

COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

**ENGENHARIA CIVIL 3**



**ARMANDO DIAS DUARTE**  
(ORGANIZADOR)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

**ENGENHARIA CIVIL 3**



**ARMANDO DIAS DUARTE**  
(ORGANIZADOR)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

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

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

**Diagramação:** Maria Alice Pinheiro  
**Correção:** Maiara Ferreira  
**Indexação:** Gabriel Motomu Teshima  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Armando Dias Duarte

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

D812 Coleção desafios das engenharias: engenharia civil 3 /  
Organizador Armando Dias Duarte. - Ponta Grossa -  
PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-639-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.390212610>

1. Engenharia civil. I. Duarte, Armando Dias. II. Título.  
CDD 624

**Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos - CRB-8/9166**

**Atena Editora**

Ponta Grossa - Paraná - Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

## APRESENTAÇÃO

A coleção de trabalhos intitulada “Coleção desafios das engenharias: Engenharia Civil 3” é uma obra que tem como foco principal a discussão científica por intermédio de trabalhos diversos que compõe seus capítulos. O volume abordará de forma categorizada e interdisciplinar trabalhos, pesquisas, relatos de casos e/ou revisões que através dos resultados, possam auxiliar na tomada de decisão, tanto no campo acadêmico, quanto no desenvolvimento profissional.

Os estudos apresentados, foram desenvolvidos em diversas instituições de ensino e pesquisa do país e também um caso internacional. Em todos esses trabalhos foram apresentadas diversas problemáticas a respeito do estudo de interação solo-estrutura, orçamento de obras, desempenho de materiais, aditivos para materiais da construção civil, análises através da ferramenta Building Information Modelling (BIM), gestão de resíduos **sólidos**, entre outros. Os estudos presentes nos trazem à tona, temas interdisciplinares através da segurança de obras civis, aspectos econômicos, sociais e ambientais.

Os temas discutidos nesta obra, possuem a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos, mestres e todos aqueles que de alguma forma se interessam pela área da Engenharia Civil, com temáticas atuais e que são apresentadas como desafios enfrentados pelos profissionais e acadêmicos, deste modo a obra “Coleção desafios das engenharias: Engenharia Civil 3”, apresenta uma teoria fundamentada nos resultados práticos obtidos pelos diversos professores e acadêmicos que desenvolveram seus trabalhos e pesquisas, os quais serão apresentados de maneira concisa e didática.

A divulgação científica é de suma importância para o desenvolvimento de toda uma nação, portanto, fica evidenciada a responsabilidade de transmissão dos saberes através de plataformas consolidadas e confiáveis, sendo a Atena Editora, capaz de oferecer uma maior segurança para os novos pesquisadores e os que já atuam nas diferentes áreas de pesquisa, exporem e divulguem seus resultados.

Armando Dias Duarte

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

ANÁLISE DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA EM EDIFICAÇÕES DE CONCRETO ARMADO SOBRE FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS

Mateus Lima Barros

Vinicius Costa Correia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126101>

### **CAPÍTULO 2..... 13**

ANÁLISE DE HASTES DELGADAS EM GRELHAS HIPERESTÁTICAS

Antônio Luís Alves da Cunha

Luiz Carlos Mendes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126102>

### **CAPÍTULO 3..... 28**

ANÁLISE DE SÓLIDOS INELÁSTICOS SOB DEFORMAÇÃO FINITA USANDO ELEMENTOS BIARTICULADOS 2D E 3D

William Taylor Matias Silva

Sebastião Simão da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126103>

### **CAPÍTULO 4..... 46**

APLICAÇÃO DA NORMA ABNT NBR 16747 (2020) – INSPEÇÃO PREDIAL EM EMPREENDIMENTOS RURAIS – ESTUDO DE CASO

Camilla Cristina Cunha Menezes

Marcos de Paulo Ramos

Thiago Pena Bortone

Rachel Jardim Martini

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126104>

### **CAPÍTULO 5..... 58**

APLICAÇÃO DE CURSO EXTENSÃO DE ORÇAMENTO DE OBRAS EM BIM COMPARANDO COM A METODOLOGIA ATUAL DA DISCIPLINA DE ORÇAMENTO DE OBRAS DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE – CAMPUS ESTÂNCIA

Anna Cristina Araujo de Jesus Cruz

José Carlos de Anunciação Cardoso Júnior

Mariana Silveira Araujo

Natália Ramos dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126105>

### **CAPÍTULO 6..... 67**

CORROSÃO NA ARMADURA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DEVIDO AO ATAQUE DE SULFATOS

Henrique Resende dos Santos

Adriano de Paula e Silva

Eduardo Chahud  
Cristiane Machado Parisi Jonov

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126106>

**CAPÍTULO 7..... 78**

**DANOS PÓS INCÊNDIO NA ESTRUTURA DE UMA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA. UM ESTUDO DE CASO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**

Rodolpho Medeiros Frossard  
Anna Luiza Macachero Victor Rodrigues  
Lara Sandrini  
Matheus Carreiro Zani  
Warribe Lima de Siqueira  
Geilma Lima Vieira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126107>

**CAPÍTULO 8..... 90**

**DEGRADAÇÃO TÉRMICA DE CONCRETOS CONVENCIONAIS SUBMETIDOS A ALTAS TEMPERATURAS E RESFRIAMENTO LENTO**

Moacyr Salles Neto  
Flávio Roldão de Carvalho Lelis

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126108>

**CAPÍTULO 9..... 103**

**DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES HOSPITALARES VIA DIMENSÕES MORFOLÓGICAS**

Alyria Donegá  
João da Costa Pantoja

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126109>

**CAPÍTULO 10..... 115**

**DIFICULDADE DOS DISCENTES DE ENGENHARIA CIVIL NA MATÉRIA DE MECÂNICA VETORIAL COMPARANDO OS PARÂMETROS DO ENSINO PRESENCIAL E DO ENSINO REMOTO**

Alessandro Leonardo da Silva  
Emanuela dos Santos Gonzaga  
Gustavo Neves Quintão Gonzales  
Marcelo Robert Fonseca Gontijo  
Thais Prado Vasconcelos Silva  
Rodrigo Silva Fonseca  
Heron Viterbre Debique Sousa  
Ícaro Viterbre Debique Sousa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261010>

