



Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

4

Atena
Editora
Ano 2020



Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

4

Atena
Editora
Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Camila Alves de Cremo

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

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

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

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de 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

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

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
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Dr^a 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^a Dr^a 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^a Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^a Dr^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^a Dr^a Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof^a Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof^a Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof^a Dr^a Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof^a Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Prof^a Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof^a Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof^a Dr^a Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Prof^a Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof^a Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco

Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
 Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
 Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Me. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
 Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
 Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
 Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

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

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

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

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

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

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

Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado

SUMÁRIO

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

CAPÍTULO 7 97

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

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

DOI 10.22533/at.ed.7182009077

CAPÍTULO 8 114

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

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

DOI 10.22533/at.ed.7182009078

CAPÍTULO 9 124

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

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

DOI 10.22533/at.ed.7182009079

CAPÍTULO 10 133

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

Fernando Frigo Migliorini

DOI 10.22533/at.ed.71820090710

CAPÍTULO 11 138

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

Alexis Enríquez León

DOI 10.22533/at.ed.71820090711

CAPÍTULO 12 149

PATOLOGIA EM LAJES MACIÇAS DE EDIFÍCIO EMPRESARIAL

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

DOI 10.22533/at.ed.71820090712

CAPÍTULO 13 164

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

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

DOI 10.22533/at.ed.71820090713

CAPÍTULO 14 179

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

Gustavo da Silva Schiavon

DOI 10.22533/at.ed.71820090714

CAPÍTULO 15 193

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

Ray Calazans dos Santos Silva

Luan Reginato

Danilo Pereira dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.71820090715

CAPÍTULO 16 209

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

Denise Itajahy Sasaki Gomes Venturi

Matheus Rangel Venturi

DOI 10.22533/at.ed.71820090716

CAPÍTULO 17 224

VIGAS DE PONTES PROTENDIDAS ENTRE 20 E 40 METROS

Leonardo Lunkes Wagner

Denizard Batista de Freitas

DOI 10.22533/at.ed.71820090717

CAPÍTULO 18 238

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

Rodrigo Marques do Nascimento

Fábio Mendes Ramos

Daniel Martins Nunes

DOI 10.22533/at.ed.71820090718

CAPÍTULO 19 248

NOVO LABORATÓRIO DO CURSO DE EDIFICAÇÕES DO IFPA

Luciano Costa de Farias

Marcelo Martins Farias

Wellen Patrícia Farias dos Reis

Celestina de Lima Rezende Farias

Cleydimara Aquino de Brito

DOI 10.22533/at.ed.71820090719

CAPÍTULO 20 256

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

Rafaela Cardoso Galace

Flávia Aparecida Reitz Cardoso

DOI 10.22533/at.ed.71820090720

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

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

Data de aceite: 01/06/2020

Denise Itajahy Sasaki Gomes Venturi

Doutorando em Engenharia Civil (UFPE),
Gerente de Engenharia - Alumini Engenharia Ltda
sasaki.denise@gmail.com

Matheus Rangel Venturi

Graduando em Engenharia Civil (UNIP), Técnico
em Projetos - Alumini Engenharia Ltda
matheusventuri@hotmail.com

RESUMO: Pode-se verificar que as sapatas são elementos de fundação direta corriqueiros e de grande utilização nos empreendimentos. A maioria destes elementos pode ser dimensionada de forma simplificada, com base em métodos analíticos fundamentados na teoria da elasticidade (que leva em consideração a hipótese da relação constante entre tensões e deformações). O presente estudo tem como objetivo o desenvolvimento de uma comparação entre o método analítico das bielas e o Método dos Elementos Finitos (com simulações de aplicação direta de carga sobre uma placa e com simulação de aplicação de carga sobre um pedestal representado por um elemento linear) para a análise de fundações tipo sapata, rígidas e submetidas à flexão oblíqua. A comparação será realizada, basicamente, em função da

obtenção da tensão no solo e das armaduras de flexão. Não serão apresentados dados relativos aos recalques da sapata. O foco do trabalho concentra-se na investigação dos limites de aplicação dos métodos citados, de forma a estabelecer recomendações práticas que suportem o desenvolvimento racional de projetos (análises) com qualquer geometria. Os resultados serão apresentados no formato de tabelas e gráficos. De forma adicional, será apresentada ainda uma análise comparativa com a adoção de diferentes tipos de malha, no caso das análises por meio do método dos elementos finitos. As análises por meio dos elementos finitos serão realizadas com o auxílio do software STAAD.Pro (Bentley).

