua realização são moldados e preparados corpos de prova segundo a NBR 5738 – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto (ABNT, 2018). O procedimento do ensaio é descrito na norma NBR 7222 - Concreto e argamassa: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2011). Os corpos de prova são colocados com o eixo horizontal entre pratos da máquina de ensaio, e o contato entre o corpo de prova e os pratos deve ocorrer somente ao longo de duas geratrizes, onde são colocadas tiras de madeira padronizadas, sendo aplicada uma força até a ruptura devido a tração indireta.

Nesse ensaio a seção de ruptura é fixada pelas condições de ensaio, obtendo-se o valor da resistência a tração por compressão diametral, gerando um gráfico Tensão x Distância a partir do topo, e absorção de água.

## 3 | RESULTADOS

Os resultados dos ensaios de resistência a compressão simples, resistência a compressão diametral (tração) e absorção de água seguem no Quadro 1.

Resultados	Sem fibras	Com fibras de Poliamida	Com fibras de Polietileno
Resistência a compressão simples – $f_{c,28}$ (Mpa)	32,2	26,8	26,6
Resistência a compressão diametral (tração) – $f_{t,28}$ (Mpa)	5,0	5,3	5,2
Absorção de água (%)	2,3	2,2	2,2

Quadro 1 – Resultados dos ensaios

Fonte: Autores (2019)

Os corpos de prova permaneceram em processo de cura submersos em água por um período de 25 dias. Os ensaios de compressão simples e compressão diametral (tração) foram realizados após 28 dias da moldagem dos corpos de prova.

## 4 | CONCLUSÃO

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão, de resistência à compressão diametral e de absorção de água com os corpos de prova confirmam as

resistências médias esperadas para os traços utilizados. Desta forma, estes traços podem ser considerados adequados para a avaliação das propriedades mecânicas dos corpos de prova com fibras de poliamida e polietileno.

A análise dos resultados dos ensaios de resistência a compressão diametral para obtenção da resistência a tração indica que a adição de fibra polimérica, poliamida e polietileno, ao concreto proporciona aumento na resistência à tração na flexão, e uma menor absorção de água. Em contrapartida houve um decréscimo na resistência a compressão simples (axial) dos traços com adição de fibras poliméricas em relação ao traço sem fibras.

Pode-se concluir que as fibras atuam como pontes de transferência de tensões, conferindo maior tenacidade e tornando o comportamento do concreto semelhante ao de um material dúctil.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. NBR 5739: **Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

\_\_\_\_\_. NBR 7222: **Concreto e argamassa: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011.

BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto Armado Eu Te Amo**. 1v. São Paulo, 2015.

CARNIO, M. A. **Propagação de Trinca por Fadiga do Concreto Reforçado com Baixos Teores de Fibra**. 2009. 145 p. Tese (Doutorado), Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

CARNIO, M. A.; LINTZ, R. C.C. **Concreto Projetado Reforçado com Fibras aplicado no revestimento de encostas**, 2009.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com Fibras**. Ed. G. C. Isaia. 1 ed., 2v. cap. 39, p.1195-1226. São Paulo: IBRACON, 2005.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto Reforçado com Fibras**. 2011. 248p. Tese (Livre docência), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

GUIMARÃES, J. E. P. **A CAL: Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil**. São Paulo: Pini, 1997.

ISAIA, Geraldo C. **Concreto: Ensino pesquisa e realizações**. 1v. 792p. São Paulo: IBRACON, 2005.

PEREIRA, C. H. A. F. **Avaliação da influência da adição de fibras sintéticas ao concreto quanto ao ingresso de íons cloreto**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Estrutura e Construção Civil, UnB, Brasília, 2005.

PINHEIRO, L. M. **Estrutura de concreto**. São Paulo, 2012.

## UTILIZAÇÃO DE CHAMOTE COMO ADITIVO EM MASSAS DE CERÂMICA VERMELHA PARA A PRODUÇÃO DE BLOCOS DE VEDAÇÃO

*Data de aceite: 11/12/2019*

*Data de submissão: (02/11/2019)*

### **Celiane Mendes da Silva**

Centro Universitário Tiradentes

Maceió - Alagoas

<http://lattes.cnpq.br/5344856001964638>

### **Talvanes Lins e Silva Junior**

Centro Universitário Tiradentes

Maceió - Alagoas

<http://lattes.cnpq.br/6161318722252594>

### **Erika Paiva Tenório de Holanda**

Centro Universitário Tiradentes

Maceió - Alagoas

<http://lattes.cnpq.br/9188685757826433>

**RESUMO:** Na indústria de cerâmica vermelha brasileira, após a etapa de queima e expedição, uma quantidade significativa de peças é descartada como resíduo de tal processo. O descarte desse resíduo, denominado chamote, tem sido realizado de forma inapropriada na natureza devido à falta de aterros para sua deposição final, o que corrobora com graves impactos ambientais. Em vista disso, tem-se como método de reaproveitamento do chamote a sua incrementação na produção de massas de cerâmica vermelha, sendo dosado junto com a matéria prima. O presente trabalho visa a análise da viabilidade do uso do chamote

como aditivo em massas de cerâmica vermelha destinadas à produção de blocos de vedação. O estudo utilizou de resultados obtidos em ensaios constantes da literatura, realizando uma comparação e a junção das melhores propriedades alcançadas com o uso do chamote como incremento na produção de cerâmica vermelha. O resultado do estudo, tendo embasamento nas pesquisas realizadas, indicou que é vantajoso o uso do chamote visando diversos fatores que melhoram o desempenho na produção. Concluiu-se também, a partir das considerações presentes na literatura, que o reaproveitamento do chamote contribui para a redução de custos, prevenção de impactos ambientais e aumento da vida útil das jazidas. **PALAVRAS-CHAVE:** Cerâmica vermelha. Resíduos. Chamote. Blocos de vedação.

### USE OF CHAMOTE AS ADDITIVE IN RED CERAMIC PASTA FOR THE PRODUCTION OF SEALING BLOCKS

**ABSTRACT:** In the Brazilian red ceramics industry, after the firing and dispatching stage, a significant amount of parts is discarded as waste from this process. The disposal of this waste, called chamote, has been improperly carried out in the wild due to the lack of landfills for its final disposal, which corroborates serious environmental impacts. In view of this, the

method of reusing chamote is its increase in the production of red ceramic masses, being dosed together with the raw material. The present work aims to analyze the viability of the use of chamote as an additive in red ceramic masses destined to the production of sealing blocks. The study used results obtained from constant tests in the literature, comparing and combining the best properties achieved with the use of chamote as an increment in the production of red ceramics. The result of the study, based on the researches, indicated that it is advantageous to use chamote aiming at several factors that improve production performance. It was also concluded, from the considerations in the literature, that the reuse of chamote contributes to the reduction of costs, prevention of environmental impacts and increase of the useful life of the deposits.

**KEYWORDS:** Red pottery. Waste. Chamote Sealing blocks.

## 1 | INTRODUÇÃO

A cerâmica está presente na vida do homem há milhares de anos, seja no artesanato para confecção de jarras e potes ou no âmbito estrutural. Num contexto histórico, percebe-se a utilização da cerâmica em civilizações de épocas anteriores a era cristã (PALMA, 2010).

Escavações arqueológicas revelam que os tijolos eram utilizados pelas civilizações dos anos 4.000 a.C. e de acordo com a época de sua produção, a cerâmica indica características específicas que documentam a passagem e a evolução do homem pela terra (ZACCARON, 2013).

Segundo Palma (2010, p. 13), nas últimas décadas, percebe-se que houve um aumento no interesse por parte da Engenharia na utilização de materiais cerâmicos na produção de energia, na indústria aeroespacial, automobilística, química, petroquímica, metalúrgica e em outras aplicações avançadas. O aumento desta demanda se justifica devido ao fato de serem as cerâmicas materiais com propriedades típicas bastante estáveis em serviço, tais como estabilidade química, alta dureza e resistência a altas temperaturas.

Em vista disso, a demanda da construção civil nos últimos anos vem promovendo um crescimento no setor da cerâmica estrutural da produção de tijolos e telhas. No âmbito econômico, tal questão é tratada com otimismo, porém nas questões ambientais apresenta-se como um potencial na geração de impactos ambientais, especialmente na extração de matéria-prima devido aos resíduos gerados no processo produtivo.

Segundo Gouveia (2014, p. 15), a falta de investimento em inovação tecnológica, além do desconhecimento das características da matéria-prima, colabora para a geração de perdas na fabricação. A perda devido a erros de processamento, chega a 20 % da produção.

Assim, com o intuito de promover o reaproveitamento deste material subproduto, que é tecnicamente denominado chamote, existe a possibilidade de sua utilização em formulações cerâmicas.

A respeito dessa alternativa, Gouveia (2014, p. 16) afirma que o chamote, como aditivo na massa cerâmica, é benéfico para o processo produtivo e principalmente na etapa de secagem, pois contribui para um melhor empacotamento e a morfologia das partículas.

Nesse sentido, o presente artigo visa apresentar a utilização do resíduo chamote como adição reativa em massas cerâmicas para produção de blocos de vedação da construção civil, visando um melhor desempenho das propriedades físico-mecânicas das massas e uma destinação a este resíduo, o qual, se sempre descartado, acarretará graves impactos ambientais.

## 2 | METODOLOGIA

A análise foi embasada por intermédio do estudo de teses, dissertações, livros e artigos científicos que já retratam acerca da reinserção do resíduo chamote no processo de fabricação da cerâmica.

Todavia, o presente artigo visa essencialmente a reutilização de tal resíduo de forma característica na produção de blocos componentes da alvenaria não-estrutural da construção civil, com o intuito de apresentar os efeitos benéficos de sua influência na composição de massas cerâmicas retratadas em procedimentos experimentais presentes na literatura específica.

Na literatura, para a aferição das propriedades da adição do chamote na produção de blocos de cerâmica vermelha, utiliza-se de uma sequência metodológica na maioria dos casos, sendo esta:

- Obtenção e caracterização da matéria prima;
- Produção dos corpos de prova;
- Determinação das propriedades tecnológicas

A qual será abordada especificadamente a seguir.

### 2.1 Materiais cerâmicos

O emprego de materiais cerâmicos teve início nos tempos mais primitivos da história da humanidade, pois como uma matéria prima abundante na natureza, a argila teve sua utilização rapidamente difundida na fabricação de produtos cerâmicos que são obtidos pela modelagem, secagem e cozimento de argilas ou de misturas contendo argilas (BAUER, 2000).

As cerâmicas tradicionais são produzidas a partir de três componentes básicos,

argila, sílica e feldspato. Segundo Smith (1998, apud PALMA, 2010, p. 17), a argila consiste essencialmente em alumino-silicatos hidratados ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) com pequenas quantidades de outros óxidos, tais como  $\text{T}_i\text{O}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ . Ela fornece as propriedades plásticas ao material antes do endurecimento por sinterização e constitui o principal componente da massa.

A sílica ( $\text{SiO}_2$ ) tem um elevado ponto de fusão e é o componente refratário das cerâmicas tradicionais. Já o feldspato potássico ( $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6 \text{SiO}_2$ ) tem um ponto de fusão baixo e dá origem, quando a mistura cerâmica é sinterizada, a um vidro que liga entre si os componentes refratários (PALMA, 2010).

Os materiais cerâmicos possuem propriedades muito desejáveis em aplicações estruturais como a dureza e o ponto de fusão alto, estabilidade química e a resistência à abrasão. Palma (2010, p. 16) afirma que isso ocorre pela natureza de suas ligações atômicas, de caráter iônico e/ou covalente, sendo que os óxidos possuem ligações predominantemente iônicas e os carbeto e nitreto predominantemente covalentes.

### *2.1.1 Processamento de materiais cerâmicos*

A indústria de Cerâmica Vermelha no Brasil tem um faturamento anual de 18 bilhões de reais, uma produção distribuída por 7431 empresas gerando 293 mil empregos diretos e consumindo  $10,3 \times 10^6$  ton/mês de argila, o que, sem dúvida, permite que seja considerada um setor de grande importância econômica e social (PRADO; BEDOYA; MERCURY, 2016).

Apesar da importância e representatividade econômica que o setor cerâmico representa, percebe-se que ele não acompanhou a evolução tecnológica e a forma de administração ainda é a mesma herdada por seus fundadores (repassadas de pai para filho), ocasionando desperdícios em todo processo produtivo.

Conforme Zaccaron (2013, p. 37), o processo produtivo da cerâmica vermelha consiste basicamente na preparação da massa bruta “material argiloso” que passa pelos processos de homogeneização, destorroamento, desaeração, extrusão, corte da peça, secagem natural ou forçada e queima.

A argila após a extração deve ser preparada para industrialização. Esse preparo pode ter as mais variadas formas, composições, consistência e plasticidade e a seleção dos lotes pode ser feita na própria jazida e serve para obter uma massa de argila com plasticidade uniforme e livre de torrões, de tal modo que sua extrusão forme peças com dimensões uniformes e livres de bolhas de ar (ZACCARON, 2013).

A Figura 1 mostra um fluxograma da cadeia produtiva da cerâmica vermelha. Segundo Oliveira (2011, apud ZACCARON, 2013, p. 37) esse processo é comum a todas as empresas de cerâmica vermelha em geral, havendo pequenas variações, de acordo com características particulares de cada matéria-prima ou produto final.

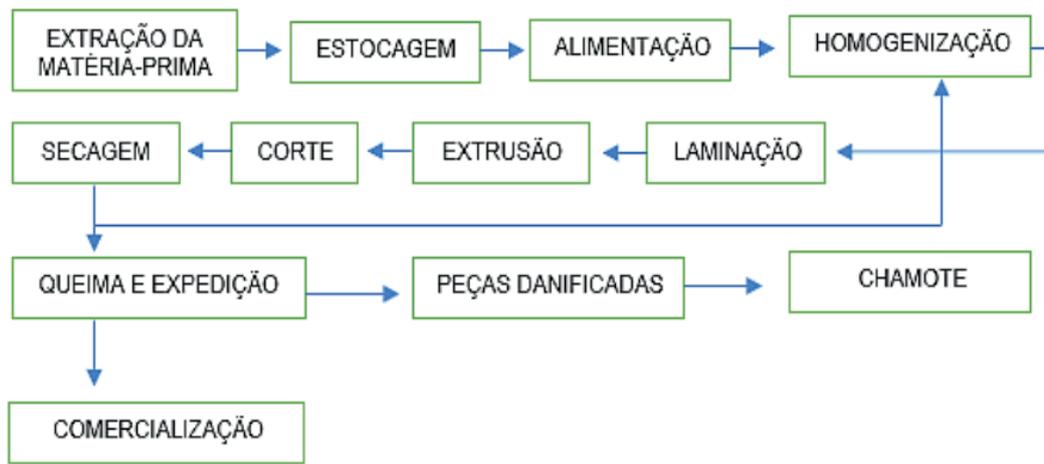


Figura 1 – Fluxograma do processo produtivo da cerâmica vermelha

Fonte: Adaptado de ZACCARON (2013)

## 2.2 Resíduos do processo fabril ceramista

As indústrias de fabricação e transformação de materiais produzem, em maior ou menor grau, certa quantidade de resíduos que nem sempre são reaproveitados ou tem um destino ecologicamente correto. Dar um destino correto a estes subprodutos constitui um grande desafio. Em alguns casos, estes produtos secundários podem ser reutilizados diretamente ou podem ser aproveitados como matéria prima básica em outros processos industriais (CASAGRANDE, 2008).

Segundo Almeida (2014, p. 24), a indústria cerâmica é uma das que mais se destacam na reciclagem de resíduos industriais e urbanos, em virtude de possuir elevado volume de produção que possibilita o consumo de grandes quantidades de rejeitos e que, aliado às características físicas e químicas das matérias-primas cerâmicas e às particularidades do processamento cerâmico, faz da indústria cerâmica como uma das grandes opções para a reciclagem de resíduos sólidos.

Vieira e Monteiro (2009, apud CANDIDO, 2012, p. 24) ao estudarem diversos tipos de rejeitos industriais apresentaram uma revisão atualizada sobre a classificação dos resíduos provenientes da indústria cerâmica quanto a sua incorporação em massas cerâmicas.