**CAPÍTULO 11..... 125**

**EFEITO DO TEOR e TIPO de CIMENTO NO MÓDULO DE RESILIÊNCIA DE SOLO ARENOSO ESTABILIZADO QUIMICAMENTE**

José Wilson dos Santos Ferreira  
Michéle Dal Toé Casagrande

Raquel Souza Teixeira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261011>

**CAPÍTULO 12..... 136**

ESTUDIOS DE PELIGRO SÍSMICO EN EL MUNICIPIO DE IXHUACÁN DE LOS REYES, VERACRUZ

Gilbert Francisco Torres Morales

Ignacio Mora González

Saúl Castillo Aguilar

René Álvarez Lima

Raymundo Dávalos Sotelo

José Alberto Aguilar Cobos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261012>

**CAPÍTULO 13..... 150**

ESTUDO DA APLICAÇÃO DO LÁTEX DA SERINGUEIRA AMAZÔNICA (*HEVEA BRASILIENSIS*) COMO ADITIVO EM ARGAMASSA COM CIMENTO PORTLAND PARA MELHORA DE COMPORTAMENTO MECÂNICO

José Costa Feitoza

Natália da Mata Batista

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261013>

**CAPÍTULO 14..... 160**

ESTUDO DE UMA CONTENÇÃO UTILIZANDO FERRAMENTA NUMÉRICA E MÉTODOS APROXIMADOS DE DIMENSIONAMENTO DE TIRANTES

Renathielly Fernanda da Silva Brunetta

Isabela Grossi da Silva

Leandro Canezin Guideli

Vitor Pereira Faro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261014>

**CAPÍTULO 15..... 173**

AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO TRATAMENTO TÉRMICO NO GNAISSE MILONÍTICO

Kelly de Oliveira Borges da Costa

Afonso Rangel Garcez de Azevedo

Carlos Maurício Fontes Vieira

Elaine Aparecida Santos Carvalho Costa

Geovana Carla Girondi Delaqua

Gustavo de Castro Xavier

Letícia Borges da Costa

Vinícius Alves Polinicola

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261015>

**CAPÍTULO 16..... 183**

VIGAS DE GRAN ALTURA DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE

Viviana Carolina Rougier

Miqueas Ceferino Denardi

Dario Orestes Vercesi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261016>

**CAPÍTULO 17..... 195**

**GESTÃO E OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE AR CONDICIONADO: UMA NOVA ABORDAGEM USANDO MODELAGEM 6D**

João Bosco Pinheiro Dantas Filho

Guilherme Bruno de Souza Ribeiro

Pedro Holanda

Bruna Vital Roque

Rodrigo G. Ribeiro

Artur de Almeida Evangelista

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261017>

**CAPÍTULO 18..... 206**

**GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS GRAÚDOS COMERCIALIZADOS NOS MUNICÍPIOS DA CHAPADA DO APODI/RN – ANÁLISE COMPARATIVA COM A NORMA NBR 7211/2009**

Renata Samyla Matias Nogueira

Clélio Rodrigo Paiva Rafael

Edna Lucia da Rocha Linhares

Ronald Assis Fonseca

Rokátia Lorrany Nogueira Marinho

Ligia Raquel Rodrigues Santos

Jaiana de Araújo Pinheiro

Carlos Eduardo Carvalho Oliveira

Edyelly Cristtian Galdino Fernandes

Francisco Felinto de Lima Neto

Luzianne Galvão Pimenta

Géssica de Moura Ribeiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261018>

**CAPÍTULO 19..... 221**

**INSPEÇÃO PREDIAL EM EMPREENDIMENTOS RURAIS APLICABILIDADE DA NBR 16747**

Camilla Cristina Cunha Menezes

Marcos de Paulo Ramos

Thiago Pena Bortone

Rachel Jardim Martini

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261019>

**CAPÍTULO 20..... 232**

**GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

Wallace Ribeiro Nunes Neto

Camila Moraes Silva

Pedro Paulo Barbosa Nunes Sobrinho

Carlos Augusto Rocha de Moraes Rego  
Lourival Coelho Paixão  
Marcio Mendes Cerqueira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261020>

**CAPÍTULO 21..... 241**

**LOCUS SAECULARIS: MATERIAIS QUE CONSTRÍRAM UMA TRADIÇÃO**

João Hermem Fagundes Tozatto  
Crystian André Montozo Botelho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261021>

**CAPÍTULO 22..... 253**

**MODELAGEM NUMÉRICA DE PAREDE DIAFRAGMA ATIRANTADA EM ÁREA URBANA**

Isabela Grossi da Silva  
Renathielly Fernanda da Silva Brunetta  
Leandro Canezin Guideli  
Vitor Pereira Faro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261022>

**CAPÍTULO 23..... 266**

**NOVA TECNOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DE TORRES EÓLICAS**

Ilo Borba

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261023>

**CAPÍTULO 24..... 273**

**O CORREDOR BIOCEÂNICO: REESTRUTURAÇÃO TERRITORIAL DE NOVAS HINTERLÂNDIAS**

Carlos Andrés Hernández Arriagada  
Teo Felipe Bruder Gouveia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261024>

**CAPÍTULO 25..... 287**

**O MAPA DE DANOS COMO FERRAMENTA DE MANUTENÇÃO E RESTAURO DE EDIFICAÇÕES: UMA REVISÃO LITERÁRIA**

Lucas Rodrigues Cavalcanti  
Eliana Cristina Barreto Monteiro  
Carlos Fernando Gomes do Nascimento  
Catharina Silveira Rodrigues  
Fabrício Fernando de Souza Lima  
Amanda de Moraes Alves Figueira  
José Maria de Moura Júnior  
Sabrina Santiago Oliveira  
Roberto Revoredo de Almeida Filho  
Flávio Matheus de Moraes Cavalcante