PALAVRA-CHAVE: Fundações / Sapatas / Elementos Finitos / Teoria da Elasticidade

FOOTING: COMPARISON BETWEEN ANALYTICAL CALCULATION METHOD USING CONNECTING ROD AND FEM (2D)

ABSTRACT: It can be verified that direct foundations are common and of great use in the enterprises. Most of these elements can be dimensioned in a simplified way, based on analytical methods based on elasticity theory (which takes into account the hypothesis

of the constant relation between tensions and deformations). The present study aims to develop a comparison between the analytical method of the connecting rods and the Finite Element Method (with simulations of direct load application on a plate and with simulation of load application on a pedestal represented by a linear element) For the analysis of direct foundations, rigid and submitted to oblique flexion. The comparison will be made, basically, as a function of obtaining the tension in the soil and the flexural reinforcement. No data on the repression of footing will be presented. The focus of the work is to investigate the limits of application of the mentioned methods, in order to establish practical recommendations that support the rational development of projects (analyzes) with any geometry. The results will be presented in the form of tables and graphs. In addition, a comparative analysis will be presented with the adoption of different types of mesh, in the case of analysis using the finite element method. The finite element analyzes will be performed with the help of STAAD.Pro (Bentley) software.

KEYWORDS: Foundations / Shallow Foundations / Finite Element / Elasticity Theory

1 | INTRODUÇÃO

A NBR 6122 (ABNT, 2010) define fundações superficiais (rasas ou diretas) como os elementos de fundação “*em que a carga é transmitida ao terreno pelas tensões distribuídas sob a base da fundação, e a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente à fundação é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação*”. Dentre os tipos de fundação direta, destacam-se as sapatas, com uso bastante comum nas construções e que são definidas, também pela NBR 6122 (ABNT, 2010) como um “*elemento de fundação superficial, de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas pelo emprego de armadura especialmente disposta para esse fim*”.

Devido às facilidades de projeto e construção, estas fundações tem as suas etapas de projeto e construção subestimadas, ou seja, não são dadas as devidas atenções aos itens de dimensionamento e, posteriormente, de construção desses elementos.

Assim, este estudo busca apresentar uma comparação simples entre o método de cálculo analítico (método das bielas) e o Método dos Elementos Finitos (MEF), este último com a adoção de elementos de placa (para representar a base da fundação) e elementos lineares para representar o pedestal. O objetivo principal é apresentar peculiaridades de cálculo que não são devidamente consideradas no dimensionamento destes elementos, além de comparar os resultados obtidos com os métodos de dimensionamento escolhidos.

As comparações serão reduzidas à obtenção da tensão no solo para os dois métodos apresentados e para a análise da influência da malha, nos casos da análise por meio dos elementos finitos.

2 | DADOS DE ENTRADA

Por tratar-se de uma análise hipotética, algumas premissas foram estabelecidas para a determinação das geometrias e cargas atuantes nas sapatas que farão parte deste estudo.

2.1 Geometria

Em relação à geometria das sapatas quadradas, adotou-se as dimensões em planta de 100 cm x 100 cm, 150 cm x 150 cm e 200 cm x 200 cm para as bases das fundações, e de 30 cm x 30 cm, 45 cm x 45 cm e 60 cm x 60 cm para as dimensões do pedestal. A dimensão do pedestal foi calculada de forma a manter-se a relação de 0,30 entre a largura do pedestal e a largura da base da fundação.

Para as sapatas retangulares, partiu-se para combinações das dimensões das sapatas quadradas, o que resultou em sapatas retangulares com dimensões de 100 cm x 150 cm, 100 cm x 200 cm e 150 cm x 200 cm. Os valores de pedestais foram também combinados em relação às dimensões das sapatas quadradas, o que resultou em pedestais de 30 cm x 45 cm, 30 cm x 60 cm e 45 cm x 60 cm, respectivamente para as bases retangulares apresentadas.

