



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^a 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^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^a Dr^a 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^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof^a 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
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.

SUMÁRIO

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

CAPÍTULO 8	72
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	
DOI 10.22533/at.ed.0592013018	
CAPÍTULO 9	79
MINIGERADOR EÓLICO: INTRODUÇÃO AO USO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	
Roberta Costa Ribeiro da Silva	
Daiane Caroline Wagner	
DOI 10.22533/at.ed.0592013019	
CAPÍTULO 10	86
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	
DOI 10.22533/at.ed.05920130110	
CAPÍTULO 11	98
SISTEMA DE CAPTAÇÃO E REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA ATRAVÉS DE CONCRETO POROSO	
Ana Beatriz De Oliveira Silva	
Jonatha Roberto Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.05920130111	
CAPÍTULO 12	102
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	
DOI 10.22533/at.ed.05920130112	
CAPÍTULO 13	114
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	
DOI 10.22533/at.ed.05920130113	

CAPÍTULO 14	120
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	
DOI 10.22533/at.ed.05920130114	
CAPÍTULO 15	127
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	
DOI 10.22533/at.ed.05920130115	
CAPÍTULO 16	138
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	
DOI 10.22533/at.ed.05920130116	
CAPÍTULO 17	151
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	
DOI 10.22533/at.ed.05920130117	
CAPÍTULO 18	163
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	
DOI 10.22533/at.ed.05920130118	

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

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 (ϕ_{ij}) e autovalores (ω_{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 pavimntno, 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

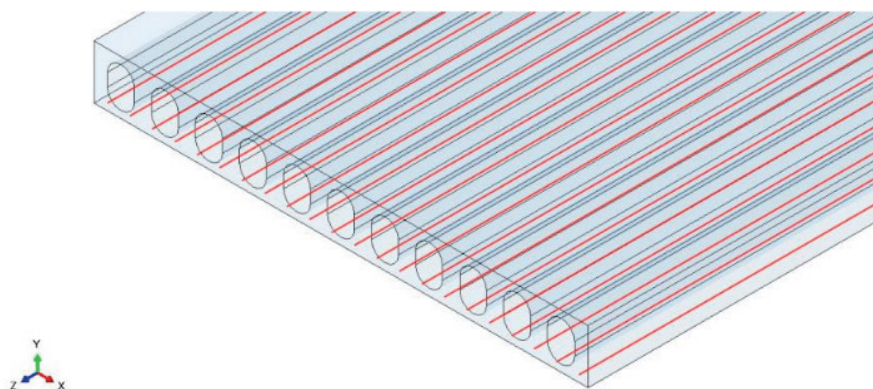
Tabela 1 - Frequências críticas (ABNT NBR 6118:2014)

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)

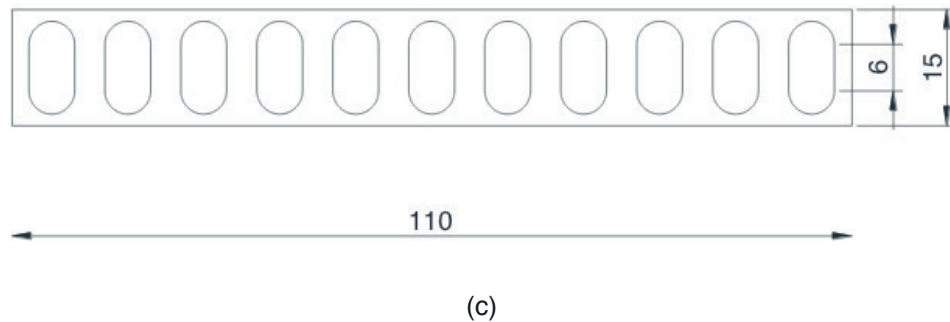


Figura 1 – Estudo de caso: características (a) malha de elementos finitos, (b) seção transversal para o painel alveolar e (c) disposição das armaduras.

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 ³)	E _d (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.

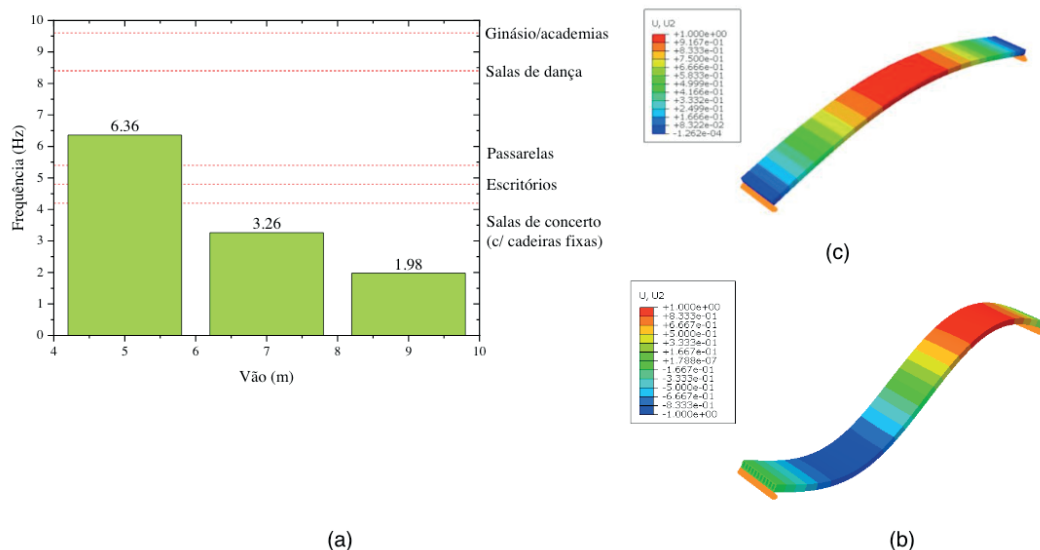


Figura 2 – (a) Frequências naturais, (b) 1º modo de vibração flexional – fundamental, (c) 2º modo flexional

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.

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