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261025>

<b>CAPÍTULO 26</b> .....	<b>302</b>
TREINAMENTO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA O DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO	
João Victor Fernandes Masalkas	
Emerson Felipe Felix	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261026">https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261026</a>	
<b>CAPÍTULO 27</b> .....	<b>316</b>
UMA FORMULAÇÃO ANALÍTICA PARA DETECÇÃO DE PONTOS LIMITES E DE BIFURCAÇÃO	
William Taylor Matias Silva	
Sebastião Simão da Silva	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261027">https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261027</a>	
<b>CAPÍTULO 28</b> .....	<b>333</b>
UTILIZAÇÃO DO CARVÃO OBTIDO A PARTIR DA PIRÓLISE DA CASCA DE ARROZ PARA ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO	
Camila Ribeiro Rodrigues	
Marcelo Mendes Pedroza	
Mayara Shelly Miranda Bequimam	
David Barbosa Dourado	
Danielma Silva Maia	
Marcel Sousa Marques	
Hellen Dayany Barboza Barros	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261028">https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261028</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>338</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>339</b>

## ANÁLISE DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA EM EDIFICAÇÕES DE CONCRETO ARMADO SOBRE FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS

*Data de aceite: 01/10/2021*

*Data de submissão: 06/08/2021*

### **Mateus Lima Barros**

Universidade Federal de Alagoas,  
Departamento de Engenharia Civil  
Delmiro Gouveia – Alagoas  
<https://orcid.org/0000-0001-5237-1936>

### **Vinicius Costa Correia**

Universidade Federal de Alagoas,  
Departamento de Engenharia Civil  
Delmiro Gouveia – Alagoas  
<https://orcid.org/0000-0002-2291-9013>

**RESUMO:** Apesar das evoluções tecnológicas, ainda é comum que projetistas utilizem apoios indesejáveis durante o dimensionamento da superestrutura. Entretanto, esta consideração é falha, visto que a edificação se apoia no solo, um material deformável e que a partir dos seus deslocamentos pode gerar uma redistribuição de solicitações na estrutura. Desta forma, torna-se necessário a análise da interação solo-estrutura (ISE) durante a realização de projetos estruturais, buscando simular melhor o comportamento físico da edificação. Com isto, neste estudo foi analisado a redistribuição de esforços presentes em um modelo com apoios engastados e em um modelo com apoios flexíveis; além de verificar a influência de diferentes tipologias de solo na variação dos resultados. Para tal, desenvolveu-se uma edificação comercial em concreto armado de 7 pavimentos sobre fundações superficiais,

apoiadas sobre duas camadas diferentes de solo, onde analisou-se a superestrutura com apoios fixos e com apoios flexíveis. As modelagens e análises foram feitas com o auxílio de um software de elementos finitos, o SAP2000. No trabalho, pôde-se evidenciar uma redistribuição de esforços no modelo com a ISE comparada ao modelo com apoios indesejáveis, tendo uma variação mais discrepante de solicitações nos primeiros pavimentos, além de ter sido observado um acréscimo de carga nos pilares de extremidade e um decréscimo nos pilares centrais. Verificou-se, também, que o solo com menor resistência tende a sofrer maiores variações nos resultados. Concluiu-se, que ao desprezar a deformabilidade e ação do solo na estrutura, a análise torna-se suscetível a resultados mais desconformes com a realidade.

**PALAVRAS - CHAVE:** Interação solo-estrutura; Análise estrutural; Fundações superficiais; Recalque; SAP2000.

### ANALYSIS OF THE SOIL-STRUCTURE INTERACTION IN REINFORCED CONCRETE BUILDINGS ON SHALLOW FOUNDATIONS

**ABSTRACT:** Despite technological evolutions, it is still common for designers to use non-displaceable supports when projecting the superstructure. However, this consideration is erroneous, since the building rests on the ground, a deformable material and that from its displacements can generate a redistribution of efforts in the structure. Thus, it is necessary to analyze the soil-structure interaction (SSI) during structural projects, seeking to better simulate

the physical behavior of the building. Hence, this study analyzed the redistribution of efforts present in a model with fixed supports and in a model with flexible supports; in addition to verifying the influence of different types of soil on the variation of results. For this, a 7-storey reinforced concrete commercial building was developed on shallow foundations, supported on two different layers of soil, where the superstructure with fixed and flexible supports was analyzed. Modeling and analysis were carried out in a finite element software, SAP2000. In this work, it was possible to evidence a redistribution of efforts in the model with the SSI compared to the model with fixed supports, with a more discrepant variation in requests on the first floors, in addition to an increase load on the corner pillars and a decrease load on the central pillars. It was also verified that the soil with less resistance tends to suffer greater variations in the results. It was concluded that, by neglecting the deformability and action of the soil on the structure, the analysis becomes susceptible to results that are more out of line with reality.

**KEYWORDS:** Soil-structure interaction; Structural analysis; Shallow foundations; Settlement; SAP2000.

## 1 | INTRODUÇÃO

É comum em projetos de edificações, o engenheiro estrutural considerar a superestrutura apoiada em superfícies indeslocáveis. Entretanto, é sabido que esta hipótese é bastante precipitada, pois, no modelo real a estrutura se sustenta no solo, uma superfície deformável, suscetível ao deslocamento. Sendo assim, torna-se necessário a adoção da análise da interação entre o solo e a estrutura (ISE) para a realização de modelagens e análises mais conformes com a realidade.

Como afirmam Souza e Reis (2008), a hipótese de apoios indeslocáveis pode conduzir a caminhos totalmente distantes da realidade física, pois, é totalmente errôneo pensar que duas estruturas idênticas, submetidas às mesmas ações externas, apresentam as mesmas solicitações independentemente do maciço de solo sobre o qual estão assentadas.

O processo de interação solo-estrutura nada mais é do que a influência recíproca gerada entre a superestrutura e o sistema de fundação, iniciando-se ainda na fase de construção e estendendo-se até que seja obtido um estado de equilíbrio: tensões e deformações estabilizadas, tanto da estrutura como do maciço de solos (COLARES, 2006). Para que haja a análise da ISE, portanto, um dos métodos mais utilizados é a hipótese de Winkler (1867), onde se aplica molas discretas nos apoios da superestrutura, a fim de simular a deformabilidade do solo.