Em relação à altura entre o ponto de aplicação de cargas (CC = Centro de Cargas) e a base de transferência de carga da estrutura para o solo, adotou-se os valores de 100 cm e 150 cm, com o valor de $h_a = 25$ cm (trecho acima do solo) e h_c (altura da base da sapata) de forma que a sapata seja considerada rígida (para h_a e h_c ver Figura 1).

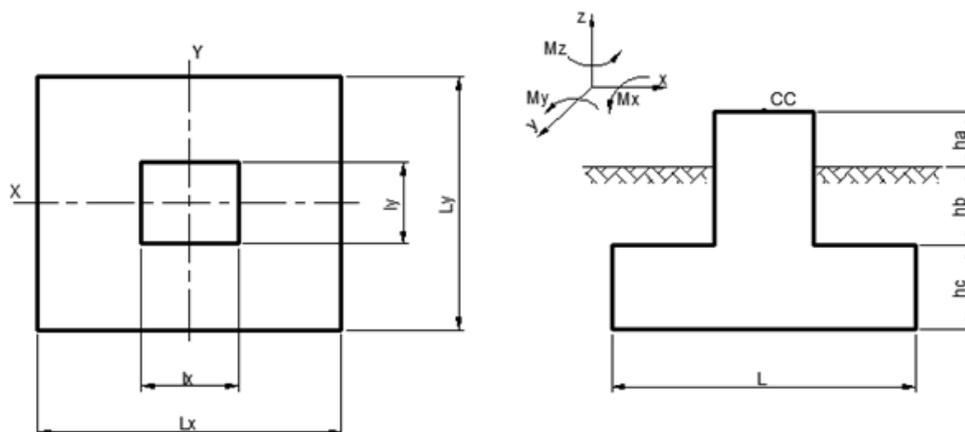


Figura 1 – Sapatas – Geometria e Aplicação de Cargas (Planta e Seção)

A Tabela 1 e a Tabela 2 apresentam a geometria das sapatas quadradas e retangulares, respectivamente, a serem analisadas neste estudo.

Ident.	Lx (cm)	Ly (cm)	lx (cm)	ly (cm)	ha (cm)	hb (cm)	hc (cm)
Q1	100	100	30	30	25	50	25
Q2	150	150	45	45	25	40	35
Q3	200	200	60	60	25	25	50
Q4	100	100	30	30	25	100	25
Q5	150	150	45	45	25	90	35
Q6	200	200	60	60	25	75	50

Tabela 1 – Geometria: Sapatas Quadradas

Ident.	Lx (cm)	Ly (cm)	lx (cm)	ly (cm)	ha (cm)	hb (cm)	hc (cm)
R1	100	150	30	45	25	40	35
R2	100	200	30	60	25	25	50
R3	150	200	45	60	25	25	50

Tabela 2 – Geometria: Sapatas Retangulares

2.2 Cargas Atuantes

As cargas atuantes nas sapatas a serem analisadas foram adotadas a partir das seguintes premissas:

- I. As ações atuantes levariam a sapata ao limite da tensão no solo, isto é, a tensão atuante no solo deveria ser igual (aproximadamente) à tensão admitida adotada no estudo ($1,0 \text{ kgf/cm}^2$);
- II. A carga vertical (N) aplicada, acrescida do peso próprio da sapata e do peso do solo sobre a sapata corresponderiam a aproximadamente 50% da tensão admissível do solo, isto é, aproximadamente $0,5 \text{ kgf/cm}^2$;
- III. A outra metade da tensão admissível do solo seria obtida a partir da combinação das ações (forças e momentos) atuantes;
- IV. Considerou-se que as forças e os momentos seriam iguais, em módulo, para as sapatas quadradas e, para as sapatas retangulares, as forças e os momentos manteriam a mesma relação de proporção que os lados da base das sapatas.

A Tabela 3 e a Tabela 4 apresentam as cargas atuantes adotadas com base nas premissas acima apresentadas para as sapatas quadradas e retangulares, respectivamente.