De acordo com o estudo, os autores propuseram a seguinte classificação:

- Resíduos combustíveis;
- Resíduos fundentes;
- Resíduos que afetam as propriedades cerâmicas.

Os autores classificam como resíduos que afetam as propriedades cerâmicas resíduos de mineração, lodo de estação de tratamento de água, cinzas e, o objeto de estudo deste trabalho, o chamote (VIEIRA; MONTEIRO, 2009).

Na produção de produtos de cerâmica vermelha (blocos cerâmicos, telhas etc.)

ocorre à formação de um subproduto proveniente de rejeitos de material cerâmico originado na etapa de queima, que pode eventualmente retornar ao processo, após trituração, gerando um resíduo conhecido como chamote (VIEIRA; SOUZA; MONTEIRO, 2004).

Segundo Gouveia (2014, p. 32) a produção de chamote por sua vez está relacionada as perdas geradas no processo de produção do bloco, quanto maior for o controle de qualidade deste processo de produção, menor é o percentual gerado. Porém os fornos intermitentes, que são mais largamente utilizados apresentam um percentual de geração de chamote elevado, isso se deve ao fato do processo de queima se artesanal e com ausência de uniformidade durante a queima.

### **2.3 Composição da matéria prima**

As matérias primas geralmente utilizadas para a produção são a argila e o chamote, ambos obtidos da Indústria de cerâmica vermelha, sendo o chamote resíduo da fabricação de peças cerâmicas que sofrem algum dano durante o processo de queima.

A coleta do resíduo é feita a partir de um procedimento de amostragem descritos na ABNT NBR 10.007:2004, buscando obter uma amostra mais representativa possível e garantindo as mesmas características e propriedades da massa total do resíduo (GOUVEIA, 2008).

Foram estudados dados referentes à caracterização das matérias primas no âmbito químico, a fim de se observar o teor dos elementos preponderantes em sua composição auxiliando no entendimento dos efeitos da influência do resíduo nas massas cerâmicas. Após este processo, são apresentadas as propriedades físico-mecânicas.

Para a determinação da composição química dos materiais, um dos métodos empregados cujos dados de um ensaio realizado por Gouveia (2008) embasarão o presente artigo, é o da Espectrometria de Absorção Atômica (AAS – do inglês Atomic Absorption Spectrometry) que determina quantitativamente os elementos presentes em uma determinada amostra.

Quanto à caracterização física da argila e do chamote, analisou-se procedimentos experimentais da literatura para aferição da plasticidade, sendo esta uma propriedade essencial para bom desempenho do processo de conformação dos blocos de vedação cerâmicos.

### **2.4 Elaboração dos corpos de prova**

Após o processo de formulação das massas, onde se determina o teor de adição do resíduo chamote às massas cerâmicas, dá-se início à etapa de confecção dos corpos-de-prova dos blocos de vedação, onde as massas primeiramente são

laminadas e num segundo momento passam pelo processo de extrusão.

Feito isto, os corpos de prova são levados a secagem natural por 48 horas seguido de secagem em estufa a 105oC-110oC por 24 horas. Ao término desta etapa, pode-se utilizar os dados referentes à medição dos corpos de prova para serem empregados em ensaios de retração linear na secagem.

Em seguida, as peças são levadas para a queima, geralmente em forno laboratorial e adotando condições de padrão laboratorial. Finalizado este processo, são determinadas as propriedades físicas (retração linear pós secagem e pós queima) e mecânicas (resistência à compressão mecânica/flexão), que serão descritas a seguir.

## 2.5 Determinação das propriedades tecnológicas

Para a aferição da retração linear, o comprimento dos corpos de prova é medido após a moldagem, à secagem natural e à secagem em estufa, para as diferentes temperaturas estabelecidas. Serão aqui apresentados dados de um estudo realizado por Zaccaron (2013), referentes à retração linear de secagem e de queima.

Por fim, para a análise da resistência mecânica à flexão ou resistência à compressão mecânica, o presente estudo utilizou-se de dados também obtidos por Zaccaron (2013), cujo ensaio foi realizado com base na NBR 15270-03:2005.

Conforme o procedimento experimental realizado por Zaccaron (2013, p.8), o ensaio consistiu em proceder à preparação prévia dos corpos-de-prova com capeamento (ato de preparação dos corpos-de-prova cilíndricos de argamassa e/ou concreto de cimento) e ensaiados em máquina universal de ensaios (modelo DL-20000, marca EMIC) para avaliar a carga de ruptura.

## 3 | RESULTADOS

### 3.1 Composição química

De acordo com Gouveia (2008), na Tabela 1 está representado os dados referentes ao do ensaio de espectrometria de emissão atômica (ICP/EAS) e de adsorção atômica (ICP/AES).

AMOSTRA	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P.F	Total
Argila	54,3	19,97	9,47	1,45	0,22	1,04	1,47	0,29	0,91	10,44	99,56
Chamote	64,06	17,62	10,83	1,67	0,13	0,77	0,61	0,17	1,23	2,82	99,91

Tabela 1 – Resultados Obtidos na análise química das matérias-primas

Fonte: Gouveia (2008)

A partir da tabela é possível observar que, para as duas amostras, a sílica (SiO<sub>2</sub>) é o material mais encontrado possuindo o maior teor nas composições em relação aos demais elementos. Os Óxidos alcalinos (K<sub>2</sub>O e Na<sub>2</sub>O) e os alcalinos terrosos (MgO e CaO) possuem baixos teores nos estudos, o que demonstra uma fraqueza das amostras, devido ao fato de os óxidos serem importantes na formação da fase vítrea após a queima.

Como fator principal constatado nos testes, a perda ao fogo (P.F), deixa em evidência que o chamote apresentou valores mais baixos em relação ao material argila, devido principalmente ao fato de haver passado, anteriormente, por um processo de queima.

### 3.2 Limite de plasticidade

Observa-se na Quadro 1 os limites de consistência e plasticidade para cada composição da massa cerâmica, sendo esta obtida através de procedimento experimental realizado por Gouveia (2008), o qual determinou a dosagem dos teores de 5, 10, 15 e 20 % de chamote, e da argila.

<b>Amostra</b>	<b>LL (%)</b>	<b>LP (%)</b>	<b>IP (%)</b>
Argila	49	28	21
Chamote	-	NP	-
5CH	-	29	-
10CH	-	26	-
15CH	-	27	-
20CH	-	28	-

Quadro 1 – Valores do índice de plasticidade da argila e dos limites de plasticidade das composições

Fonte: Gouveia (2008)

A partir da análise destes dados, fica claro que as adições de 5, 15 e 20% de chamote apresentaram pequena variação para o limite de plasticidade em relação à composição de argila em sua totalidade. Destacando-se à adição de 10%, percebeu-se que o valor do limite de plasticidade (26%) foi reduzido, deixando em evidência que dever-se-á reduzir o gasto com água para a extrusão, tornando mais rápida a etapa de secagem e reduzindo as chances da ocorrência de possíveis defeitos, como visto na literatura de Vieira *et al.* (2004).

### 3.3 Compressão mecânica

Na Figura 1 é apresentada a conclusão do ensaio de resistência à compressão mecânica, indicando a diferença entre o STD, formulação com 20% (baseado em estudos realizados anteriormente com as mesmas matérias-primas) do resíduo chamote incorporado à massa cerâmica padrão de uma cerâmica vermelha, e o F4, amostra padrão de cerâmica vermelha.

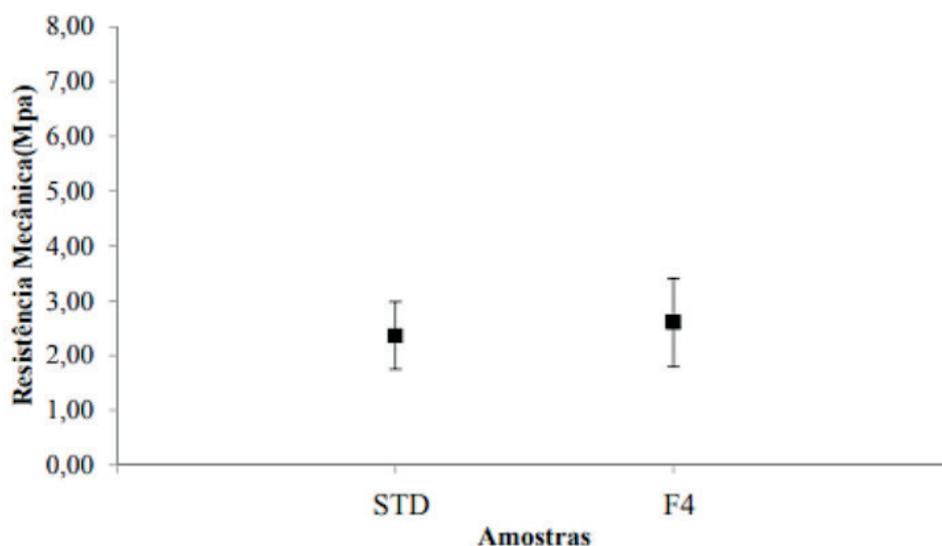


Figura 2: Resultado da compressão mecânica

Fonte: Zaccaron (2013)

Com a análise do gráfico representado na Figura 1, é possível compreender que os dados referentes à resistência mecânica da massa que contém porcentagem de chamote em sua composição foram bem próximos aos da massa cerâmica convencional. Em decorrência disto, torna-se evidente que à incorporação do resíduo chamote na amostra F4 viabiliza a produção.

### 3.4 Retração térmica linear de secagem e queima

Através dos resultados abordados no estudo realizado por Zaccaron (2013), demonstrados na Figura 2, é notório que devido a presença do chamote há uma redução do tamanho inicial da peça. Este evento se deve ao fato de que o chamote reage como material inerte, provocando um movimento de perda de água devido à secagem e tendo em contrapartida à estabilidade dos valores percentuais do resíduo. Já na amostra F4 a retração de queima se mostra menor, cerca de 0,30%, o que demonstra uma superioridade em relação a outra amostra, levando em consideração a existência de parâmetros para a dimensão dos blocos, pré-estabelecida desde 2005, através da ABNT NBR 15270.

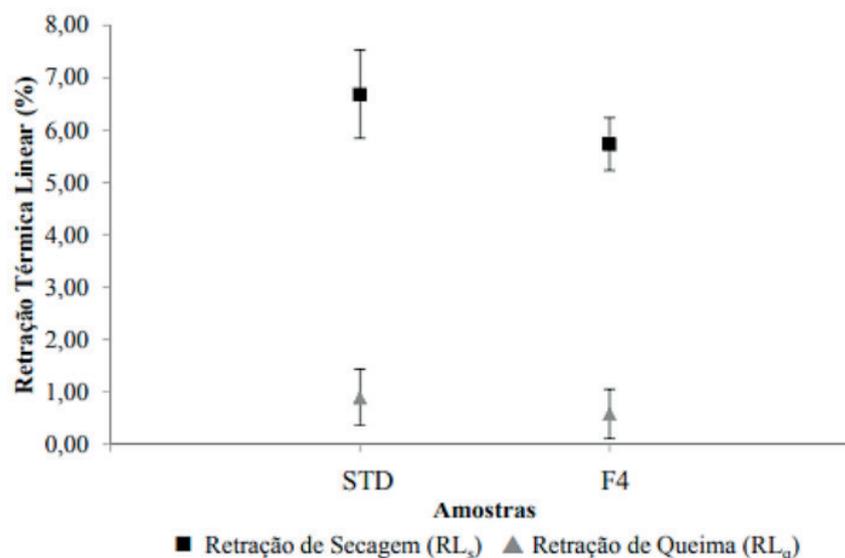


Figura 3 - Resultado da retração térmica linear de secagem e queima

Fonte: Zaccaron (2013)

#### 4 | CONCLUSÕES

Em função do exposto, pode-se concluir que as perdas nos processos produtivos, em especial na fabricação de peças cerâmicas, sempre irão existir. Dessa forma, os estudos sobre a incorporação de resíduos em matrizes de cerâmica vermelha têm se tornado cada vez mais frequentes e são alvo de interesse científico, visto que algumas vantagens são observadas.

Dos ensaios obtidos da bibliografia acerca da composição química, observou-se que a composição da amostra do material chamote é similar à argila convencional, visto que o principal material componente é a sílica o que permite uma reprodução das propriedades.

Quanto as propriedades tecnológicas, pode-se constatar que através da incrementação do resíduo chamote em massas de cerâmica vermelha pode-se obter desempenhos satisfatórios na produção, visto que sua presença não provocou alterações significativas no comportamento das amostras estudadas. Este fato se comprova na literatura com a análise do ensaio de resistência à compressão, onde se obteve dados bem semelhantes entre a amostra com teor de chamote em sua composição e a amostra cerâmica padrão.

Assim, com base nesses fatores, vê-se que não há implicações relevantes que impeçam o uso do chamote na formulação de massas de cerâmica vermelha e que este se mostra com grande potencial para ser utilizado como uma matéria-prima alternativa de baixo custo na fabricação de produtos cerâmicos, até mesmo de blocos de vedação, como um caminho à destinação deste resíduo e possibilitando a sua re inserção na cadeia produtiva de mercado.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270: Componentes cerâmicos: parte 3: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação: métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2005. 27p.
- ALMEIDA, T. F. **Reaproveitamento de resíduo de pó de mármore e chamote na produção de material cerâmico para isolamento térmico.** 2014. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Campos dos Goytacazes, 2014.
- BAUER, L. A. F. **Materiais de construção.** 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2000. 705 p.
- CANDIDO, V. S. **Utilização de argilito e chamote de blocos de vedação na composição de massa de pavimento intertravado cerâmico - Adoquim.** 2012. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência de Materiais, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense – Uenf, Campos dos Goytacazes, 2012.
- CASAGRANDE, M.C.; Sartor, M.N.; Gomes, V.; Della, V.P.; Hotza, D.; Oliveira, A.P.N.. **Reaproveitamento de Resíduos Sólidos Industriais: Processamento e Aplicações no Setor Cerâmico, Revista Cerâmica Industrial.** V. 13, n. 1/2, p. 34-42, Jan/Abr , 2008.
- GOUVEIA, E. R. **Análise da viabilidade da produção de cerâmica vermelha à base de chamote.** 2014. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, 2014.
- GOUVEIA, F. P.; SPOSTO, R. M.. Incorporação de chamote em massa cerâmica para a produção de blocos. Um estudo das propriedades físico-mecânicas. **Cerâmica**, Brasília, v. 55, p.415-419, 20 abr. 2008. Anual.
- OLIVEIRA, A. A. **Tecnologia em Cerâmica.** Criciúma-SC. Editora Lara, 2011, 176 p.
- PALMA, A. J. R. **Adição de chamote de velas de ignição inservíveis na obtenção de cerâmica branca a base de alumina.** 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.
- PRADO, A. D.; BEDOYA, R. N.; MERCURY, J. M. R. **Influência da incorporação de chamote nas propriedades físico-mecânicas de materiais cerâmicos estruturais.** *Engvista*, Maranhão, v. 18, n. 1, p.158-173, julho. 2016. Semestral.
- SMITH, W. F. *Princípios de ciência e engenharia dos materiais.* Ed. 3. Ed. Lisboa McGraw-Hill de Portugal Ltda, 1998, 892p.
- VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N. (2009). Effect of the particle size of the grog on the properties of bricks. In: **TMS (The Minerals, Metals & Materials Society)**, 249–254.
- VIEIRA, C.M.F.; SOUZA, E.T.A.; MONTEIRO, S.N. Efeito da Incorporação de chamote no processamento e microestrutura de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v.50,n.315, p.254 – 260, set. 2004.
- ZACCARON, A. **INCORPORAÇÃO DE CHAMOTE NA MASSA DE CERÂMICA VERMELHA COMO VALORIZAÇÃO DO RESÍDUO.** 2013. 121 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc, Criciúma, 2013.