No presente trabalho, foi analisado as redistribuições dos esforços solicitantes em um modelo convencional, com apoios engastados, e em um modelo considerando a ISE, com apoios flexíveis visando simular os efeitos do solo; além de verificar a influência de diferentes tipologias de solo na variação dos resultados. Para tal, foram desenvolvidos dois modelos de uma edificação comercial em concreto armado de 7 pavimentos sobre fundações superficiais, apoiadas em duas camadas diferentes de solo, por meio do software

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Interação solo-estrutura

Para a realização da interação solo-estrutura, buscou-se simular o comportamento do solo aplicando coeficientes de molas nos apoios da superestrutura, a partir da hipótese de Winkler (1867).

Para isto, segundo Antoniazzi (2011), deve-se determinar o coeficiente de reação vertical do solo ( $K_v$ ), que representa o coeficiente de rigidez que o solo possui para resistir ao deslocamento (recalque médio  $\rho$ ) mobilizado por uma pressão imposta ( $\sigma$ ), conforme a Equação 1.

$$\sigma = K_v \cdot \rho \quad (1)$$

Analogamente, define-se o coeficiente de mola  $K_m$ , onde este não se relaciona com uma pressão (força sobre área), mas sim com uma força  $F$ , como expressa a Equação 2.

$$F = K_m \cdot \rho \quad (2)$$

Pela hipótese de Winkler (1867), ao correlacionar as Equações 1 e 2 e, sabendo que, tensão  $\sigma$  é força  $F$  sobre área  $A$ , obtém-se a Equação 3.

$$K_{mz} = K_v A_f \quad (3)$$

Sendo:

$K_{mz}$  = coeficiente de mola vertical;

$A_f$  = área de influência da fundação. Ao considerar toda a sapata tem-se que tal área é igual a área da sapata.

Para efeito de simplificação, Souza & Reis (2008) recomendam adotar o coeficiente de reação horizontal ( $K_h$ ) e o coeficiente de reação de rotação ( $K_\theta$ ) iguais ao coeficiente de reação vertical ( $K_v$ ) em estruturas sobre fundações superficiais. Sendo assim, considerando como eixos horizontais no sistema tridimensional os eixos  $x$  e  $y$ , obteve-se a Equação 4 para o coeficiente de mola horizontal e as Equações 5 e 6 para o coeficiente mola de rotação em  $x$  e  $y$ , respectivamente.

$$K_{mh} = K_{mx} = K_{my} = K_v A_f \quad (4)$$

$$K_{m\theta x} = K_v I_x \quad (5)$$

$$K_{m\theta y} = K_v I_y \quad (6)$$

Sendo:

$I_x$  = momento de inércia da sapata no eixo x;

$I_y$  = momento de inércia da sapata no eixo y.

Para a aplicação destes coeficientes de mola, Chamecki (1969) propôs um método na qual a estrutura é inicialmente calculada supondo-se apoios indeslocáveis, obtendo-se reações de apoio, e assim, estimando os recalques. A partir destes recalques, inicia-se o processo iterativo, aplicando-se os mesmos à estrutura como forma de deslocamentos impostos por meio dos coeficientes de mola. Assim, a estrutura passa a ser novamente calculada, só que agora com os deslocamentos já prescritos, sendo obtidas novas reações de apoio e, conseqüentemente, novos valores para o recalque. O processo se repete sucessivamente até que haja uma convergência significativa nos deslocamentos ou nas reações de apoio. A Figura 1 demonstra como ocorre esse sistema.

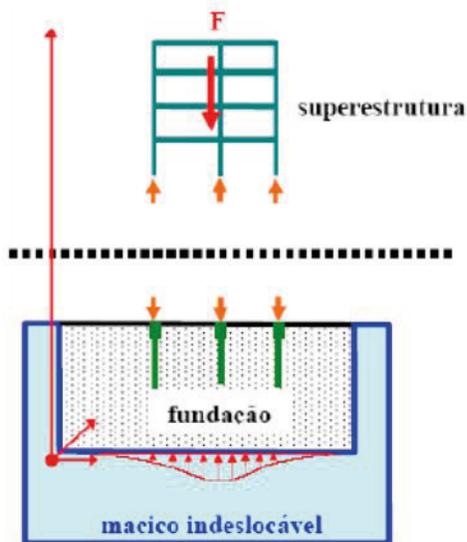


Figura 1: Esquema do modelo para realização da ISE.

Fonte: Adaptado de Mota, 2009.

## 2.2 Estudo de caso

Neste estudo foram desenvolvidos dois modelos de edifícios comerciais com 7 pavimentos, sendo um modelo com apoios fixos e o outro com apoios flexíveis. As edificações foram apoiadas em fundações superficiais do tipo sapatas isoladas quadradas, considerando dois tipos de maciço do solo, sendo um arenoso e outro argiloso.

As modelagens das edificações foram realizadas no software de elementos finitos SAP2000 V20®. Em cada modelagem realizou-se um comparativo entre o modelo convencional e o modelo considerando a ISE, buscando verificar a influência da interação solo-estrutura nos deslocamentos, cargas e momentos fletores gerados nos elementos estruturais.

Seguindo as recomendações de Alva (2014) e da NBR 6118 (2014), fez-se o pré-dimensionamento dos elementos estruturais, com uma resistência característica do concreto à compressão adotada de  $f_{ck} = 25$  MPa e utilizando o aço CA-50. O pé-direito estrutural utilizado em todos os pavimentos foi de 2,9 m. A Figura 2 apresenta a planta de fôrma dos pavimentos tipo da edificação.