Ident.	Fx (tf)	Fy (tf)	N (tf)	Mx (tf.m)	My (tf.m)
Q1	0,20	0,20	3,50	0,20	0,20
Q2	0,70	0,70	7,50	0,70	0,70
Q3	1,70	1,70	13,00	1,70	1,70
Q4	0,15	0,15	2,50	0,15	0,15
Q5	0,55	0,55	5,50	0,55	0,55
Q6	1,30	1,30	9,50	1,30	1,30

Tabela 3 – Cargas Atuantes: Sapatas Quadradas

Ident.	Fx (tf)	Fy (tf)	N (tf)	Mx (tf.m)	My (tf.m)
R1	0,30	0,45	5,00	0,45	0,30
R2	0,40	0,80	6,50	0,80	0,40
R3	0,90	1,20	9,50	1,20	0,90

Tabela 4 – Cargas Atuantes: Sapatas Retangulares

3 I ANÁLISES

Conforme apresentado, este estudo será baseado na comparação dos resultados da análise das fundações a partir do método analítico (método das bielas) e o método dos elementos finitos (MEF)

3.1 Análise Analítica: Método das bielas

3.1.1 Generalidades

O método das bielas é um método bastante utilizado no dimensionamento de fundações diretas. A armadura da sapata é obtida a partir da tensão de tração, conforme apresentado na Figura 2.

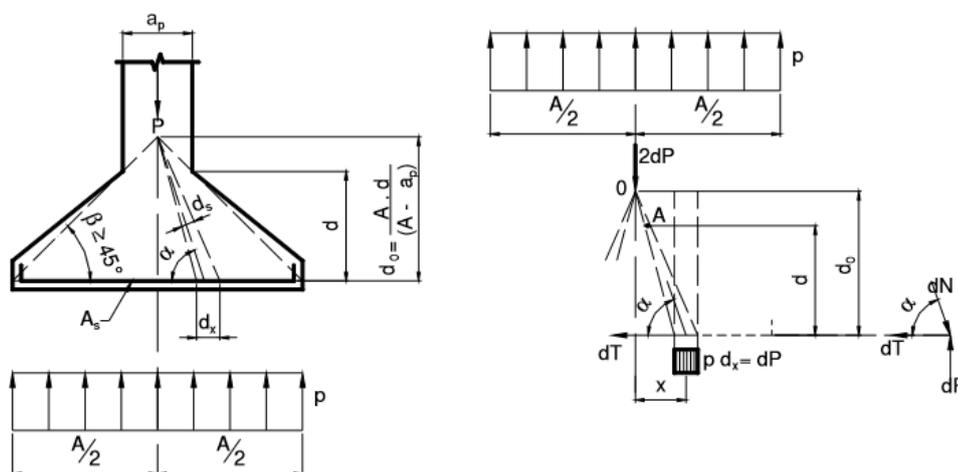


Figura 2 – Tensão de Tração, direção X: Método das Bielas

(Fonte: Bastos, 2012)

3.1.2 Formulação

A NBR 6118 (ABNT, 2014) considera como rígida a sapata que satisfaz à seguinte equação:

$$h \geq \frac{(L - l_p)}{3} \quad \text{Equação 1}$$

onde:

h : é a altura da sapata (h_c para as sapatas em estudo);

L : é a dimensão da sapata em uma determinada direção;

l_p : é a dimensão do pilar (pedestal) na mesma dimensão.

Assim, uma vez considerada rígida, “*pode-se admitir plana a distribuição de tensões normais no contato sapata-terreno, caso não se disponha de informações mais detalhadas a respeito*” (ANBT, 2014). Assim, a tensão no solo foi calculada a partir das equações da Resistência dos Materiais:

$$\tau = \frac{N}{A} \pm \frac{M_x}{W_x} \pm \frac{M_y}{W_y} \quad \text{Equação 2}$$

A Equação 2 desdobra-se em outras duas equações de interesse para a análise em questão:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \quad \text{Equação 3}$$

e

$$\tau_{m\acute{i}n} = \frac{N}{A} - \frac{M_x}{W_x} - \frac{M_y}{W_y} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

τ :	Tensão no solo;	M_x :	Momento atuante, em torno do Eixo x;
$\tau_{m\acute{a}x}$:	Tensão máxima atuante no solo;	M_y :	Momento atuante, em torno do Eixo y;
$\tau_{m\acute{i}n}$:	Tensão mínima atuante no solo;	W_x :	Módulo de Resistência, em x;
N :	Carga vertical atuante;	W_y :	Módulo de Resistência, em y.
A :	Área da base da fundação;		