## AVALIAÇÃO DA DRENAGEM SUPERFICIAL DA RODOVIA ESTADUAL MA-315 QUE INTERLIGA O MUNICÍPIO DE BARREIRINHAS A PAULINO NEVES

Data de aceite: 11/12/2019

### Jorcelan Pereira da Rocha

Instituto de graduação e pós-graduação – IPOG  
Barreirinhas - Maranhão

### Cláudio Sousa Ataíde

Instituto de graduação e pós-graduação – IPOG  
Barreirinhas - Maranhão

### Larysse Lohana Leal Nunes

Instituto de graduação e pós-graduação – IPOG  
São Luís - Maranhão

### Leonardo Telles de Souza Pessoa Filho

Instituto de graduação e pós-graduação – IPOG  
São Luís - Maranhão

### Fernando Vasconcelos Borba

Universidade Federal do Pará – UFPA  
Belém – Pará

**RESUMO:** As águas superficiais prejudicam as obras rodoviárias não apenas no período de construção, mas também, contribui para a danificação do corpo estradal após sua implantação. Porquanto o contato direto com as águas pode ocasionar, no período de operação de uma via, assoreamento de bueiros, o desmoronamento e erosão de taludes, quedas de pontes, patologias no pavimento e, conseqüentemente, a diminuição de sua capacidade estrutural. Assim, apesar da drenagem superficial rodoviária ser responsável

diretamente pela captação, condução e desague das águas que precipitam sobre o pavimento e áreas adjacentes, observa-se que é pequena a importância dada para este tema tão relevante no que diz respeito à durabilidade de rodovias no território brasileiro. Dessa maneira, entende-se que os projetos de drenagem rodoviária devem ser elaborados por técnicos capacitados que reconheçam a importância de sua aplicação no que diz respeito aos diversos elementos que formam este sistema tão eficaz, uma vez que evita o surgimento de patologias que diminuem a vida útil das estradas municipais, estaduais e federais. Por isso, o presente artigo apresenta uma avaliação simples e direta sobre a drenagem superficial da rodovia estadual MA-315 que interliga o município de Barreirinhas a Paulino Neves, com finalidade destacar as características apresentadas para trecho com extensão 38 km.

**PALAVRAS-CHAVE:** Drenagem superficial. Rodovias. Sistema de drenagem.

### EVALUATION OF MA-315 STATE ROAD SURFACE DRAINAGE CONNECTING THE CITY OF BARREIRINHAS TO PAULINO NEVES

**ABSTRACT:** Surface water harms road works not only during the construction period, but also contributes to the damage of the road

body after its implementation. Because direct contact with water can cause manhole siltation during the operation of a road, the collapse and erosion of slopes, bridge falls, pavement pathologies and, consequently, the reduction of its structural capacity. Thus, although the road surface drainage is directly responsible for the abstraction, conduction and drainage of waters that precipitate over the pavement and adjacent areas, it is observed that the importance given to this issue is so small regarding the durability of highways in the region. Brazilian territory. Thus, it is understood that road drainage projects should be prepared by trained technicians who recognize the importance of their application regarding the various elements that make this system so effective, since it avoids the emergence of pathologies that reduce life of municipal, state and federal roads. Therefore, this article presents a simple and direct assessment of the surface drainage of the MA-315 state highway that connects the municipality of Barreirinhas to Paulino Neves, with the purpose of highlighting the characteristics presented for a stretch of 38 km.

**KEYWORDS:** Surface drainage. Highways. Drainage system.

## 1 | INTRODUÇÃO

Para Balbo (2007), o pavimento é uma estrutura composta por camadas sobrepostas, essas camadas são formadas por diferentes materiais compactados sobre um terreno de fundação, constituindo assim, um elemento finito apropriado para atender a demanda do tráfego considerando os aspectos estruturais e operacionais, de modo durável e com o menor custo possível, prevendo as distintas intervenções para serviços de manutenção preventiva, corretiva e de restauração, que serão de caráter obrigatório para que o pavimento consiga chegar à vida útil para o qual foi projetado.

Assim, para que uma rodovia possa atingir sua vida útil, o DNIT (2006) cita que é necessária à execução das obras de drenagem com a finalidade protegê-la das águas que estão diretamente relacionadas com a segurança do tráfego e condição da estrutura do pavimento. Sendo necessário que o sistema consiga a retirada das águas que: permaneçam nos subleitos sob a forma de lençóis freáticos e artesianos; infiltrem através do revestimento e das diversas camadas do pavimento; precipitem sobre a estrutura do pavimento ou áreas próximas; entrem em contato com a via por meio dos talvegues naturais. Resumidamente, a drenagem de uma rodovia deve extinguir a água que, sob qualquer forma, consiga chegar até a estrutura do pavimento, captando-a e transportando-a para áreas em que menos comprometa a segurança dos usuários e durabilidade da via. Com isso, em questões de segurança viária, o pavimento em condições climáticas não favoráveis perde algumas de suas características mais importantes, ocorrendo à diminuição do seu desempenho de forma rápida e contínua (ZOFKA, 2018).

Já em relação à manutenção do corpo estradal, o DNIT (2006) enumera alguns dos principais problemas causados pela falta/ineficiência do sistema de drenagem de uma via, que são: a destruição de aterros, diminuição da capacidade de suporte da camada final de terraplenagem, erosões de taludes de corte e aterro, desmoronamento de taludes. Com isso, o DNIT (2005) destaca que o mau funcionamento do sistema de drenagem está ligado diretamente com o crescimento de vegetação ou material arrastado nas entradas e saídas das obras de drenagem; destroços e lixos em sarjetas, valetas e saídas d'água; rompimento de meios-fios, banquetas, sarjetas e descidas d'água; entupimento de drenos subsuperficiais e profundos; bueiros entupidos, desalinhados ou com vazão deficiente; formação de trincas, selagem ou de outros atributos que comprovem deformações nos bueiros; bocas de bueiros, assoreadas e com posicionamento inadequado, alas danificadas, ausência de bacias de dissipação; solapamento e ruptura das decidas d'água, etc.

Tamãna a importância da drenagem de uma via, que CONSÓRCIO DYNATEST ENGEMAP cita o grau de trincamento da camada de rolamento tem influência direta nos custos de correções de manutenção e possibilita identificar a ocasião em que a taxa de degradação de um pavimento irá ocorrer de forma mais significativa em função da infiltração de água. Respectivamente, Sousa (2015) acrescenta que a utilização de materiais adequados e uma boa execução dos serviços podem contribuir para a inexistência de patologias nos pavimentos, entretanto, a problemática é maior quando ocorre a ineficiência ou insuficiência de drenagem rodoviária. Sendo importantíssimo, que o técnico responsável pelo projeto saiba da importância da drenagem na garantia do equilíbrio da via a ser executada, determinando de forma coerente, técnica e econômica, o correto dimensionamento dos elementos de drenagem que futuramente serão implantadas (DNIT, 2006).

Com isso, Oliveira (2018) adverte que, na graduação, são poucos os estudos relacionados à drenagem rodoviária e, ainda, todos os relacionados com este setor têm que ter conhecimento sobre este sistema de uma forma ampla, pois é indispensável não somente com o objetivo de obter o controle das águas pluviais, mas também para apoiar a preservação dos recursos naturais presentes nas áreas de sua implantação.

Por fim, o presente trabalho busca mostrar de forma simples e direta a condição do sistema de drenagem em um segmento da Rodovia MA-315, cuja extensão é de 38 km, interligando as cidades de Barreirinhas a Paulino Neves no estado do Maranhão. Para isso, foi executada uma análise dos principais elementos que compõe a drenagem rodoviária do local, tendo como referência bibliográfica principal, o Manual de Drenagem de Rodovias do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT.

## 2 | DRENAGEM SUPERFICIAL

Como mostra a Figura 1, o sistema de drenagem é primordial para que a rodovia consiga atingir a vida útil para qual foi projetada, sem sofrer grandes problemas ocasionados pela água. Assim, a drenagem adequada possibilita uma maior durabilidade para estrutura da via, isto é, menor degradação no decorrer do tempo (DNIT, 2005).



FIGURA 1 - Elementos do sistema de drenagem superficial

Fonte: Adaptada de DNIT (2005)

Dessa forma, para o DNIT (2006), a drenagem superficial é responsável pela captação das águas que caem sobre a estrutura da rodovia e em áreas próximas, direcionando-a para o devido local de deságue, onde não comprometa sua estabilidade, contribuindo assim, para segurança dos usuários. Com isso, serão destacados nos próximos itens os principais dispositivos de drenagem superficial presente no Manual de Drenagem de Rodovias, dentre outros, temos: Valeta de proteção de corte - VPC; Valeta de proteção de aterro - VPA; Sarjeta de corte - SC; Sarjeta de aterro - SA; Descida d'água - DAD; Saída d'água; Dissipadores de energia;

Simultaneamente, Oliveira (2018) cita que a drenagem superficial necessita ser projetada ordenadamente formando vários dispositivos, isso permitirá a maior segurança na estabilidade e durabilidade de todo o corpo estradal, de tal modo como a preservação do meio ambiente, principalmente na rede hidrográfica local. Assim, CNT (2017) cita que um dos fatores mais preocupante referente ao dimensionamento de rodovias é o clima, porquanto ele é considerado um fator único para o país inteiro, apesar de apresentar atributos climáticos desiguais.

### 2.1 Valeta de proteção de corte – VPC

Como exibido na Figura 2, também conhecidos como “Valeta de Coroamento”, por se localizar na parte superior dos taludes, as valetas de proteção de corte tem

por objetivo coletar as águas de montante das encostas e áreas próximas evitando saturação do solo e o consequente desmoronamento do talude. Com isso, devem ser projetadas e executadas de modo a ficarem paralelas as cristas dos cortes (off-sets) a uma distância de no mínimo 3,0 m (DNIT, 2006).

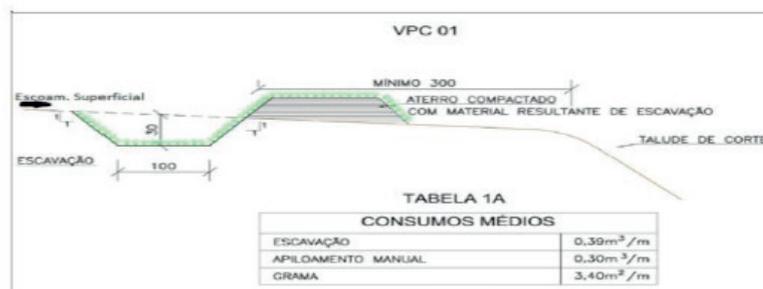


FIGURA 2 - Valeta de proteção de corte

Fonte: Adaptada de DNIT (2006)

Segundo DNIT (2006), as valetas de proteção de cortes podem ser trapezoidais, retangulares ou triangulares, sendo que o material retirado da escavação tem que ser depositado entre a valeta e a crista do corte e compactado manualmente. E ainda, o material utilizado como revestimento, dependendo do tipo do solo, e podem ser: concreto com 08 cm de espessura, alvenaria de tijolos ou pedra rejuntada com argamassa, pedra arrumada ou vegetação.

## 2.2 Valeta de proteção de aterro - VPA

Como exposto na Figura 3, tem por objetivo coletar as águas que escoam nas partes superiores dos aterros, evitando que atinjam o pé do talude de aterro e, conseqüente, um desmoronamento no decorrer do tempo. Com isso, devem ser projetadas e executadas de modo a ficarem paralelas ao pé do talude de aterro, a uma distância entre 2,0 e 3,0 m (DNIT, 2006).

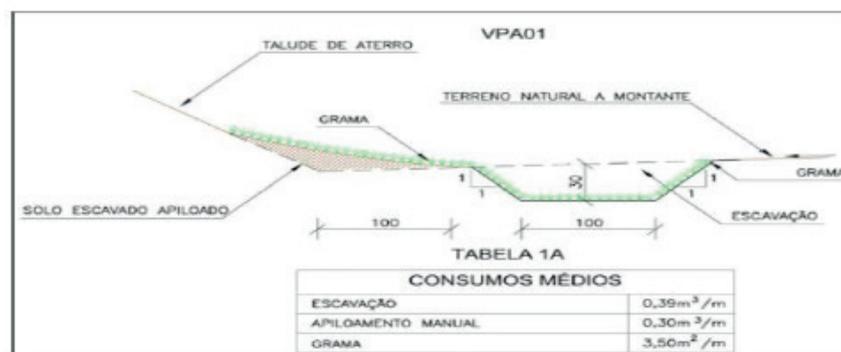


FIGURA 3 - Valeta de proteção de aterro

Fonte: Adaptada de DNIT (2006)

Segundo DNIT (2006), as valetas de proteção de aterro podem ser trapezoidais,

retangulares ou triangulares, sendo que o material retirado da escavação tem que ser depositado entre a valeta e o pé de talude de aterro e compactado manualmente. E ainda, os materiais utilizados como revestimento, dependendo do tipo do solo, podem ser: grama, pedra arrumada, pedra argamassada, concreto, solo-cimento ou até mesmo o solo compactado.

### 2.3 Sarjeta de corte

De acordo com DNIT (2006), a sarjeta de corte tem por finalidade coletar as águas que caem sobre a estrutura da rodovia e áreas próximas, conduzindo-as longitudinalmente à rodovia até o ponto de transição entre o corte e o aterro, ocasionando a saída lateral para o terreno correspondente ou para a valeta de aterro, ou ainda, para a caixa coletora de um bueiro de greide. Ou seja, a sarjeta de corte deve ser executada à margem do acostamento, localizando-se em todos os cortes presentes na plataforma, como mostra a Figura 4 a seguir.

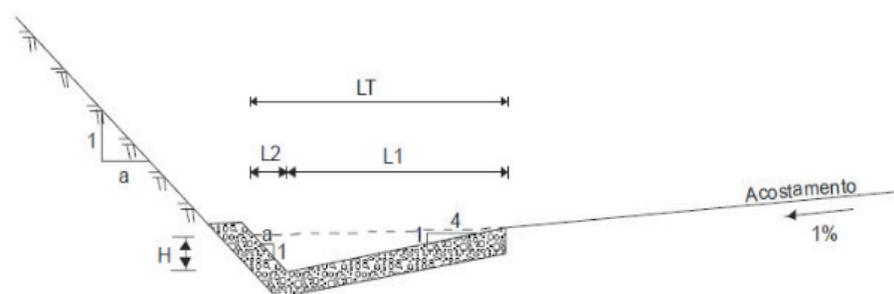


FIGURA 4 – Sarjeta triangular de corte

Fonte: DNIT (2006)

Acrescentando o DNIT (2006), cita que as sarjetas de corte podem ser triangulares, trapezoidais ou retangulares. Sendo que a de seção triangular, tem como destaque a diminuição de riscos de acidente, trapezoidal, para amplas vazões, e retangular, para solos rochosos, devido à facilidade na construção. E ainda, os materiais utilizados como revestimento, dependendo do tipo do solo, podem ser: concreto; alvenaria de tijolo; alvenaria de pedra argamassada; pedra arrumada revestida; pedra arrumada; revestimento vegetal.

### 2.4 Sarjeta de aterro

Para DNIT (2006), a sarjeta de aterro tem por finalidade coletar as águas que caem sobre a estrutura da rodovia e em áreas próximas e localiza-se paralela ao acostamento. Destaca-se que essa sarjeta está diretamente relacionada com a segurança da via, assim, devem-se ter critérios bem definidos para escolha de sua seção transversal, que podem ser podendo ser triangulares, trapezoidais,

retangulares, entre outras, segundo o tipo e categoria da via. Com isso, em interseções e trechos urbanos é aplicada a implantação de meio-fio-sarjeta combinados, Figura 5.

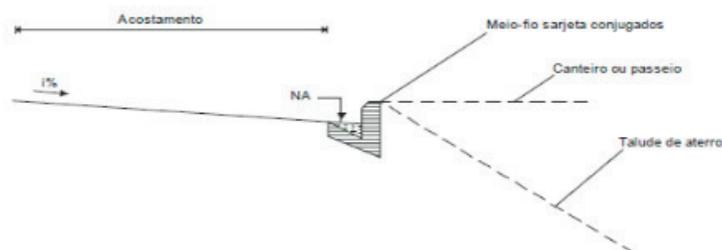


FIGURA 5 – Meio-fio sarjeta conjugado

Fonte: DNIT (2006)

Semelhante às sarjetas de corte, as sarjetas de aterro utilizam materiais diversos em seu revestimento, que dependendo do tipo do solo, podem ser: concreto de cimento; concreto betuminoso; solo betume; solo cimento; solo (DNIT, 2006).