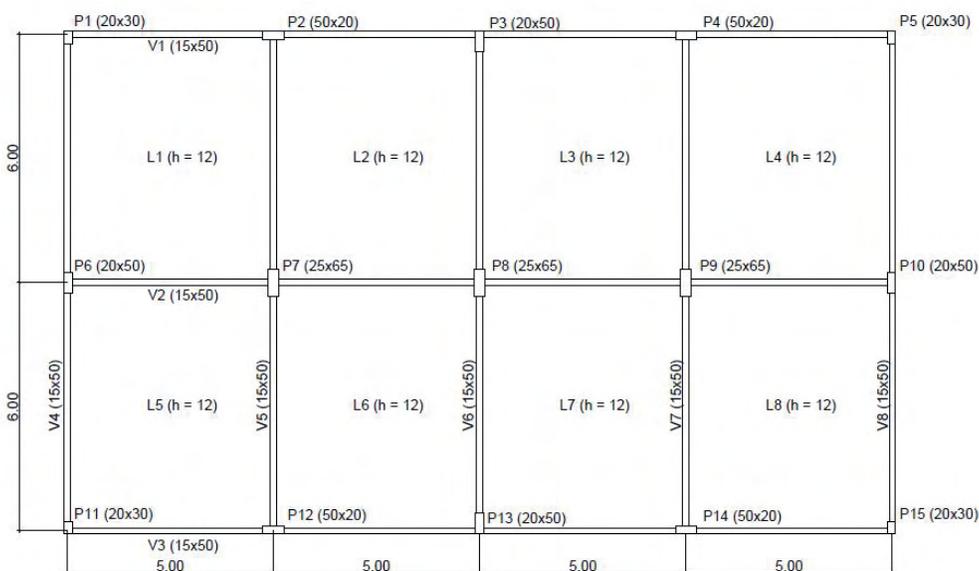


Figura 2: Planta de forma do pavimento tipo do edifício de 14 pavimentos.

Fonte: Autores, 2020.

De acordo com a NBR 6120 (2020) estimou-se as ações permanentes e variáveis atuantes nas edificações. Para as ações permanentes, utilizou-se 1 KN/m<sup>2</sup> correspondente ao peso do revestimento e do piso, 13 KN/m<sup>2</sup> para a alvenaria (tijolos cerâmicos vazados) e 25 KN/m<sup>3</sup> para o peso específico do concreto armado. Quanto às ações variáveis, adotou-se uma sobrecarga de utilização de 2 KN/m<sup>2</sup> nos pavimentos tipo e de 0,5 KN/m<sup>2</sup> para a cobertura. O cálculo da ação vento foi realizado conforme a NBR 6123 (1988).

E, seguindo a NBR 6118 (2014), foram determinadas as seguintes combinações de carga:

$$ELU_1: 1,4.(Peso Próprio) + 1,4.(Carga Permanente) + 1,4.(Carga Variável)$$

ELU\_2: 1,4.(Peso Próprio) + 1,4.(Carga Permanente) + 1,4.(Carga Variável) + 0,84.  
(Vento X)

ELU\_3: 1,4.(Peso Próprio) + 1,4.(Carga Permanente) + 1,4.(Carga Variável) + 0,84.  
(Vento Y)

ELS: 1,0.(Peso Próprio) + 1,0.(Carga Permanente) + 1,0.(Carga Variável)

Para o maciço de solo foram utilizados os relatórios de sondagem presentes nas Figuras 3 e 4, realizados em Aracaju-SE e Maceió-AL, respectivamente. A Figura 3 apresenta um solo arenoso, enquanto na Figura 4 tem-se uma sondagem que apresenta um solo argiloso.

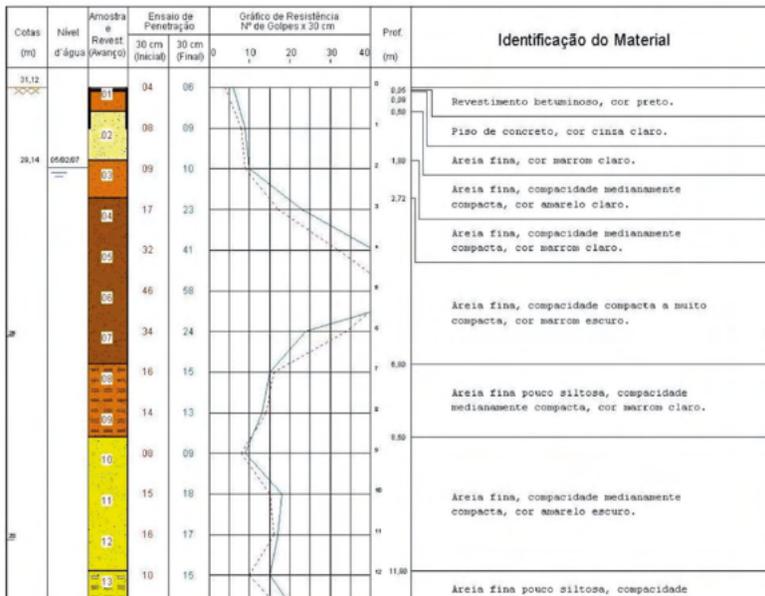


Figura 3: Sondagem do solo arenoso.

Fonte: Autores, 2020.



Figura 4: Sondagem do solo argiloso.

Fonte: Autores, 2020.

A partir dos laudos de sondagem, calculou-se a tensão admissível do solo  $\sigma_{adm}$ , sabendo que as sapatas foram assentadas a 2 metros de profundidade. Foram obtidas tensões admissíveis iguais a 917 KN/m<sup>2</sup> e 240 KN/m<sup>2</sup> para a areia e argila, respectivamente.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Cargas na fundação

A Tabela 1 apresenta o comparativo entre as reações de apoio nos modelos com apoios engastados e com apoios flexíveis. É importante ressaltar que as cargas resultantes na fundação nos modelos com a ISE referem-se aos valores de convergência do processo iterativo realizado.

Sapata	Carga s/ ISE (KN)	Carga c/ ISE argila (KN)	Variação (%)	Carga c/ ISE areia (KN)	Variação (%)
S1	571,84	653,48	14,28%	547,6	-4,24%
S2	1020,34	1044,91	2,41%	1065,58	4,43%
S3	1033,87	1078,68	4,33%	1063,28	2,84%
S4	1020,34	1044,91	2,41%	1065,58	4,43%
S5	571,84	653,48	14,28%	547,6	-4,24%
S6	1099,06	1080,51	-1,69%	1120,17	1,92%
S7	1903,29	1723,72	-9,43%	1833,14	-3,69%
S8	1861,6	1743,39	-6,35%	1816,88	-2,40%
S9	1903,29	1723,72	-9,43%	1833,14	-3,69%
S10	1099,06	1080,51	-1,69%	1120,17	1,92%
S11	571,84	653,48	14,28%	547,6	-4,24%
S12	1020,34	1044,91	2,41%	1065,58	4,43%
S13	1033,87	1078,68	4,33%	1063,28	2,84%
S14	1020,34	1044,91	2,41%	1065,58	4,43%
S15	571,84	653,48	14,28%	547,6	-4,24%

Tabela 1: Esforços de reação nos apoios.