O módulo de resistência (W), por sua vez, é dado por:

$$W_x = \frac{L_x \cdot (L_y)^2}{6} \quad W_y = \frac{L_y \cdot (L_x)^2}{6} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

L_x : Dimensão lateral da base da fundação, na direção X;

L_y : Dimensão lateral da base da fundação, na direção Y;

De acordo com Pfeil (1980), no caso de compressão com grande excentricidade a Equação 4 indicaria uma situação de pressão negativa em um dos bordos da fundação, o que é fisicamente impossível, pois não existe resistência à tração entre o terreno e a sapata. Para o autor, nessas condições, o equilíbrio é obtido a partir do diagrama linear de pressões atuando em apenas uma parte da seção, cujo cálculo pode ser facilitado com o apoio de ábacos e tabelas.

Nas situações em estudo, na presença de tensões de tração (Equação 4), a tensão máxima resultante será recalculada a partir da Equação 6:

$$\tau_{max} = \frac{k \cdot N}{A} \quad \text{Equação 6}$$

Sendo “k” um coeficiente para pressão máxima do solo, não considerando tensões de tração entre a fundação e o solo. Este coeficiente “k” é obtido a partir do cruzamento dos coeficientes C_x e C_y , em Pfeil (1980)¹:

$$C_x = \frac{M_y}{N \cdot L_x} \quad C_y = \frac{M_x}{N \cdot L_y} \quad \text{Equação 7}$$

O cálculo da tensão de tração na base da fundação, provocada pela compressão das bielas, é determinada a partir da Equação 8 (Velloso, 1996):

$$T = \frac{N^*(L - l_p)}{8 \cdot d} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

T : Tensão de tração, a ser calculada para as duas direções cartesianas X e Y;

N^* : Carga vertical aplicada, obtida a partir da tensão máxima do solo;

L : é a dimensão da sapata em uma determinada direção;

l_p : é a dimensão do pilar (pedestal) na mesma dimensão

d : altura útil.

A carga vertical atuante é obtida a partir da tensão máxima do solo, $\tau_{m\acute{a}x}$ (calculada a partir da utilização da Equação 3 em caso da ocorrência de tensões de compressão apenas, ou a partir da utilização da Equação 6, em caso de existência de tensões de tração):

$$N^* = \tau_{m\acute{a}x} \cdot A \quad \text{Equação 9}$$

3.1.3 Resultados

As análises por meio do método das bielas foram realizadas com o auxílio de uma planilha de cálculo elaborada para este fim, a partir da formulação indicada no item anterior.

1. Pfeil (1980) – Tabela 6.2.1.

A Tabela 5 e a Tabela 6 apresentam os resultados (principais) que serão utilizados para fins de comparação com a segunda análise a ser apresentada (por meio do MEF), respectivamente para as sapatas quadradas e para as retangulares.

Ident.	$\tau_{1,max}$ (kgf/cm ²)	$\tau_{1,min}$ (kgf/cm ²)	$\tau_{1,res}$ (kgf/cm ²)	Tx (tf)	Ty (tf)	Asc,x (tf)	Asc,y (tf)
Q1	0,991	0,031	0,991	4,337	4,337	1,396	1,396
Q2	0,999	0,003	0,999	9,832	9,832	3,166	3,166
Q3	1,012	-0,008	0,984	15,312	15,312	4,930	4,930
Q4	0,954	0,054	0,954	4,176	4,176	1,345	1,345
Q5	0,994	0,016	0,994	9,786	9,786	3,151	3,151
Q6	0,995	0,020	0,995	15,483	15,483	4,986	4,986

Tabela 5 –Resultados: Sapatas Quadradas

Ident.	$\tau_{1,max}$ (kgf/cm ²)	$\tau_{1,min}$ (kgf/cm ²)	$\tau_{1,res}$ (kgf/cm ²)	Tx (tf)	Ty (tf)	Asc,x (tf)	Asc,y (tf)
R1	0,981	0,021	0,981	4,292	6,438	1,382	2,073
R2	0,982	0,022	0,982	3,820	7,639	1,230	2,460
R3	0,974	0,014	0,974	8,521	11,362	2,744	3,658

Tabela 6 –Resultados: Sapatas Retangulares

3.2 Análise pelo Método dos Elementos Finitos (MEF)

3.2.1 Generalidades

O método dos elementos finitos (MEF) é um método matemático bastante difundido para a resolução de problemas estruturais (Mecânica das Estruturas) que permite modelar, com simplicidade, geometrias, condições de apoios e carregamentos.