## 2.5 Descida d'água - DAD

Conforme apresentado na Figura 6, as descidas d'água têm por finalidade levar as águas capturadas por outros dispositivos de drenagem, através de taludes de corte e aterro. Nos cortes, as descidas d'água levam as águas das valetas no momento em que chegam ao seu comprimento crítico, ou de pequenos talvegues, desaguando em uma caixa coletora ou na sarjeta de corte. Nos aterros, as descidas d'água levam as águas das sarjetas de aterro no momento em que chegam ao seu comprimento crítico, e, pontos baixos, através das saídas d'água, desaguando no terreno adjacente (DNIT, 2006).

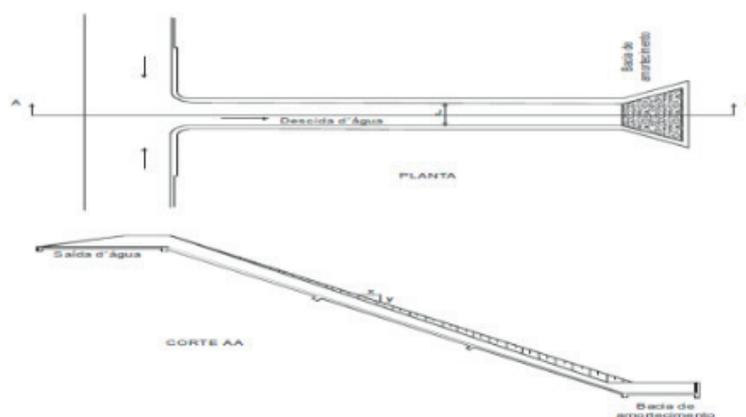


FIGURA 6 – Descida d'água tipo rápido

Fonte: DNIT (2006)

O DNIT (2006) acrescenta que as decidas d'água são executas em forma rápido ou em degraus, tal escolha depende diretamente, entre outros fatores, da velocidade limite do escoamento, o que não ocasione erosão. Assim, as decidas d'água apresentam a seção de vazão dos seguintes modelos: retangular, em calha tipo rápido ou em degraus; semicircular ou meia cana, de concreto ou metálica ; em tubos de concreto ou metálicos.

## 2.6 Saídas d'água

Também chamadas de entradas d'água, as saídas d'água são elementos de drenagem que tem por finalidade levar as águas recolhidas pelas sarjetas de aterro. Como demonstrado na Figura 7, são elementos de passagem entre as sarjetas de aterro e as descidas d'água e encontram-se na borda do corpo estradal, acoplada aos acostamentos ou em alargamentos, mais precisamente onde é chegado ao comprimento crítico da sarjeta, nos pontos baixos das curvas verticais côncavas, junto às pontes, pontilhões e viadutos e, algumas vezes, nos pontos de passagem de corte para aterro (DNIT, 2006).

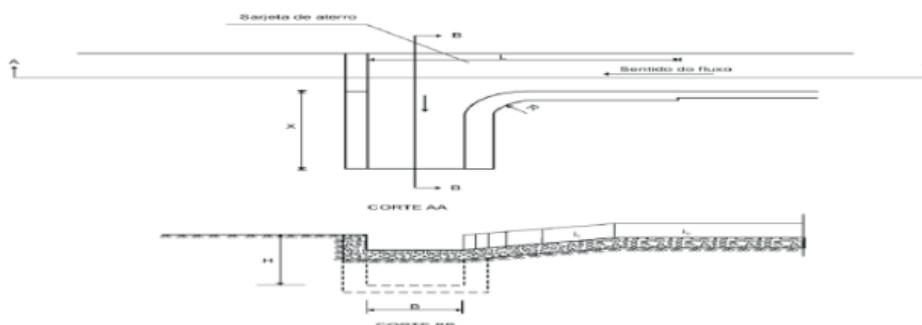


FIGURA 7 – Saída d'água de greide em rampa

Fonte: DNIT (2006)

## 2.7 Dissipadores de energia

Demonstrado na Figura 8, e como o nome sugere, os dissipadores de energia são elementos quem tem por finalidade dissipar energia do fluxo d'água, diminuindo sua velocidade, tanto no escoamento através do dispositivo de drenagem, quanto no deságue para o terreno natural. Dessa forma, os dissipadores de energia podem se classificar em localizados (bacias de amortecimento) e contínuos. Com objetivo de evitar erosões, na presença das saídas d'água, os dissipadores de energia se localizam em: pé das descidas d'água nos aterros; boca de jusante dos bueiros; saída das sarjetas de corte e nos pontos de passagem de corte-aterro (DNIT, 2006).



FIGURA 8 – Boca de bueiro com dissipador localizado

Fonte: Oliveira (2018)

### 3 | TRANSPOSIÇÃO DE TALVEGUES ATRAVÉS DE BUEIROS

Com o objetivo de retirar a água das proximidades da estrutura do pavimento, a drenagem de transposição de talvegues faz com que as águas que surgem em uma bacia hidrográfica cortem a via sem afetar a estrutura da estrada. (DNIT, 2006). Segundo DNIT (2006), os bueiros são formados pelas bocas (soleira, muro de testa e alas) e corpo. Tendo por objetivo permitir a passagem das águas que cortam as estradas. Destaca-se que no caso do nível da entrada d'água na boca de montante estiver localizada abaixo da superfície do terreno natural, deve-se substituir a boca por uma caixa coletora.

Os bueiros são distribuídos em quatro classes citadas a seguir: Quanto à forma da seção; quanto ao número de linhas; quanto aos materiais com os quais são construídos; quanto à escondidade (DNIT, 2006).

### 4 | LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO TRECHO ESTUDADO

Com demonstrado na Figura 9, a pesquisa foi implantada no trecho da rodovia MA-315 cuja extensão é de 38 km, interligando as cidades de Barreirinhas a Paulino Neves no estado do Maranhão. Servindo para conectar, através de outras vias, a região costeira do Maranhão, Piauí e Ceará, e apresenta as seguintes características:

- ✓ Rodovia: MA-315;
- ✓ Tipo de rodovia: Estadual;
- ✓ Inauguração: 2019;
- ✓ Extensão do trecho em estudo: 38 km;
- ✓ Tipo de pavimento: Flexível (asfáltico e blocos intertravados).



FIGURA 9 – Localização do segmento analisado

Fonte: Google maps (2019)

Com isso, este trabalho procura avaliar de forma analítica com base no Manual de Drenagem de Rodovias – DNIT de 2006, os elementos de drenagem caracterizando-os de acordo com a sua situação real. Dessa forma, durante a vistoria e o levantamento fotográfico foram encontrados vários problemas em tais dispositivos, apresentados de forma nítida e o que causou diversas patologias na estrutura do pavimento e corpo estradal. Dos elementos analisados destacam-se: **Valeta de proteção de aterro - VPA; Sarjeta de aterro - SA; Descida d'água - DAD; Saída d'água; Dissipadores de energia.**

Durante o período de estudo ficou claro, como demonstrado na Figura 10, que além dos diversos defeitos encontrados nos elementos de drenagem rodoviária. Destaca-se também, mesmo não sendo o objeto do estudo, que existem problemas estruturais no dimensionamento das camadas e altura necessária de aterro. Porquanto, a estrutura foi praticamente executada sobre o terreno natural em alguns pontos, desconsiderando possíveis áreas de talwegues e de alagamentos. Causando a destruição do corpo estradal de forma rápida e contínua.



FIGURA 10 – Alagamento em trecho da MA-315

Fonte: Sidney Pereira/TV Mirante (2019)

Já a Figura 11 mostra que não existe o caimento adequado entre rodovia e saída d'água o que impossibilita a drenagem superficial. Com isso, outro elemento que não cumpre sua finalidade é a sarjeta de aterro, pois está completamente obstruída por materiais que desagregaram das camadas e faixa de rolamento. Na maioria das vezes, como demonstra a imagem, é notório a inexistência dos dissipares de energia o que causa a formação de erosão em área lindeiras à via. Assim, a simples função de escoamento está comprometida por causa da falta de critérios nos métodos executivos utilizados na implantação do segmento.



FIGURA 11 – Sarjeta de aterro, saída d'água, descida d'água

Fonte: Autor (2019)

A Figura 12 demonstra a ineficiência das decidas d'água implantada no segmento, pois apesar das grandes alturas de aterro em alguns pontos, não foram aplicados à execução dos dissipadores contínuos de energia. Em outros pontos, como evidente na Figura 13, apesar na existência do dissipador localizado, ficou evidente que as águas que escoam para fora da rodovia não têm um destino adequado, ficando empoçadas paralelamente ao corpo estradal, tornando ineficaz o sistema de drenagem como um todo.



FIGURA 12 – Descida d'água

Fonte: Autor (2019)



FIGURA 13 – Descida d'água e dissipador de energia

Fonte: Autor (2019)

Com isso, as Figuras 14 e 15 mostram, respectivamente, a degradação do

pavimento e erosões no aterro da rodovia. Isso expõe que, entre outras causas, a falta de planejamento nas obras de drenagem ocasionou diversos problemas no trecho estudado, assim como: a destruição de aterros e diminuição da capacidade de suporte da camada final de terraplenagem; erosões e desmoronamento de taludes de aterro; materiais dispostos nas entradas e saídas das obras de drenagem; destroços em sarjetas e saídas d'água; rompimento de meios-fios, sarjetas e descidas d'água; bueiros entupidos ou com vazão deficiente; bocas de bueiros, assoreadas e alas danificadas; ausência de bacias de dissipação; por fim, formação de trincas, trilha de rodas e degradação da camada de rolamento.



FIGURA 14 – Degradação do pavimento

Fonte: Autor (2019)



FIGURA 15 – Erosão no aterro da rodovia

Fonte: Autor (2019)

## 5 | CONCLUSÃO

Com a realização da inspeção in loco do presente trabalho foi possível avaliar e diagnosticar as principais características dos elementos de drenagem do trecho em análise. Apesar dos muitos dispositivos presentes no segmento de 38 km, ficou destacado neste trabalho os que foram implantados de forma inadequada e contribuem diretamente para degradação da via.

Dentre os elementos de drenagem analisados, se verificou problemas em: valeta de proteção de aterro, sarjeta de aterro, descida d'água, saída d'água, dissipadores de energia, e nos bueiros. Assim, através da análise, fica comprovado que um sistema de drenagem em mau funcionamento causa a degradação da via, tornando-a intrafegável em pouco tempo, pois, entre outras consequências, percebeu-se no segmento avaliado a deterioração das camadas do pavimento, inundação da via, apresentação de erosões no corpo estradal e alagamentos em terrenos adjacentes.

Assim, apesar do pavimento apresentar claros problemas estruturais, a pesquisa realizada confirma que problemas nos dispositivos de drenagem superficial e transposição de talvegues estão contribuindo diretamente para as patologias apresentadas no segmento em estudo.

Por fim, conclui-se que os diversos problemas da MA-315 surgiram desde sua

implantação, dentre outros, estão os defeitos apresentados no sistema de drenagem, pois é notória a permanência da água em contato direto com a rodovia por um longo período de tempo, ou seja, na maioria das vezes, sem a menor condição de escoamento o que está causando a aceleração da destruição do corpo estradal, prejudicando a dirigibilidades dos veículos e onerando os cofres públicos.

## REFERÊNCIAS

BALBO, J.T. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

CONSÓRCIO DYNATEST ENGEMAP. **Relatório técnico**: catálogo de soluções de manutenção para pavimentos flexíveis. 2015.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. **Transportes rodoviários**: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?. Confederação Nacional de Transportes. 2017.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de conservação rodoviária**. Rio de Janeiro, 2005.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de drenagem rodoviário**. Rio de Janeiro, 2006.

OLIVEIRA, P.M. **Drenagem aplicada a Infraestrutura de transporte - IPOG**. Florianópolis, 2018.

SOUZA, P.M. **Proposta de implementação do sistema de gerência de pavimentos para a cidade do Rio de Janeiro**. (Monografia). Rio de Janeiro: UFRJ, 2015.

ZOFKA, A. **Proactive pavement asset management with climate change aspects**. Warszawa, 2018. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/356/1/012005>>. doi:10.1088/1757-899X/356/1/012005. Acesso em 07/02/2019.

## ANÁLISE DE PAVIMENTO FLEXÍVEL PELO MÉTODO PCI: ESTUDO DE CASO DE DOIS TRECHOS DA PE-112

Data de aceite: 11/12/2019

Data de Submissão: 04/11/2019

### **Thays Cordeiro dos Santos**

Centro Universitário do Vale do Ipojuca –  
UNIFAVIPIWyden

Caruaru – PE

<http://lattes.cnpq.br/6652591257273952>

### **Maria Victória Leal de Almeida Nascimento**

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Centro Universitário do Vale do Ipojuca –  
UNIFAVIPIWyden

Caruaru – PE

<http://lattes.cnpq.br/2104309750203808>

### **Daysa Palloma da Silva**

Centro Universitário do Vale do Ipojuca –  
UNIFAVIPIWyden

Caruaru – PE

<http://lattes.cnpq.br/0638702580149106>

### **Tháisa Mayane Tabosa da Silva**

Centro Universitário do Vale do Ipojuca –  
UNIFAVIPIWyden

Caruaru – PE

<http://lattes.cnpq.br/4462436266156856>

### **Rodrigo Araújo**

Centro Universitário do Vale do Ipojuca –  
UNIFAVIPIWyden

Caruaru – PE

<http://lattes.cnpq.br/2156174390712460>

### **José Henrique Reis de Carvalho Tabosa**

Centro Universitário do Vale do Ipojuca –  
UNIFAVIPIWyden

Caruaru – PE

<http://lattes.cnpq.br/2364917570366841>

**RESUMO:** O pavimento flexível tem a funcionalidade de proporcionar o transporte de forma que garanta condições de tráfego segura, confortável e econômica. Porém, ele não é projetado para ter uma duração eternas e assim, possuindo um período de vida útil e sofrendo deteriorações com o decorrer do tempo, devido ao tráfego e os fatores climáticos. Sendo necessário que haja um gerenciamento do mesmo, podendo ser realizado o método de manutenção adequado de acordo com as análises de condição do pavimento. O presente trabalho utiliza o método PCI - *Paviment Conditions Index*, para analisar e classificar a condição do pavimento e comparar a degradação dos dois trechos da PE-112, trecho entre Camocim de São Félix e São Joaquim do Monte e o trecho entre São Joaquim do Monte e o trevo do Formigueiro, devido a necessidade emergencial de métodos de conservação do pavimento todos os anos. Ao analisar os resultados percebe-se que os dois trechos se apresentam com subtrechos de condições entre regulares e muito ruim, apresentando muitas panelas, fissuras, remendos e desgaste.

O Trecho 1 apresentou 60% das seções analisadas com a classificação regular e já o Trecho 2 se mostrou mais degradado, com 50% das suas seções de análise com classificação como muito ruim, obtendo coerência no motivo de maior desgaste do pavimento desse trecho.

**PALAVRAS-CHAVE:** Avaliação de pavimento flexível. Defeitos de pavimentos. Caracterização de pavimento.

## FLEXIBLE PAVEMENT ANALYSIS BY PCI METHOD: CASE STUDY OF TWO SECTIONS OF PE-112

**ABSTRACT:** The flexible pavement has the functionality of providing transport in a way that ensures safe, comfortable and economical traffic conditions. However, it is not designed to last forever and thus has a lifetime and suffers deterioration over time due to traffic and weather factors. It is necessary that there is a management of it, and can be performed the appropriate maintenance method according to the analysis of condition of the pavement. The present study uses the PCI - Paviment Conditions Index method, to analyze and classify the pavement condition and compare the degradation of the two stretches of PE-112, between Camocim de São Félix and São Joaquim do Monte and the stretch between São Joaquim do Monte and Formigueiro, due to the emergency need for pavement conservation methods every year. Analyzing the results, it can be seen that the two stretches are presented with subtrechos of conditions between regular and very bad, with many pans, cracks, patches and wear. Section 1 presented 60% of the analyzed sections with the regular classification and Section 2 was more degraded, with 50% of its analysis sections classified as very bad, obtaining consistency in the reason for greater wear of the pavement of this section.