Fonte: Autores, 2020.

Observou-se, assim, maiores variações dos esforços de apoio na edificação apoiada no solo argiloso, principalmente nos pilares de canto, com um aumento de carga de quase 15% nas sapatas 1, 5, 11 e 15. Um fato comum às duas tipologias de solo foi o alívio da carga atuante nos pilares centrais e acréscimo de cargas nos pilares de extremidade, característica apresentada por diversos autores em estudos da ISE, demonstrando a redistribuição de esforços solicitantes nos elementos estruturais.

### 3.2 Momentos Fletores

A análise dos momentos fletores foi realizada no pórtico plano formado pelos pilares P2, P7 e P12, que são ligados pela viga V5 como ilustra a Figura 2 no item 2.2, sendo os resultados dos esforços no P2 e P12 iguais devido à simetria da planta.

A variação dos momentos fletores que agem na viga V5 do modelo convencional (sem a ISE) para o modelo com apoios flexíveis é apresentada na Figura 5, realizando o comparativo entre o solo arenoso e o solo argiloso, onde notou-se um comportamento semelhante no gráfico dos dois tipos de solos com picos de aumento de momento no pavimento da viga baldrame e na cobertura, porém com uma variação mais acentuada verificada no solo argiloso com mais de 30% de aumento de sollicitação no pavimento baldrame.

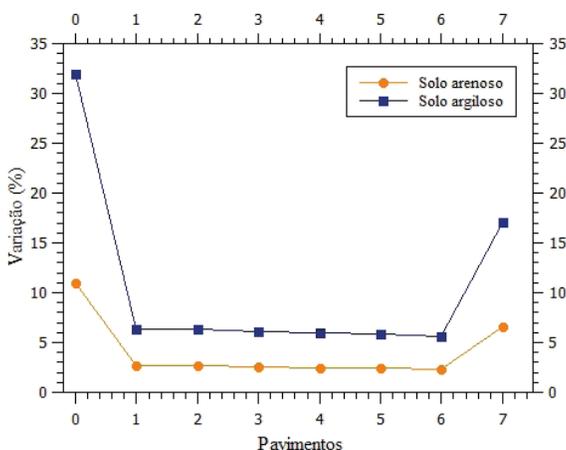


Figura 5: Variação do momento positivo na viga V5.

Fonte: Autores, 2020.

Enquanto isso, a Figura 6 demonstra a variação dos momentos negativos que agem na viga V5 junto aos pilares de extremidade (P2 e P12) e ao pilar central (P7), respectivamente. Assim como visto no momento positivo, o solo argiloso novamente voltou a apresentar as maiores variações com a consideração da ISE e os picos de maior acréscimo sendo o pavimento baldrame e a cobertura. Observou-se também um alívio no momento junto ao pilar central de modo proporcional ao aumento verificado nos pilares de extremidade.

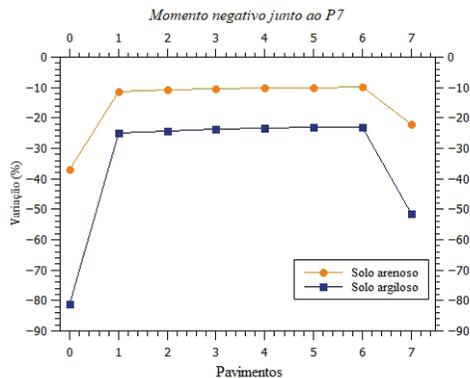
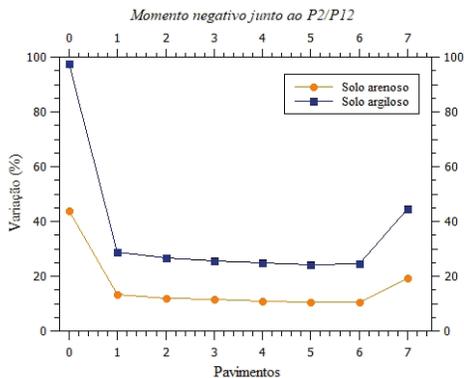


Figura 6: Variação momento negativo na viga V5 juntos aos pilares de extremidade e ao pilar central.

Fonte: Autores, 2020.

Quanto aos momentos nos pilares, as Figuras 7 e 8 ilustram os resultados encontrados nos pilares P2/P12 e no pilar P7, respectivamente.

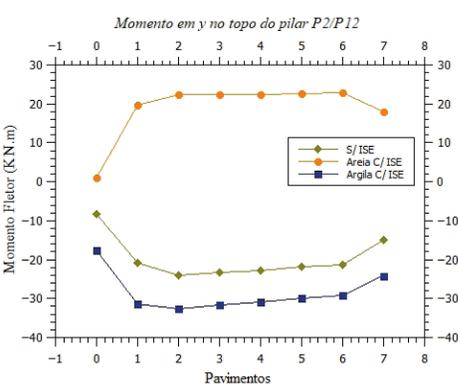
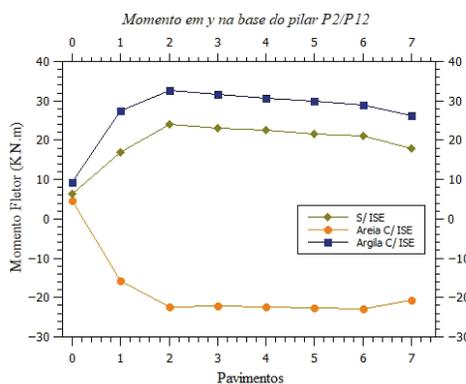
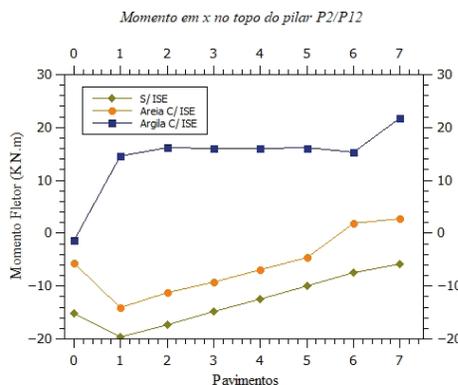
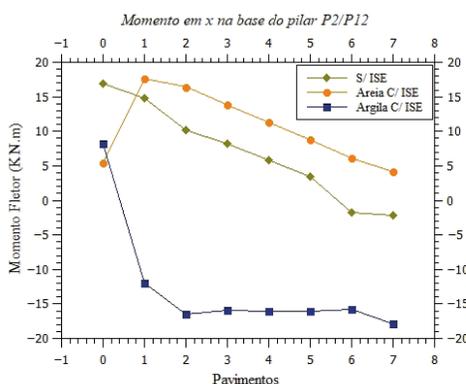


Figura 7: Momentos nos pilares de extremidade (P2 e P12).