De acordo com Buchanan (1994), O método dos elementos finitos representa uma solução numérica aproximada de um problema de valor limite, descrito por uma equação diferencial.

Contudo, é importante observar que, uma vez que o MEF produz soluções aproximadas, alerta-se que existe a necessidade de se efetuar uma análise cuidadosa dos resultados obtidos.

Uma vez que o foco desse estudo não é o MEF, não serão apresentados aqui conceitos e formulações utilizadas nas análises. Para um bom entendimento do assunto, sugere-se diversas bibliografias, entre elas Buchanan (1994)² e Alves Filho (2013).

3.2.2 Modelagem e Principais Considerações

A análise pelo MEF foi realizada com o auxílio do software comercial STAAD.Pro, da Bentley. A Figura 3 apresenta, de forma simplificada, a metodologia utilizada para criação

2. Schaum's outlines. Finite element analysis.

dos elementos finitos.

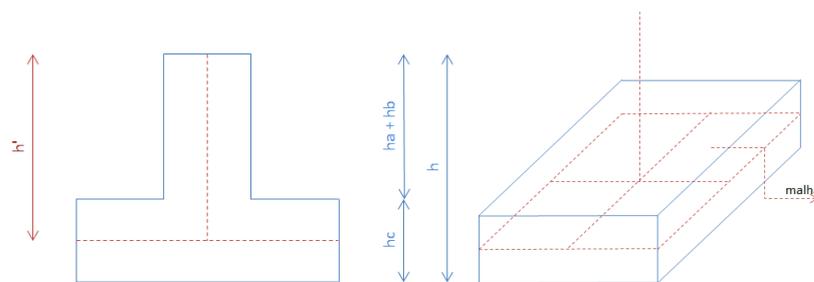


Figura 3 – Modelo considerado: divisão dos elementos em malhas (elementos menores).

As análises realizadas compreenderam as seguintes características principais:

- I. Base da fundação representada por meio de placas (elementos quadriláteros), com a quantidade de placas definida para cada modelo analisado;
- II. Pedestal representado por meio de elemento linear, também subdividido em outros elementos menores;
- III. Carga de solo aplicada por meio de carga distribuída por área, sem desconsiderar a área de influência do pedestal, para um peso específico de solo de $g = 1,8 \text{ tf/m}^3$;
- IV. Uma vez que a análise geotécnica e parâmetros do solo não são o foco deste estudo, será utilizado o coeficiente de $1.000.000 \text{ kg/m}^2/\text{m}$ para representar o meio elástico de suporte da fundação, para representar um meio com baixas deformações verticais, sem maiores explicações³;
- V. Combinação de cargas aplicada de forma simples, sem aplicação de qualquer coeficiente majorador (coeficiente de majoração será considerado no momento de dimensionamento da armadura);
- VI. Serão utilizadas apenas as saídas de dados referentes à tensão no solo (*base pressure*) e esforços atuantes (*stress and bending*);
- VII. O dimensionamento da armadura não será feito de forma automática pelo software e, sim, por meio de planilhas de cálculo auxiliares elaboradas com base na NBR 6118 (ABNT, 2014);
- VIII. A armadura de flexão será dimensionada para o momento máximo atuante, esforço este que será considerado uniforme em toda a estrutura.

A Figura 4 apresenta o fluxograma com o processo simplificado da sequência de atividades consideradas para a obtenção da Armadura, a partir dos resultados da análise pelo MEF.

3. Sugere-se a leitura de Pfeil (1980) para análise das molas a serem aplicadas à análise estrutural para simular o solo.