**KEYWORDS:** Evaluation of flexible pavement. Pavement defects. Characterization of pavement.

### 1 | INTRODUÇÃO

As rodovias possuem um grande valor do transporte relacionado as atividades socioeconômica e deve apresentar de forma permanente um desempenho que satisfaça. Ou seja, deve ofertar ao usuário condições de tráfego segura, confortável e econômica.

De acordo com o Anuário da Confederação Nacional de Transporte - CNT (2018) a malha rodoviária pavimentada total por região e unidade de Federação vem crescendo do ano de 2001 para o ano de 2017, mas mostra também que a malha não pavimentada ainda é muito superior. Apesar da região Nordeste possuir a maior malha pavimentada, temos também, por classificação do pavimento no ano de 2017, que 48% da extensão total (Km) é classificada como regular, ruim ou péssima e para o estado de Pernambuco, 65% da extensão total (Km) é classificada com essas mesmas más categorias.

A frota de veículos continua crescendo exponencialmente, a malha rodoviária brasileira não cresce nessa mesma proporção e ainda padece de deficiências estruturais contribuindo para um índice crescente de mortes e acidentes de trânsito.

De acordo com Bernucci *et al.* (2006), pavimento é uma estrutura de várias camadas que possuem espessura finitas, construída sobre uma base destinada a resistir os esforços provenientes do tráfego de veículos e do clima. Podendo então dizer que pavimento são camadas posta uma sobre as outras, de materiais diferentes, que conseguem atender estruturalmente aos esforços de tráfego, de forma durável e econômica.

Logo, o pavimento flexível é aquele que é constituído por camadas que não trabalha à tração. Conforme Marques (2014) para esse tipo de pavimento se utiliza um número maior de camadas e distribui as cargas para uma área mais concentrada do subleito.

Segundo CNT (2017) os pavimentos flexíveis não são dimensionados e construídos para durar eternamente, mas devem ter projetos elaborados de acordo com as Normas e Procedimentos para Projeto de Pavimentação e Restauração do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER e a sua estrutura deve garantir segurança, conforto e suportar as repetições de eixos no período de 10 anos. E para isso deve existir o projeto de restauração do pavimento promovendo a reabilitação do atual pavimento utilizando os procedimentos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte - DNIT.

Por melhor que seja o projeto e a execução, a obra está sujeita a falhas e para isso deve ser observado o comportamento do pavimento para poder fazer o processo de manutenção de forma adequada e no momento adequado. De acordo com Bernucci *et al.* (2006) a finalidade de determinar os defeitos da superfície do pavimento é avaliar o seu estado de conservação e então poder embasar o diagnóstico da situação funcional para auxiliar na definição de uma solução tecnicamente adequada. Além de poder indicar as melhores alternativas de restauração do pavimento.

Ou seja, defeitos são os danos na superfície dos pavimentos capazes de serem identificados visualmente e classificados segundo uma terminologia normatizada (DNIT 005/2003 - TER, 2003).

Assim, é essencial se ter métodos de avaliação de pavimentos, à medida que surge a necessidade de saber qual a condição do pavimento em um determinado momento, para verificar se este ainda possui vida útil restante ou se será necessária alguma intervenção. Logo, é preciso que esse trecho seja avaliado, periodicamente, para que se tenha propriedade de como estão os aspectos estruturais, de desempenho, serventia etc. (BERNUCCI *et al.*, 2006).

De acordo com o DNIT (2011) a gerência de pavimentos é constituída na atualidade pela ferramenta de administração que tem por objetivo a determinação

da melhor forma da aplicação dos recursos públicos disponíveis, para conseguir responder as necessidades dos usuários dentro da melhor relação de Custo x Benefício.

Para a PAVESYS (2013) a gerência de pavimento de forma ampla, é formada por todas as atividades envolvidas no planejamento, no projeto, na construção, na manutenção e na avaliação dos pavimentos. Onde, o Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) é um conjunto de métodos que tem a finalidade de encontrar soluções estratégicas para construir, avaliar e manter o sistema pavimento de forma adequada e que dure o seu período de vida em condições de funcionalidade ideal.

Portanto, conforme Fontenele *et al.* (2010) para que seja realizado a conservação e melhoramento dos sistemas viários, há necessidade de que haja controle de forma contínua sobre a situação atual das vias, onde os trechos devem ser objeto de vistorias permanentes, respeitando três etapas: localização do defeito; determinação da causa e execução do reparo. Ou seja, realizando serviços de avaliação da situação da estrada, reconhecendo os seus defeitos de rolamento, sinalização e drenagem para poder então serem aplicadas as medidas necessárias para restaurar o trecho analisado.

De acordo com Headquarters (1982) a condição do pavimento é responsável por vários fatores, incluindo integridade estrutural, capacidade estrutural, rugosidade, resistência à derrapagem/potencial de hidroplanagem e taxa de deterioração. E esses fatores podem ser avaliados através de observação e medição das patologias no pavimento. Assim, o método de análise *Paviment Conditions Index* (PCI), que foi elaborado pelos Engenheiros do Exército dos Estados Unidos, é utilizado para realização de análise objetiva medindo a integridade estrutural da pavimentação e condição operacional superficial. Onde, a classificação da condição do pavimento é baseada no PCI, que indica através de número baseado em uma escala de 0 a 100.

Logo, é de suma importância que seja realizado o diagnóstico das patologias dos pavimentos flexíveis, para que possa ser determinado os defeitos e quais as suas causas, para que então seja tomada a melhor forma de manutenção (MOTA, 2017).

A manutenção compreende em um processo ordenado que venha oferecer uma circulação de veículos econômica, confortável e seguro. Podendo se dividir em 4 grupos básicos: conservação, melhoramentos, recuperação do pavimento através de sua restauração e recuperação do pavimento através de sua reabilitação (DNIT, 2006).

Com tudo, esse estudo tem como objetivo analisar os dois trechos da PE-112, trecho entre Camocim de São Félix e São Joaquim do Monte e o trecho entre São Joaquim do Monte e o trevo do Formigueiro, pelo método do PCI. Tendo em vista

que o pavimento vem sofrendo, em um período muito curto depois de realizado os processos de conservação da rodovia, problemas sérios de degradação que vem afetando a sua serventia.

A análise desse trabalho servirá de subsídio para determinar a melhor forma de recuperação da PE-112, tendo em vista que todo ano ocorre o evento turístico e religioso da Romaria do Frei Damião, e é realizado a operação tapa buraco na rodovia, devido a cidade receber milhares de visitantes. Porém, em um período menor que 6 meses o pavimento retorna a um estado precário e até mesmo pior que o ano anterior. Assim, acarretando em grande desconforto aos usuários e diminuindo significativamente a segurança.

## 2 | MÉTODO DE PESQUISA

A metodologia proposta foi composta pela avaliação objetiva, através do método PCI- *Paviment Conditions Index*. Na pesquisa foi realizado o estudo de caso nos dois trechos, da rodovia do agreste central de Pernambuco, a PE-112, que é uma via de jurisdição Estadual de responsabilidade do Departamento de Rodagem de Pernambuco (DER).

O primeiro trecho é aquele que faz ligação entre a cidade de Camocim de São Félix/PE e a cidade de São Joaquim do Monte/PE, com uma extensão de 10 km, como mostra a Figura 1 (a). O segundo trecho é o que faz ligação entre a cidade de São Joaquim do Monte/PE e o trevo do Formigueiro, com uma extensão de 12 km, conforme a Figura 1(b).

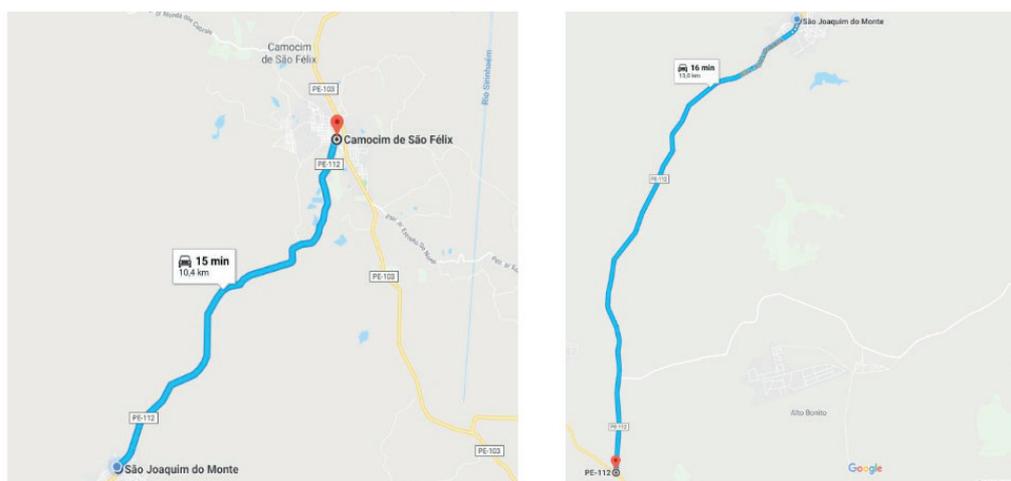


Figura 1 - Localização dos trechos da PE-112

- (a) Localização do trecho 1 em estudo      (b) Localização do trecho 2 em estudo

Fonte: Google Maps, 2018

O município de São Joaquim do Monte é localizado no estado de Pernambuco,

de uma área de 231,8 km<sup>2</sup> onde no ano de 2010 de acordo com o IBGE (2016) possuía 20.488 habitantes. Com uma densidade demográfica de 88,4 habitantes por km<sup>2</sup> e situado a 452 metros de altura, com as coordenadas geográficas: Latitude: 8° 25' 48" Sul e Longitude: 35° 48' 27" Oeste. E de acordo com IBGE de 2016 possui uma frota de 3481 veículos, sendo 13% destes veículos pesados.

De acordo com os dados de projeto da PE-112 fornecidos pelos engenheiros do DER, tem-se que o trecho 1 foi construído no ano de 1986 e o trecho 2 no ano de 2001, logo tendo os trechos uma vida de 32 anos e 17 anos, respectivamente. Assim, os dois trechos tendo ultrapassando a vida útil do pavimento.

Para realização da análise objetiva nos trechos da PE-112 foi necessário realizar observações e registros em campo. Inicialmente foram feitas diversas pesquisas bibliográficas para servir como base para a determinação do método realizado na análise do pavimento.

Para a análise objetiva a coleta de dados e ocorrências dos trechos selecionados seguiram os procedimentos a seguir:

- a) Os trechos foram divididos em trechos menores de 2 km;
- b) Dividiu-se os trechos de 2 km selecionados em 10 seções homogêneas, equivalente a área de 225 m<sup>2</sup> (37,5 m x 6 m), localizadas três no início, quatro no meio e três no fim de cada trecho;
- c) Foram determinadas as planilhas de levantamento de campo, na quantidade de uma para cada seção;
- d) Percorreu-se a seção de análise e foi apontado manualmente no local apropriado na planilha o tipo de defeito, sua severidade e extensão, conforme os defeitos presentes na própria planilha.

Segundo Berbel (2016), para a realização do método PCI o trecho deve ser dividido em áreas de amostra de aproximadamente 225m<sup>2</sup>, onde devem ser determinados os tipos de defeitos, porcentagem de área afetada e a severidade de cada defeito, onde tudo isso deve ser anotado em planilha. Após o levantamento de dados, estes devem ser lançados para a planilha de cálculo e pode se obter os valores de dedução de acordo com cada tipo de defeito, sua severidade e extensão, utilizando das curvas de valores de dedução desse método, e através da soma dos valores de dedução é possível obter o Valor Total de Dedução (VTD). Obtendo o VTD, é necessário fazer a correção em função da quantidade de defeitos encontrados no trecho, obtendo o Valor de Dedução Corrigido (VDC), podendo obter o PCI.

Assim que obtido o valor do PCI no trecho considerado, o pavimento pode então ser classificado de acordo com o Quadro 1.

PCI	Condição do Pavimento
100 - 86	Excelente
85 - 71	Muito Bom
70 - 56	Bom
55 - 41	Regular
40 - 26	Ruim
25 - 11.	Muito Ruim
10 - 0	Péssimo

Quadro 1 - Escala de PCI e Classificação de Condição

Fonte: Adaptação pelo Autor de Headquarters, 1982

Obtendo todos os dados do método PCI foi possível determinar a condição do pavimento e comparar esses resultados entre os dois trechos para poder analisar quais as possíveis causas e assim servir como subsídio para tomar a(s) possível(s) medida(s) que solucionará os defeitos dos dois trechos.

### 3 | ANÁLISE E RESULTADOS DE DADOS

Nesse capítulo serão expostos todos os resultados obtidos após a coleta de dados do método de análise objetiva obtida pelo método PCI. Obtendo todos os dados levantados, os cálculos foram realizados para a determinação da classificação de degradação do pavimento.

Para o Trecho 1, que possui uma extensão de 10 km, foi realizado a divisão de 5 subtrechos de 2 km, em um total de 50 seções de análise, de nomenclatura de 1 a 50, no sentido Camocim de São Feliz à São Joaquim do Monte. Para o Trecho 2, que tinha 12 km de extensão, foi dividido em 6 subtrechos de 2 km, obtendo um total de 60 seções, de nomenclatura de 1 a 60, no sentido de São Joaquim do Monte ao trevo do Formigueiro. As seções tinham uma área de 37,5 metros de comprimento por 6 metros de largura, que é a largura total da via.

Após ser feito o levantamento do tipo de defeito, o seu quantitativo, extensão e severidade, lançou esses dados para as planilhas de cálculo, onde pode ser calculado para cada seção o percentual de cada defeito, ou seja, sua densidade. Obtido a densidade de cada defeito foi possível determinar os valores de dedução, através das curvas de dedução para cada defeito. Somando todos os valores de dedução obteve o Valor de Dedução Total (VTD), corrigindo esse valor através do gráfico de Headquarters (1982), que relaciona o VTD com a quantidade de defeitos, obteve-se o Valor de Dedução Corrigido (VDC), podendo então determinar o Índice de Condição do Pavimento (PCI) para cada seção, pela Equação 1:

$$PCI = 100 - VDC$$

(Equação 1)

Assim que obtido o valor para PCI o pavimento pode então ser classificado de acordo com o Quadro 1. Para os dois trechos obteve-se as classificações expostas no Quadro 2.

Trecho 1	PCI	Classificação	Trecho 2	PCI	Classificação
Subtrecho 1	55,5	regular	Subtrecho 1	15,5	Muito ruim
Subtrecho 2	45,1	regular	Subtrecho 2	31,8	Ruim
Subtrecho 3	33,9	ruim	Subtrecho 3	21,5	Muito ruim
Subtrecho 4	28,3	ruim	Subtrecho 4	44,9	Regular
Subtrecho 5	45,3	regular	Subtrecho 5	37,4	Ruim
			Subtrecho 6	22,9	Muito ruim

Quadro 2 - PCI e classificações dos Subtrechos

Fonte: Autor, 2019

Logo, pelo Gráfico 1, têm-se a comparação dos valores de PCI dos subtrechos dos dois trechos analisados. Onde o Trecho 2 apresentou subtrechos mais degradados que no Trecho 1.

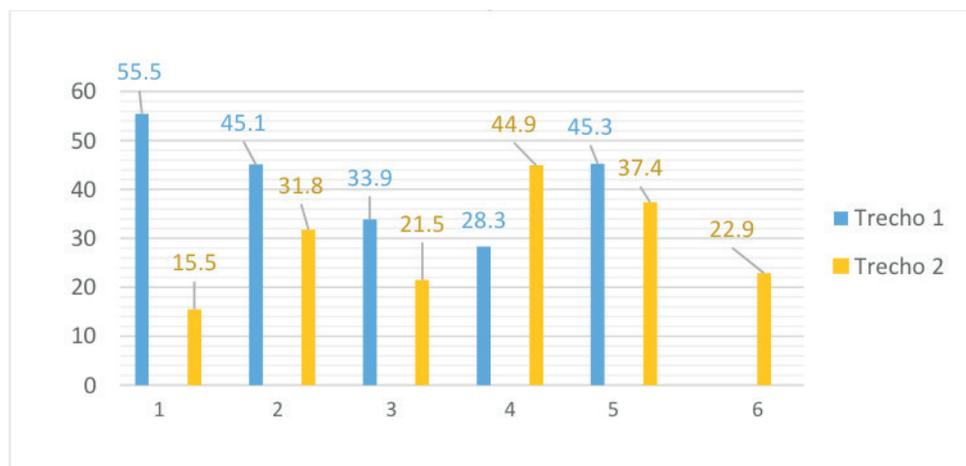


Gráfico 1 – Valores do PCI para os 2 trechos analisados

Fonte: Autor, 2019

Com base nos valores obtidos de PCI tem-se que para no Trecho 1, 60% do trecho foi classificado como regular e 40% como ruim, como mostra o Gráfico 2.