Fonte: Autores, 2020.

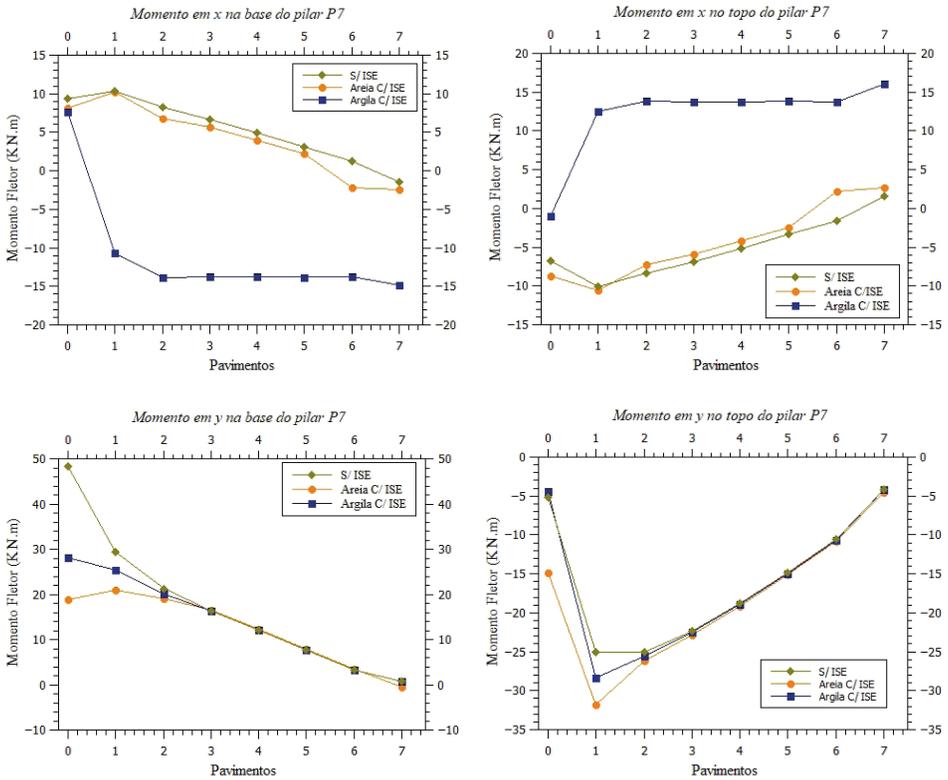


Figura 8: Momento no pilar central (P7).

Fonte: Autores, 2020.

Pôde-se ver que houve inversões no sinal dos momentos em x em ambos os pilares no solo argiloso. O solo arenoso, por sua vez, apresentou resultados menos dispersos dos momentos observados no modelo sem a ISE, exceto no momento em y dos pilares de extremidade, onde também apresentou inversão no sinal. Esta alteração de sinais dos momentos deve-se principalmente ao fato de que ao se inserir os coeficientes de mola nos apoios, provocou-se em alguns casos uma mudança na combinação de carga mais desfavorável. Como exemplo, tem-se que no momento em x dos pilares de extremidade do modelo sem a ISE e com a ISE em solo arenoso, a combinação de carga mais desfavorável foi a que considerava os efeitos do vento em x, enquanto no modelo com a ISE em solo argiloso, onde houve inversão no sinal, a combinação mais desfavorável passou a ser aquela que ponderava a ação do vento em y.

Estas variações dos momentos na viga e nos pilares analisados também foram observadas em outros trabalhos, como o de Antoniazzi (2011), onde segundo a autora tal fato reforça a necessidade de se considerar a deformabilidade do solo para que haja um dimensionamento correto das peças estruturais.

### 3.3 Deslocamentos horizontais

A Figura 9 ilustra as variações observadas quanto aos deslocamentos horizontais nos eixos x e y. Percebeu-se que as maiores variações se concentraram nos primeiros pavimentos, mantendo-se relativamente constante a partir do terceiro pavimento. O eixo y por ser o eixo com menor rigidez, foi onde os deslocamentos mais aumentaram, com cerca de 200% de acréscimo no deslocamento do pavimento baldrame no solo arenoso, o qual foi a tipologia de solo em que foi verificada as maiores variações.

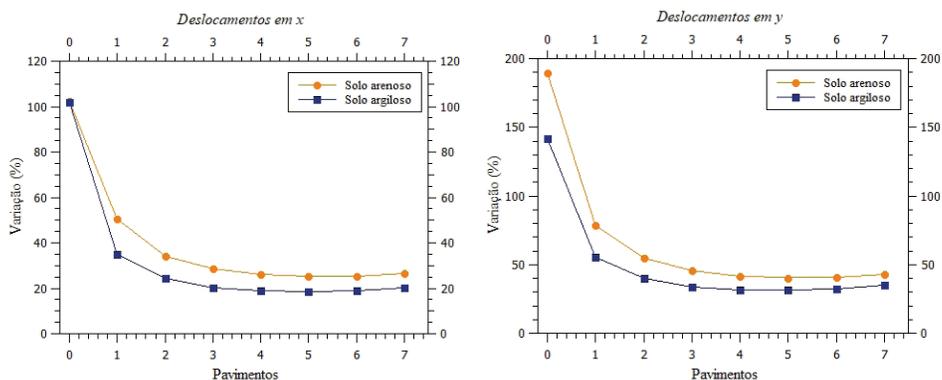


Figura 9: Variação dos deslocamentos horizontais.

Fonte: Autores, 2020.