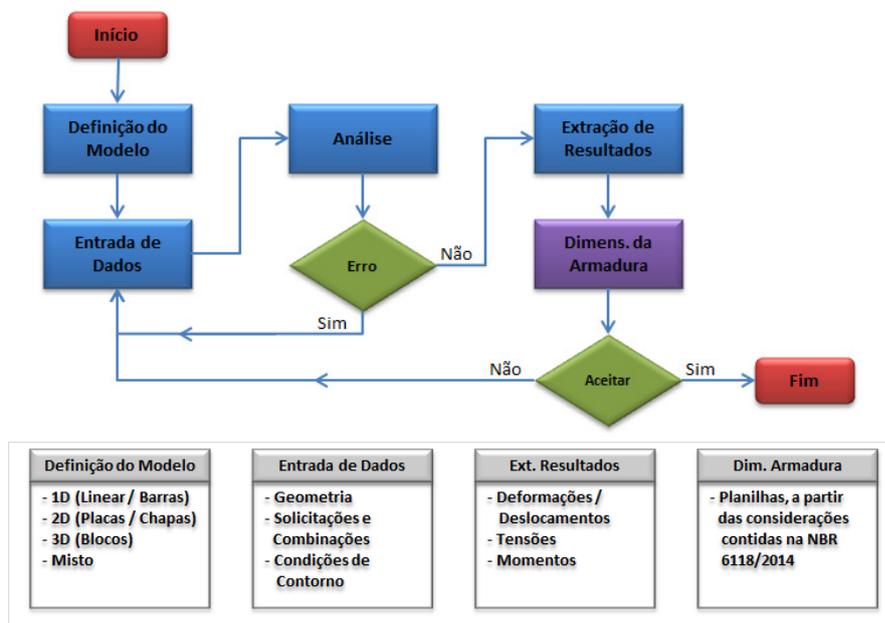


Figura 4 – Fluxograma: Obtenção da Armadura a partir da análise pelo MEF.

3.2.3 Simbologia, Extração e Interpretação dos Resultados

As figuras abaixo (Figura 5 e Figura 6) apresentam a simbologia a ser considerada para interpretação dos resultados obtidos por meio do software utilizado na análise.

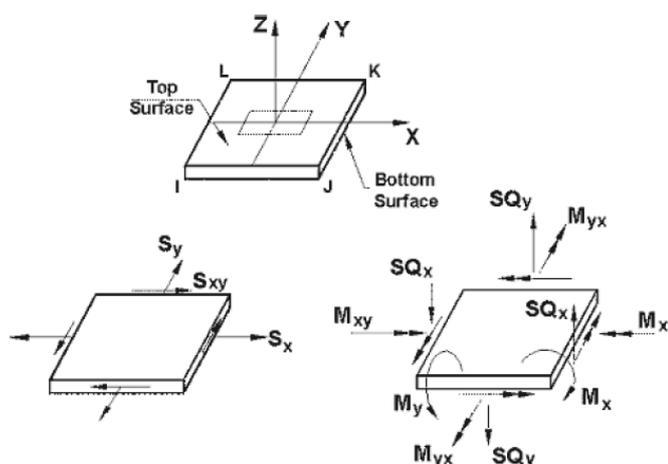


Figura 5 – STAAD.pro: Convenções de sinais para tensões e momentos em placas

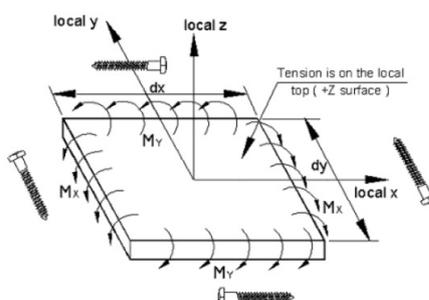


Figura 6 – STAAD.pro: Convenções de sinais para tensões e momentos em placas

3.2.4 Resultados

A Tabela 7 apresenta os resultados da análise realizada por meio do método dos elementos finitos, onde “n” é o número de placas utilizada na análise, “Lm,x” e “Lm,y” são as dimensões de cada placa no eixo correspondente, “t_{máx}” e “t_{mín}” são as tensões máximas e mínimas obtidas, “Mx” e “My” são os momentos máximos atuantes em uma placa específica e “Asx” e “Asy” são as áreas de aço para flexão calculadas conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014).