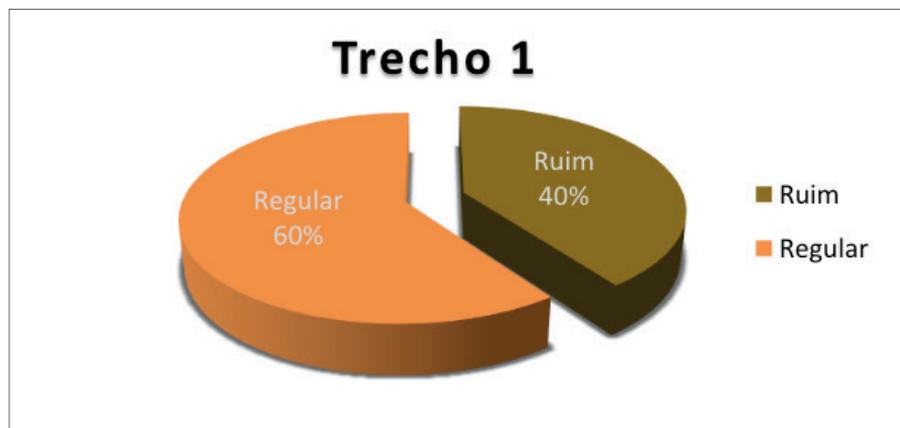


Gráfico 2 - Percentual de classificação da condição do pavimento do Trecho 1

Fonte: Autor, 2019

Já para o Trecho 2 conforme o Gráfico 3, 33,33% foi classificado como ruim, 50% como muito ruim e 16,7% como regular.

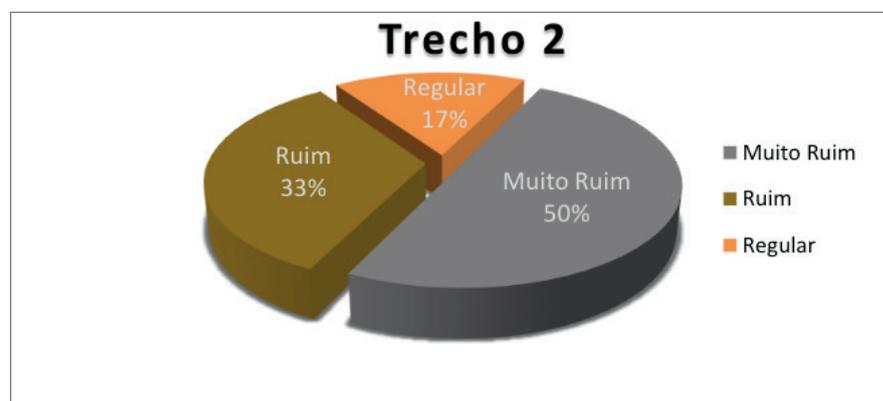


Gráfico 3 – Percentual de classificação da condição do pavimento do Trecho 2

Fonte: Autor, 2019

Nos trechos analisados foram encontrados diversos tipos de defeitos, de severidade baixa a alta, a Figura 2 demonstra uma das seções mais degradada de cada trecho analisado. A Figura 2 (a) mostra uma elevação de severidade alta e trincas tipo couro de crocodilo de severidade baixa, encontradas no Trecho 1. E a Figura 2 (b) mostra diversas painéis de severidade baixa a média, como um remendo e trincas tipo couro de crocodilo de severidade média, encontrados no Trecho 2.



Figura 2 – Seções de alto estado de degradação nos Trechos analisados

(a) Elevação e trinca tipo couro de crocodilo da seção 37 do Trecho 1 (b) Painelas da seção 2 do Trecho 2

Fonte: Autor, 2018

A metodologia sugerida estabelece que a condição do pavimento decresce com a ocorrência de defeitos que prejudiquem a trafegabilidade. Podendo concluir que o pavimento se encontra bastante degradado, acarretando em sérios problemas para a serventia, conforto e segurança dos dois trechos. Além de todos os defeitos analisados, como trincas, fissuras, painelas etc., foi também observado que os trechos não possuíam sinalização e acostamento.

Analisando em relação aos dados de projeto da PE-112 fornecidos pelos engenheiros do DER, para determinar as causas desse estado crítico do pavimento, tem-se que o Trecho 1 possui 36 anos de vida e o Trecho 2 possui 17 anos, onde a vida útil do pavimento é de 10 anos, concluindo que o tempo de vida do pavimento, para os dois trechos, já ultrapassa o determinado em projeto. E em todo esse tempo apenas no Trecho 1, no ano de 1994 foi realizado um método de reabilitação da via, e para o Trecho 2 não foi tomado nenhuma medida de reabilitação ou recapeamento, o que tornou os trechos da PE-112 tão propícios a esse alto estado de degradação.

#### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A PE-112 é a única via que dá acesso à cidade de São Joaquim do Monte, e por ser uma cidade de porte pequeno em desenvolvimento econômico e populacional, acarreta num fluxo maior de tráfego para cidades circunvizinhas, como Caruaru que é um polo econômico e acadêmico. Sendo necessário que seja dada uma atenção

maior a condição de rolamento e serventia do pavimento.

Em vista disto, foi realizado a análise pelos métodos PCI para caracterizar os dois trechos propostos e determinar as possíveis causas. Onde foram verificados a existência de diversos defeitos, prevalecendo para os dois trechos a existências de panelas, fissuras longitudinais e transversais, desgastes e remendos, sendo de severidades baixa, média e alta. O que tornou a classificação dos subtrechos entre regular a péssimo.

O Trecho 2 se mostrou como o mais degradado, aonde seus subtrechos obtiveram valores de PCI mais baixo que no Trecho 1. Porém, apesar do Trecho 1 não ter se apresentado como o mais degradado, foi possível notar que este possui uma diversidade maior de tipos de defeitos, além de um grande número de remendos, o que já diminui a qualidade de rolamento do pavimento.

Com isso, foi observado que para a grande ocorrência dos defeitos na rodovia em um período menor que um ano se dá devido aos dois trechos já ultrapassarem a sua vida útil e a medidas de correção pontuais realizadas em tempo muito curto sem eliminar todos os defeitos existentes, possibilitando uma condição de rolamento regular para atender ao evento festivo da cidade, a Romaria do Frei Damião, porém não possibilitando um reforço estrutural ao pavimento.

Tornando necessário que o governo do estado de Pernambuco invista mais no processo de manutenção da rodovia, melhorando o gerenciamento do ciclo do pavimento com a realização de análises para determinação da melhor medida de manutenção atendendo aos critérios de qualidade, tempo e custo.

Ressaltando que, em caso de utilização desse método para decisão da medida de manutenção mais apropriada, pode ser realizado com mais seções de análise para poder ter um conhecimento melhor do total de defeitos existentes e uma melhor confiabilidade para as decisões tomadas, o que aumentaria a confiança e precisão dos resultados.

## REFERÊNCIAS

BERBEL, Mauê Foloni. **APLICAÇÃO DO MÉTODO DO PCI – PAVIMENT CONDITIONS INDEX – PARA DETERMINAÇÃO DE SERVIÇOS DE RESTAURAÇÃO E MANUTENÇÃO EM UM TRECHO DA AVENIDA TUPI DE PATO BRANCO-PR**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC em Engenharia Civil) - UTFPR. Pato Branco/PR, 2016. 124p.

BERNUCCI, Liedi Bariani. et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006. 504f.

BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNIT 005/2003 - TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Terminologia**. Rio de Janeiro, 2003.12p.

\_\_\_\_\_. **Manual de Gerência de pavimentos**. Rio de Janeiro, 2011. 189p.

\_\_\_\_\_. **Manual de Restauração de pavimentos asfálticos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 310p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Brasília: CNT, 2017.

\_\_\_\_\_. **ANUÁRIO CNT DO TRANSPORTE: Estatísticas consolidadas**. [s.l.]: CNT, 2018. Disponível em: <<http://anuariodotransporte.cnt.org.br/2018/Rodoviario/1-3-1-2-/Condi%C3%A7%C3%A3o-de-rodovias---Pesquisa-CNT-de-Rodovias>>. Acesso em: 25 ago. 2018.

FONTENELE, Heliana Barbosa. et al. **Análise Da Eficácia Do Método Do Pavement Condition Index Na Caracterização De Vias Urbanas (Analysis Of The Effectiveness Of The Method Of Pavement Condition Index In The Characterization Of Urban Route)**.

CONINFRA 2010 – 4º Congresso De Infra-Estrutura De Transportes. São Paulo, 2010. 14p.

HEADQUARTERS, DEPARTMENT OF THE ARMY. **PAVEMENT MAINTENANCE MANAGEMENT**. Washington, 1982. 171p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Frota de veículos da cidade de São Joaquim do Monte/PE**. [s.l., 2016]. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/sao-joaquim-do-monte/pesquisa/22/28120?tipo=grafico&indicador=28120>> Acesso em: 18 de Nov. 2018.

MARQUES, Gabriele Born. **ANÁLISE DE PAVIMENTO FLEXÍVEL: ESTUDO DE UM TRECHO CRÍTICO NA RODOVIA ERS - 421**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC em Engenharia Civil) - UNIVATES. Lajeado, 2014.

MOTA, Gabriel Luan Paixão. **Técnicas de recuperação de patologias em pavimentos de asfalto**. Tocantins, 2017. Disponível em: <[https://www.linkedin.com/in/gabrielluan/?lipi=urn%3Ali%3Apage%3Ad\\_flagship3\\_pulse\\_read%3Bc1fQhkkQQzq1Mz2BdmO27g%3D%3D&licu=urn%3Ali%3Acontrol%3Ad\\_flagship3\\_pulse\\_read-profile\\_bottom\\_bar](https://www.linkedin.com/in/gabrielluan/?lipi=urn%3Ali%3Apage%3Ad_flagship3_pulse_read%3Bc1fQhkkQQzq1Mz2BdmO27g%3D%3D&licu=urn%3Ali%3Acontrol%3Ad_flagship3_pulse_read-profile_bottom_bar)> Acesso em: 13 de Outubro de 2018.

PAVESYS Engenharia de Pavimentos. Porto Alegre/RS, 2013. Disponível em: <<http://pavesys.com.br/sgpsistemas-de-gerencia-de-pavimentos/>> Acesso em: 09 de Set. 2018.

## ESTUDO GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA DE SOLOS COLETADOS EM TERESINA-PI

Data de aceite: 11/12/2019

Data de submissão: 31/10/2019

### **André Filipe Conceição Silva**

Facid/Wyden, Engenharia Civil

Teresina – Piauí

<http://lattes.cnpq.br/2674340222226363>

### **Álvaro Escórcio Dias**

Facid/Wyden, Engenharia Civil

Teresina – Piauí

<http://lattes.cnpq.br/6817917181440270>

### **Antônio Carlos Silva de Araújo**

Facid/Wyden, Engenharia Civil

Teresina – Piauí

<http://lattes.cnpq.br/4897194357574676>

### **Antonio Vinicius Bastos Teixeira**

Facid/Wyden, Engenharia Civil

Teresina – Piauí

<http://lattes.cnpq.br/0912279820696090>

### **Carlos Eduardo Rodrigues Leite**

Facid/Wyden, Engenharia Civil

Teresina – Piauí

<http://lattes.cnpq.br/3299833906018076>

### **Lívia Racquel de Macêdo Reis**

Facid/Wyden, Engenharia Civil

Teresina – Piauí

<http://lattes.cnpq.br/5996712757867432>

para determinar a distribuição granulométrica do solo, visando obter a percentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de grãos representa na massa seca total utilizada para o ensaio (BRIVALDO). Através dos procedimentos e resultados da análise, foi possível observar as características granulométricas da amostra de solo, tais como as dimensões e proporções dos grãos formadores do solo estudado. Tal análise contribuiu para a construção e aprimoramento do conhecimento referente à agregados, mostrando que mesmo um solo aparentemente homogêneo pode ser composto de diferentes tipos de agregados e que o estudo das suas proporções em relação a massa seca é fundamental para a correta caracterização do solo. A análise granulométrica visa à quantificação da distribuição das partículas individuais de minerais do solo e suas respectivas porcentagens de ocorrência em relação a massa seca total. O objetivo principal deste trabalho foi realizar ensaios de granulometria em um solo coletado na cidade de Teresina (PI). A metodologia baseou-se nas Normas da ABNT, em que o ensaio é feito por peneiramento ou pelo método da sedimentação, onde cada ensaio tem sua finalidade. Os solos grossos (areias e pedregulhos), possuindo pouca ou nenhuma quantidade de finos, podem ter sua curva granulométrica inteiramente determinada utilizando-se somente o peneiramento, esse tipo

**RESUMO:** O ensaio de granulometria é utilizado

de material é retido na peneira de (2,00mm). Em solos possuindo quantidades de finos (material que passa na peneira de 2,00mm) significativas, deve-se proceder ao ensaio de granulometria conjunta, que engloba as fases de peneiramento e sedimentação. Com os resultados obtidos no ensaio, foi construída a curva de distribuição granulométrica, que possui grande importância na caracterização geotécnica do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Granulometria. Solo. Agregados. Peneiramento.

## GRANULOMETRIC STUDY OF THE SAMPLE OF SOILS COLLECTED IN TERESINA-PI

**ABSTRACT:** The particle size test is used to determine the soil particle size distribution using a specific weight range for each specified grain size range that represents the total dry mass used for the test (BRIVALDO). Through the procedures and results of the analysis, it was possible to observe as granulometric resources of the soil sample, as dimensions and proportions of the forming grains of the studied soil. This analysis contributed to the construction and improvement of knowledge regarding aggregates, showing that even an apparently homogeneous soil can be composed of different types of aggregates and that the study of their proportions in relation to dry mass is fundamental for the correct characterization of soil. A visa particle size analysis to quantify the distribution of soil minerals individuals and their percentages of occurrence in relation to the total dry mass. The main objective of this work was to perform granulometry tests in a soil collected in the city of Teresina (PI). A methodology based on ABNT Standards, in which the test is made by sieving or the sedimentation method, where each test has its use. Coarse soils (areas and boulders), having little or no amount of fines, can have their particle size curve that is allowed using only sieving, this type of material is retained in the (2.00 mm) sieve. In soils that can be used for fine materials (material that passes the 2.00mm sieve), the joint granulometry test should be carried out, which comprises as screening and sedimentation phases. With the results obtained in the test, a particle size distribution curve was constructed, which has great importance in the geotechnical characterization of the soil.

**KEYWORDS:** Granulometry. Soil. Aggregates. Sieving.

### 1 | INTRODUÇÃO

A análise granulométrica visa à quantificação da distribuição por tamanho das partículas individuais de minerais do solo, portanto, visa determinar as dimensões das partículas do agregado e suas respectivas porcentagens de ocorrência em relação a massa seca total. É um ensaio fundamental, tendo em vista que, através dela é possível a construção da curva de distribuição granulométrica, curva que possibilita uma correta caracterização geotécnica do solo, o que para o contexto da construção civil mostra-se indispensável (BRIVALDO). Para isso, foram utilizadas as normas NBR 7181/84 (Solo - Análise Granulométrica), NBR 6457/86 (Amostras

de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaio de caracterização – método de ensaio), NBR 6502/95 (Rochas e solos).