## 4 | CONCLUSÕES

Pôde-se observar, a partir dos estudos desenvolvidos neste trabalho, a prevista redistribuição de esforços presentes numa estrutura ao se realizar a modelagem e análise da interação solo-estrutura.

Nos dois tipos de estratificação do solo analisados visualizou-se um decréscimo nas solicitações de esforços normais e momentos fletores dos pilares centrais e aumento nos pilares de extremidade. Isto fez com que os momentos negativos na viga analisada apresentassem decréscimo no apoio central e aumento nos apoios de extremidade.

A redistribuição de esforços mostrou-se mais acentuada e menos uniforme na edificação apoiada sobre a argila, o que se explica pelo fato de ser o solo com menor resistência, e conseqüentemente, menor coeficiente de reação vertical.

Constatou-se, portanto, que o desprezo dos efeitos da ação do solo na estrutura pode gerar análises e modelos desconformes com a realidade, provocando falhas nos dimensionamentos das peças estruturais. Evidencia-se, assim, a importância em se realizar a análise da interação solo-estrutura, para que se possa ter modelos mais seguros, simulando de modo mais adequado o comportamento real da estrutura.

## REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 6123: Forças devido ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

ALVA, G. M. S. **Notas de aula – Pré-dimensionamento da estrutura**. EEC 1008 – Estruturas de concreto. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, 2014.

ANTONIAZZI, J. P. **Interação solo-estrutura em edifícios com fundações superficiais**. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2011.

CHAMECKI, S. **Calcul des tassements progressifs des foundations en tenant compte de l'interaction des structures et du sol**. In: Annales de l'ITBTP, n° 261, 1969.

COLARES, G.M. **Programa para análise da interação solo-estrutura no projeto de edifícios**. Dissertação de mestrado da EESC da USP. São Carlos, SP, 2006.

SOUZA, R.; REIS, J. H. C. **Interação solo-estrutura para edifícios sobre fundações rasas**. Universidade Estadual de Maringa – UEM, Maringa, 2008.

WINKLER, E. **Die lehre von der Elastizitat und Festigkeit**. Domicius. Prag, 1867.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Altas Temperaturas 78, 79, 87, 88, 90, 91, 102, 173, 174, 175, 180

Análise Estrutural 115, 119, 122, 124, 255

Argamassa 83, 92, 150, 152, 153, 154, 156, 157, 158, 159, 244, 249, 295, 300

Arquitetura Hospitalar 103, 107, 112

Avaliação de Desempenho 103, 104, 106, 107, 112, 113

### B

Bim 3, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205

BIM 5D 58, 59, 61, 65

### C

Cimento 67, 71, 73, 79, 80, 84, 90, 91, 92, 94, 95, 125, 126, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 150, 152, 153, 154, 156, 157, 158, 162, 163, 164, 165, 207, 245, 254, 258, 304

Concreto 1, 2, 5, 12, 46, 57, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 98, 99, 101, 112, 114, 152, 153, 158, 159, 175, 192, 207, 220, 245, 246, 251, 254, 259, 266, 267, 271, 272, 299, 300, 302, 303, 304, 305, 307, 308, 309, 312, 313, 314

Concreto Armado 1, 2, 5, 46, 67, 68, 69, 70, 71, 75, 76, 78, 80, 82, 83, 88, 245, 246, 254, 266, 267, 271, 272, 302, 303, 304, 307, 308, 312, 313

Contenções 160, 172, 253, 255, 265

Corrosão das armaduras 67, 68, 69, 72, 75, 80, 82

### D

Decreto 58, 60, 61, 65, 66, 290, 299

Deep Beams 183, 193, 194

Degradação 48, 76, 80, 87, 90, 91, 92, 102, 105, 177, 289, 294, 295, 297, 300, 337

Disseminação 58, 60, 61, 66

Durabilidade 52, 56, 69, 75, 76, 78, 80, 88, 108, 113, 126, 173, 174, 175, 181, 207, 297, 298

### E

Elementos de barra biarticulados 29, 44, 317

Ementa 58, 60, 62

Empreendimentos Rurais 46, 47, 49, 55, 56

Engenharia Civil 3, 1, 12, 28, 48, 58, 60, 62, 63, 88, 90, 113, 115, 116, 117, 125, 134, 135, 150, 172, 195, 220, 265, 266, 291, 292, 303, 304, 316, 338

Engenharia Diagnóstica 78, 80

## **F**

Fundações Superficiais 1, 2, 3, 4, 12, 265

## **G**

Gnaisse 173, 174, 175, 176, 179, 180

Grelhas Hiperestáticas 13, 14, 26

## **H**

Hastes de Paredes Delgadas 14, 27

Hospital Architecture 103

## **I**

Incêndio 51, 78, 79, 80, 83, 84, 85, 87, 90, 92, 97, 101, 108, 110, 111, 112, 175

Inspeção Predial 46, 47, 48, 49, 52, 55, 56, 57, 103, 109

Interação Solo-Estrutura 3, 1, 2, 3, 5, 11, 12, 254, 255, 265

Íons Sulfatos 67, 69, 72, 73, 75

## **L**

Látex da seringueira 150, 151, 157

## **M**

Máquinas de ar condicionado 195, 196, 198, 199, 201, 202, 203

Mecânica Vetorial 115, 116, 117, 118, 119

Metodologia Empírico-Mecanística 125, 134

Microzonificación, Peligro, Vulnerabilidad, Riesgo 136

Modelagem 6D 195

Módulo de Resiliência 125, 126, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135

## **P**

Patologias 47, 48, 56, 57, 76, 115, 291, 296, 298, 300

Pavimentação 125, 129, 134, 135, 239

Performance Evaluation 103

## **R**

Recalque 1, 3, 4, 263

## **S**

SAP2000 1, 2, 3, 5

SFRC 183, 193

Shear Strength 183, 193

Solo-Cimento 125, 126, 128, 131, 133, 134, 135

## **T**

Tensão de bimomento 13, 24, 26

Tensão de flexão 13, 26, 27

Tratamento Térmico 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181

Treliça 28, 29, 40, 116, 119, 120, 316, 317, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 330, 331

# COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA CIVIL 3

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

COLEÇÃO

# DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA CIVIL 3

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