## 2 | PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento experimental inicia-se com a extração da amostra de solo e, posteriormente levada ao laboratório em que foi despejado na bandeja para o descanso do material, que levou aproximadamente 19 dias. Após isso, realizou-se a preparação do material onde ocorreu a separação do mesmo e se subdividiu em agregado miúdo e agregado graúdo, e foram introduzidos na estufa, com a temperatura variando de 105°C a 110°C de acordo com a NBR 7181, onde ficou por aproximadamente 12h. Feito isso, foi retirado as amostras do solo da estufa e, em seguida, a pesagem dos mesmos. As peneiras foram organizadas sobre o agitador, sendo que primeiro foi feito o ensaio granulométrico fino e posteriormente o grosso. O processo de peneiramento é equivalente para ambas as amostras, porém com o uso de peneiras diferentes (as peneiras utilizadas estão presentes na tabela 1). Logo foi feita a secagem do material retido em estufa, à temperatura de 105°C a 110°C, até a constância de massa, e, utilizando-se o agitador, passando nas peneiras nos dois casos. Posteriormente foi pesado as massas retidas em cada peneira e foi pesado sem as massas, para a obtenção do valor de cada amostra.

Abertura da peneira (mm)	
Peneiramento Fino	Peneiramento Grosso
1,18	50
0,6	37,5
0,42	25
0,25	19
0,15	9,5
0,075	4,75

Tabela 1 – Peneiras utilizadas  
Fonte: Elaborada pelos autores, 2019.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise da amostra do solo estudado, foi alcançado os resultados apresentados na tabela 2 (amostra do solo fino) e na tabela 3 (amostra do solo grosso). Para a construção de ambas, assim como os gráficos (figuras 1 e 2) utilizou-se o software Microsoft Excel.

As tabelas 1 e 2 apresentam a mesma estrutura, alterando apenas os resultados

para cada amostra de solo. A coluna da fração retida (em porcentagem) foi obtida por meio da divisão do valor da célula referente à massa retida pela massa total, onde na amostra do solo fino era 150g e 86,97g na amostra do solo grosso. Para a obtenção da coluna referente à fração passante (em porcentagem) realizou-se a divisão dos valores da fração passante pela massa total. Com o conhecimento dos dados das tabelas, mais especificamente colunas fração passante (em porcentagem) e abertura das peneiras, foi possível obter as curvas granulométricas referentes a cada amostra de solo estudado (figuras 1 e 2). As curvas granulométricas alcançadas mostraram que 58,27% de toda a amostra de solo fino ensaiada possui faixa de diâmetros entre 0,25mm e 1,18mm com 1,53% do total depositada no fundo (tabela 2).

Peneira (MESH)	Abertura (mm)	Massa Retida (g)	Fração Retida ( $\Delta x$ %)	Fração Passante (g)	Fração Passante (%)
16	1,18	12,16	8,11	137,84	91,893
30	0,6	12,51	8,34	125,33	83,553
40	0,425	14,13	9,42	111,2	74,133
60	0,25	49,32	32,4	61,88	41,253
100	0,15	34,23	22,82	27,65	18,433
200	0,075	25,98	17,32	1,67	1,1
Fundo		1,67	1,53		

Tabela 2 – Amostra do solo fino

Fonte: Elaborada pelos autores, 2019.

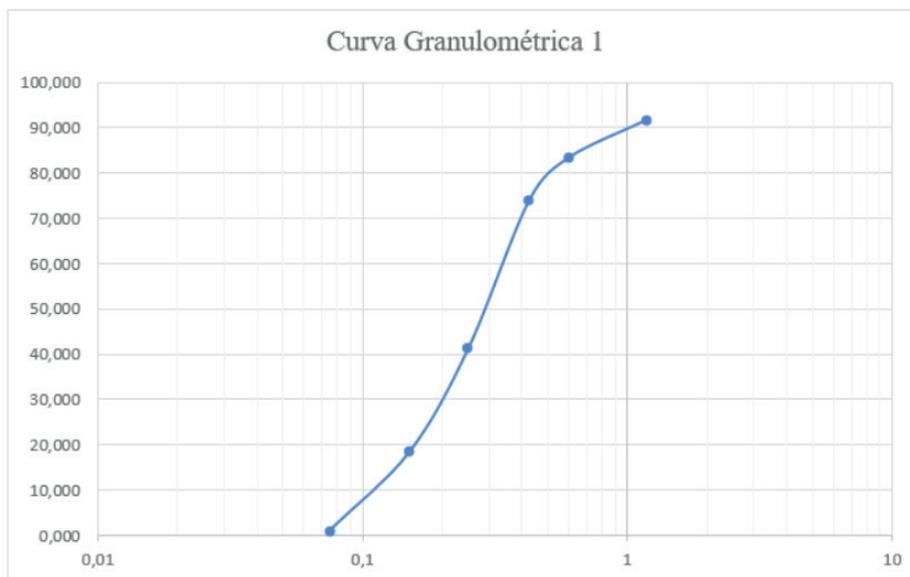


Figura 1 – Curva Granulométrica 1

Fonte: Elaborada pelos autores, 2019.

Com as informações coletadas das duas tabelas, foi possível conhecer as curvas granulométricas referentes a cada amostra de solo estudado, tanto da amostra de

solo fino, como da amostra de solo grosso (figuras 1 e 2).

Foi possível determinar que amostra de solo fino é formada por silte e areias grossa, média e fina (figura 1). Dessa forma a curva demonstra que o solo fino estudado pode ser empregado, no caso da areia grossa, na confecção do concreto, também pode ser utilizada para fazer o chapisco para reboco e drenagem. A areia média lavada por suas características pode ser usada em praticamente todas as fases da obra. Pode ser utilizada na preparação de argamassas para o assentamento de tijolos e blocos. Além das aplicações na construção civil e produção de artefatos de concreto aparente, é muito utilizada para áreas de lazer, como espaços para recreação infantil, campos de futebol de areia e vôlei de praia. A areia fina é utilizada em rebocos e argamassas para revestimentos internos.

A amostra de solo grosso ensaiada possui 4,372% do total compreendido na faixa de diâmetros entre 4,75mm e 50mm, tendo 91,866% do total depositado no fundo.

Peneira (MESH)	Abertura (mm)	Massa Retida (g)	Fração Retida ( $\Delta x$ %)	Fração Passante (g)	Fração Passante (%)
2"	50	0,66	0,731	89,68	99,269
1.1/2"	37,5	0,21	0,232	89,47	99,037
1"	25	0,31	0,343	89,16	98,694
3/4"	19	0,74	0,819	88,42	97,875
3/8"	9,5	0,54	0,598	87,88	97,277
4	4,75	1,49	1,649	86,39	95,628
Fundo		83,01	91,886		

Tabela 3 – Amostra do solo grosso

Fonte: Elaborada pelos autores, 2019.

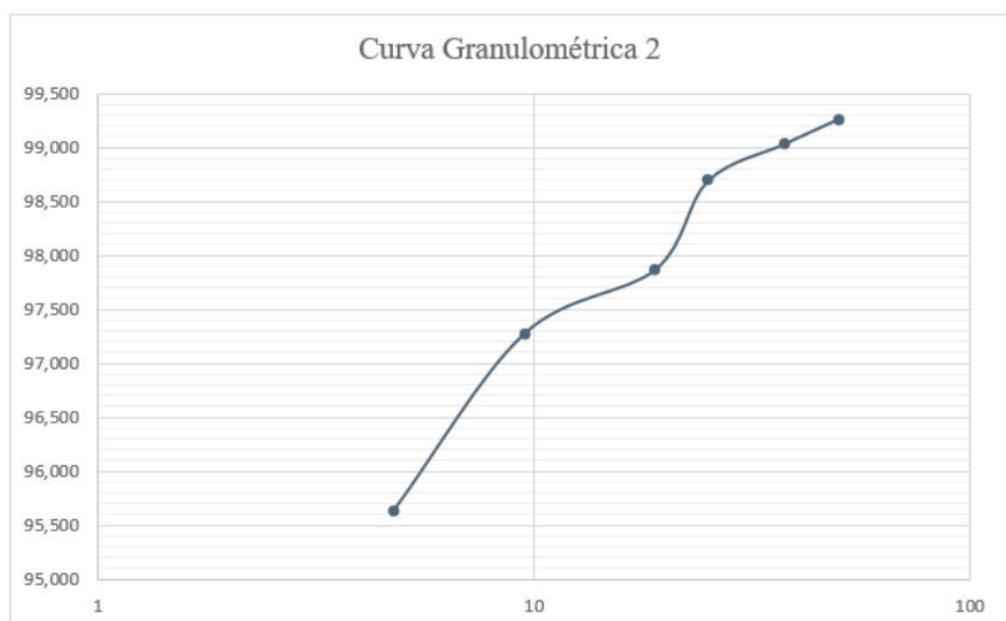


Figura 2 – Curva Granulométrica 2

Fonte: Elaborada pelos autores, 2019

O fato de 91,866% do total da amostra de solo grosso ter ficado retido no fundo (tabela 3), faz com que não seja possível a análise real da amostra, pois a maior parte não foi de fato estudada.

## 4 | CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos do estudo granulométrico do solo, evidencia-se que a amostra de solo analisada é heterogênea, ou seja, é composta por diferentes tipos de solos. O ensaio apresentou traços de areia fina, grossa, e silte, o que demonstra que o solo, quando corretamente separado, tem grande relevância no contexto da construção civil, pois apresenta mais resistência à compactação.

É de suma importância o estudo de granulometria, pois é a partir desse estudo que o responsável técnico de uma construção obtém informações sobre o solo onde irá construir. Tendo em vista, uma vez que o solo é conhecido, pode evitar problemas futuros, como por exemplo fissuras, trincas e ou até mesmo rachaduras em uma construção.

## REFERÊNCIAS

ABNT–ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Amostras de Solo-Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. NBR-6457, 1986.

ABNT–ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo-Análise Granulométrica**. NBR-7181, 1984.

Brivaldo, A. et al. **Padronização para Análise Granulométrica no Brasil**. ISSN: 1517-5685. Rio de Janeiro, 2012.

Olivieri, N. et al. **Metodologias para determinação da granulometria do solo**. ISSN: 1519-8634. Barretos, HOLOS, 2014.

SAIBREIRA, D. **Areia Grossa, Média e Fina 2016**. Disponível em: <<http://www.saibreiraboaesperanca.com.br/site/produtos/areia.html>>. Acesso em: 21 mar. 2019.

## 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 Morais (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  $\rho$ .

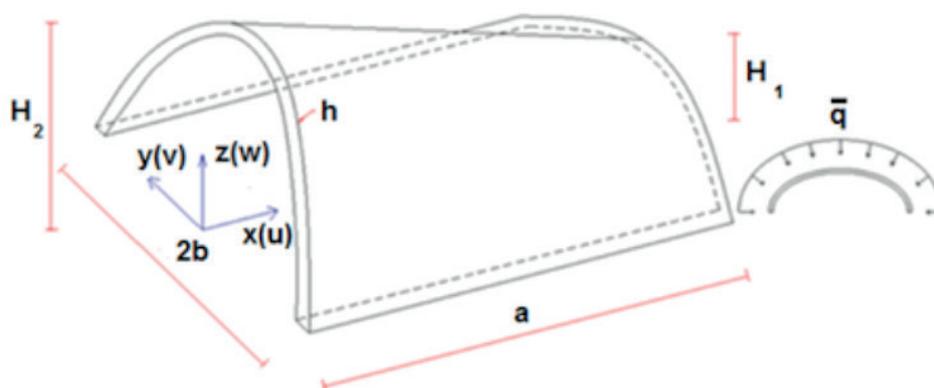


Figura 2- Casca conoidal

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.

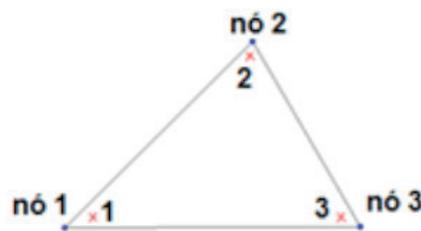


Figura 3- Elemento finito STRI3 (Morais, 2017)

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.

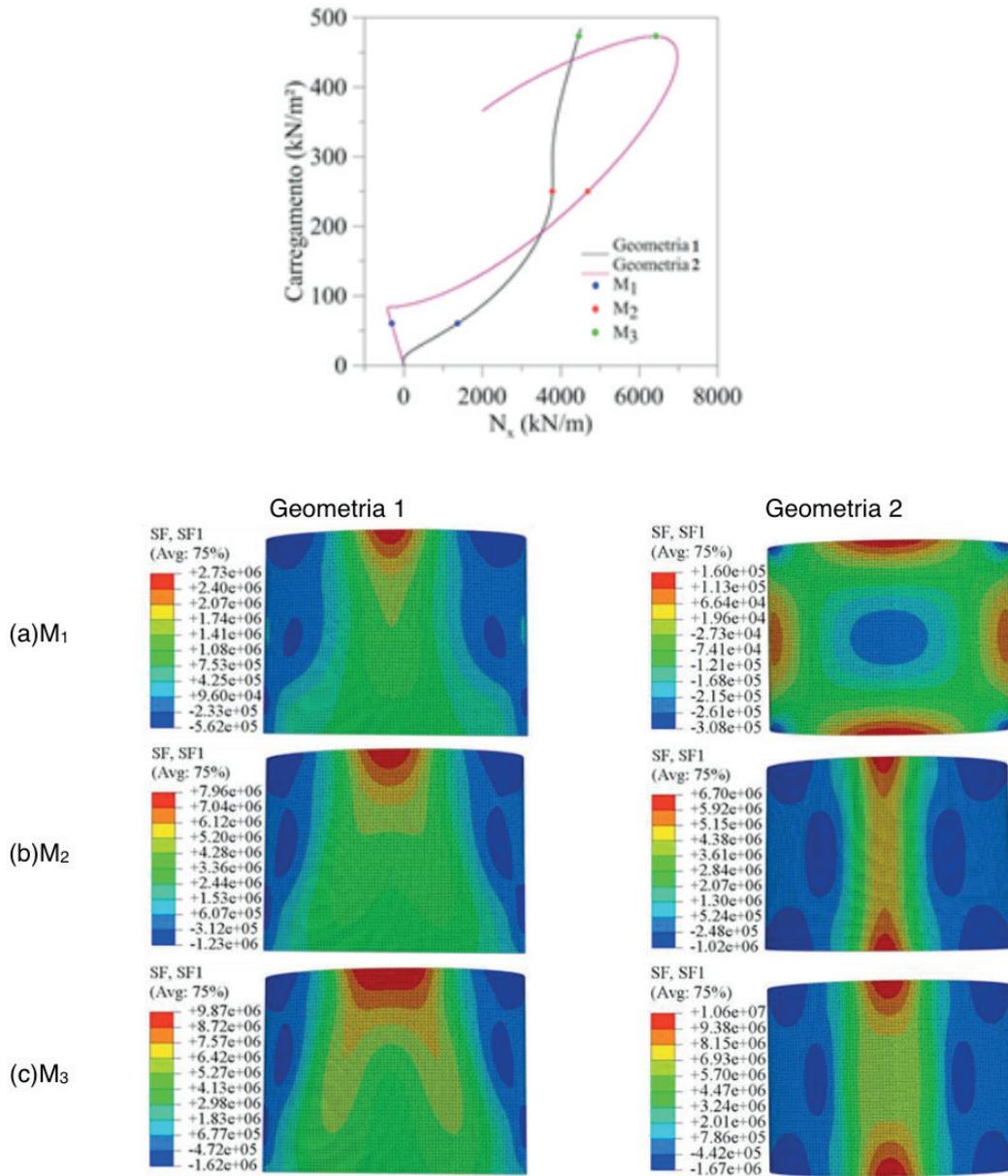


Figura 5- Trajetória não linear de  $N_x$  do conóide cilíndrico

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.

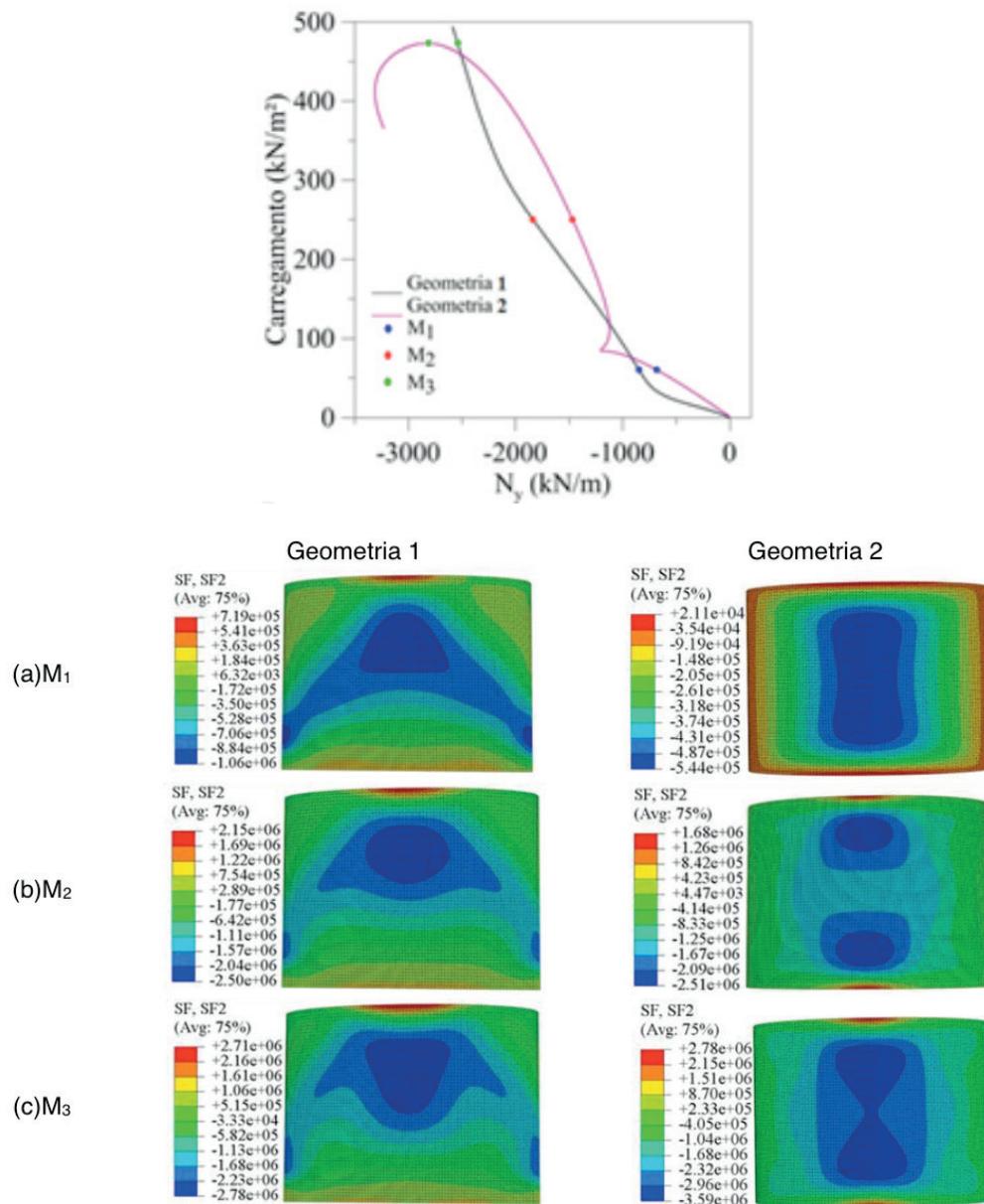


Figura 6- Trajetória não linear de  $N_y$  do conóide cilíndrico

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.

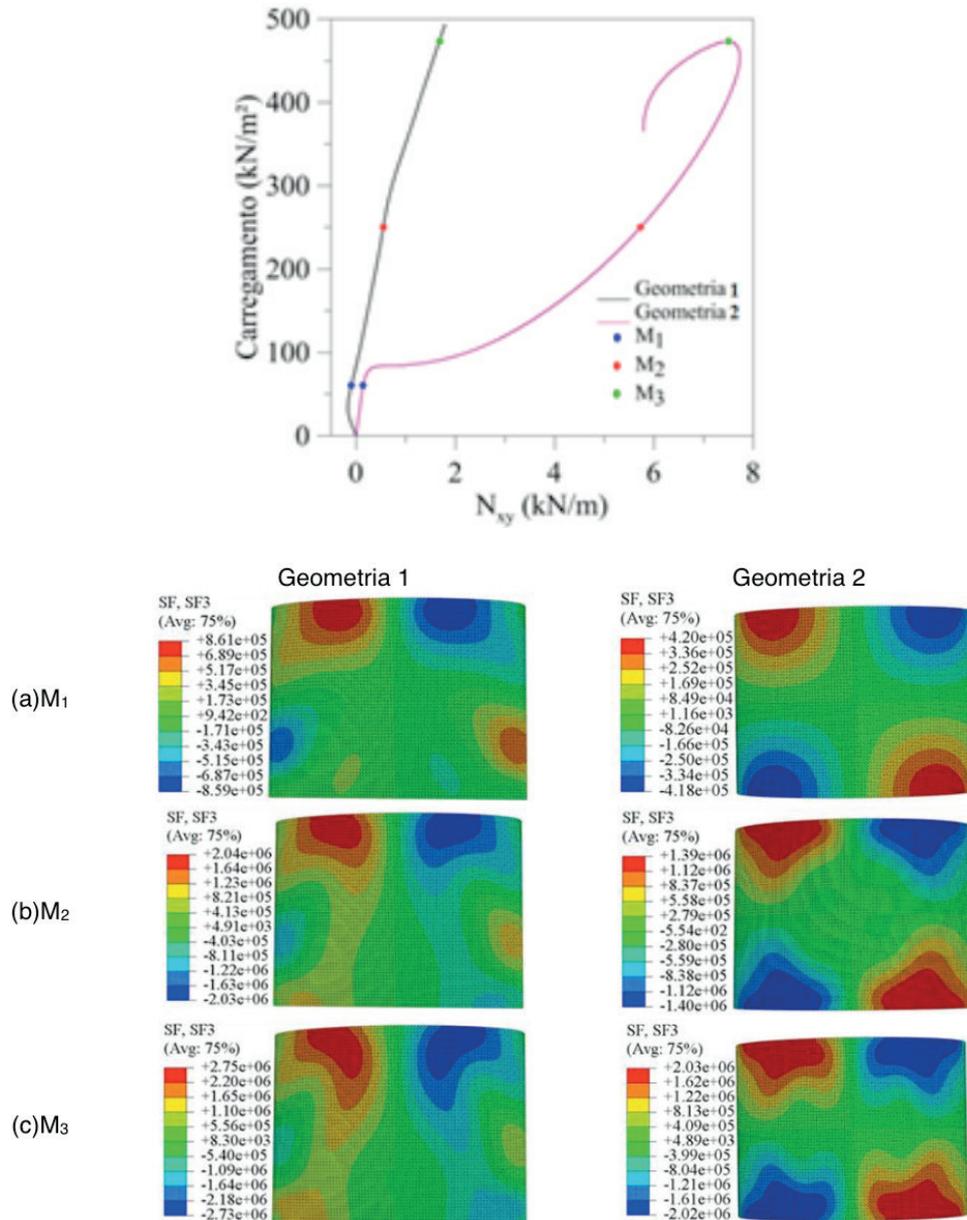


Figura 7- Trajetória não linear de  $N_{xy}$  do conóide cilíndrico

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.

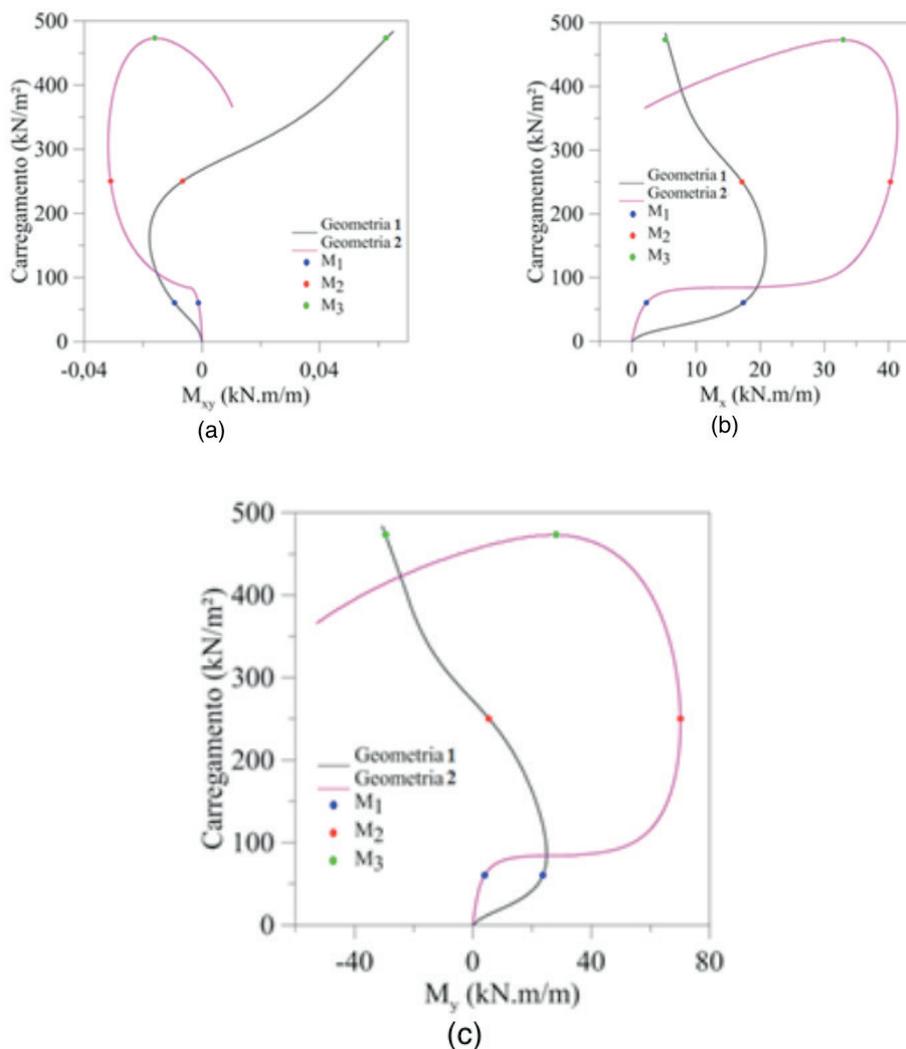


Figura 8- Trajetória não linear dos esforços solicitantes (a) Torção (b) Flexão em x (c) Flexão em y.

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.

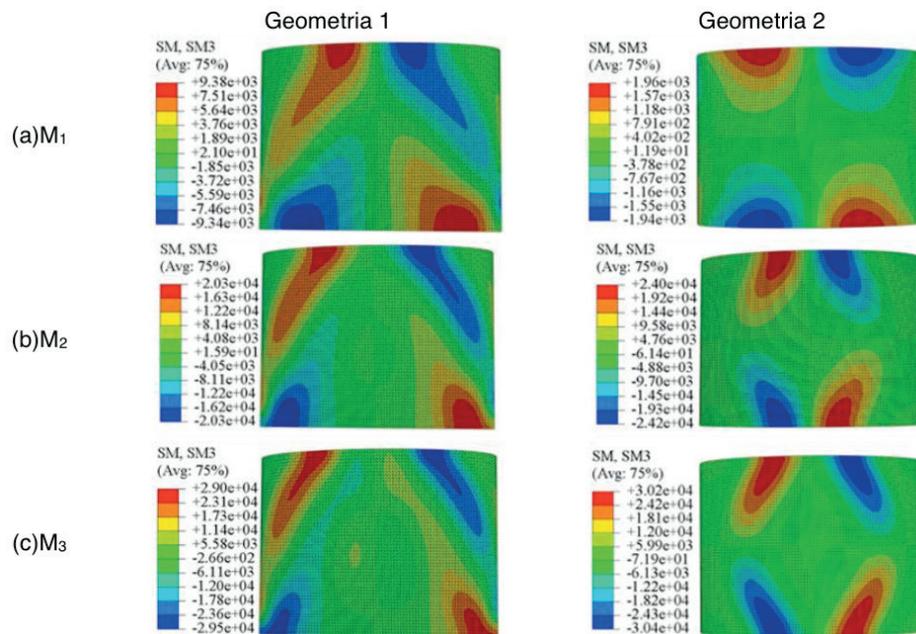


Figura 9- Trajetória não linear de  $M_{xy}$  do conóide cilíndrico

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.

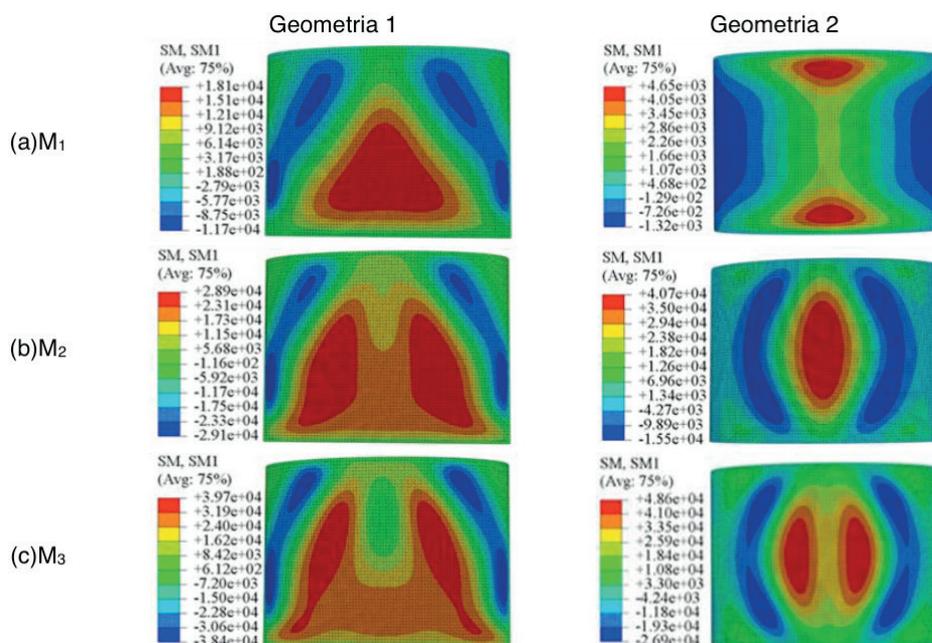


Figura 10- Trajetória não linear de  $M_x$  do conóide cilíndrico

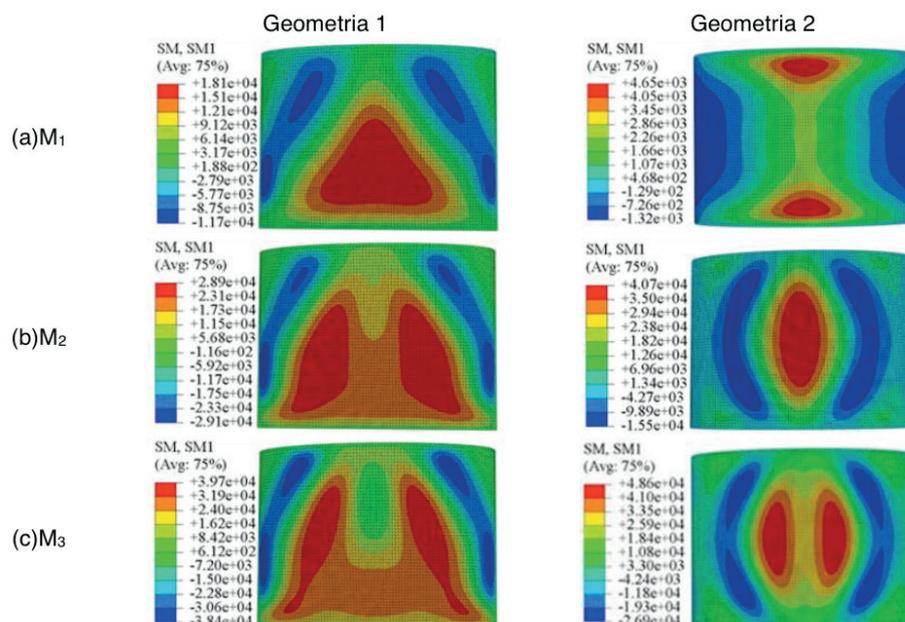


Figura 11- Trajetória não-linear de  $M_y$  do conóide cilíndrico

## 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