	n	Lm,x (cm)	Lm,y (cm)	t _{máx} (kgf/ cm ²)	t _{mín} (kgf/ cm ²)	Mx (ton.m)	My (ton.m)	As,x (cm ²)	As,y (cm ²)
100x100x100	4	50,000	50,000	0,679	0,358	0,141	0,161	0,227	0,260
	16	25,000	25,000	0,732	0,305	0,109	0,146	0,175	0,235
	64	12,500	12,500	0,751	0,286	0,090	0,140	0,145	0,226
	256	6,250	6,250	0,756	0,28	0,067	0,127	0,107	0,205
150x150x100	4	75,000	75,000	0,676	0,344	0,460	0,537	0,494	0,577
	16	37,500	37,500	0,730	0,289	0,353	0,492	0,379	0,529
	64	18,750	18,750	0,751	0,269	0,290	0,480	0,312	0,516
	256	9,375	9,375	0,756	0,263	0,211	0,440	0,226	0,473
200x200x100	4	100,000	100,000	0,680	0,340	1,076	1,248	0,771	0,894
	16	50,000	50,000	0,736	0,284	0,834	1,150	0,597	0,824
	64	25,000	25,000	0,757	0,263	0,694	1,121	0,497	0,803
	256	12,500	12,500	0,763	0,257	0,514	1,027	0,368	0,736
100x100x150	4	50,000	50,000	0,688	0,358	0,115	0,135	0,185	0,218
	16	25,000	25,000	0,742	0,303	0,090	0,127	0,145	0,205
	64	12,500	12,500	0,763	0,283	0,075	0,126	0,121	0,203
	256	6,250	6,250	0,768	0,277	0,057	0,117	0,091	0,189
150x150x150	4	75,000	75,000	0,688	0,358	0,382	0,451	0,410	0,485
	16	37,500	37,500	0,742	0,303	0,298	0,423	0,320	0,455
	64	18,750	18,750	0,762	0,283	0,250	0,419	0,268	0,451
	256	9,375	9,375	0,768	0,277	0,187	0,392	0,201	0,422
200x200x150	4	100,000	100,000	0,681	0,356	0,867	1,043	0,621	0,747
	16	50,000	50,000	0,735	0,302	0,672	0,993	0,481	0,711
	64	25,000	25,000	0,754	0,282	0,556	0,992	0,398	0,710
	256	12,500	12,500	0,76	0,277	0,409	0,936	0,293	0,670
100x150x100	4	50,000	75,000	0,671	0,350	0,138	0,528	0,111	0,425
	16	25,000	37,500	0,723	0,297	0,131	0,428	0,105	0,344
	64	12,500	18,750	0,743	0,278	0,114	0,395	0,092	0,318
	256	6,250	9,375	0,748	0,272	0,083	0,358	0,067	0,288

100x200x100	4	50,000	100,000	0,690	0,370	0,131	1,208	0,093	0,866
	16	25,000	50,000	0,743	0,316	0,150	0,930	0,107	0,666
	64	12,500	25,000	0,762	0,297	0,136	0,822	0,097	0,589
	256	6,250	12,500	0,768	0,292	0,101	0,724	0,073	0,518
150x200x100	4	75,000	100,000	0,949	0,439	0,296	1,787	0,212	1,281
	16	37,500	50,000	1,030	0,354	0,343	1,380	0,246	0,989
	64	18,750	25,000	1,07	0,323	0,313	1,223	0,224	0,877
	256	9,375	12,500	1,07	0,315	0,239	1,080	0,171	0,774

Tabela 7 – Resultados: MEF

4 | RESULTADOS DAS COMPARAÇÕES

4.1 Tensões no Solo

As estruturas em análise foram calculadas para a obtenção de uma tensão máxima no solo de $t_{\text{máx}} = 1,0 \text{ kgf/cm}^2$. A partir deste dado, verifica-se que, houve uma diferença de 25% a menor⁴, quando comparados os resultados do MEF com os obtidos pelo método analítico.

Uma outra comparação possível de ser realizada é a influência da malha nos resultados obtidos. A Figura 7 apresenta a comparação da tensão máxima para a sapata quadrada com dimensões de 100 cm x 100 cm (em planta) e altura total de 100 cm, para as quatro malhas analisadas (4, 16, 64 e 256 placas).

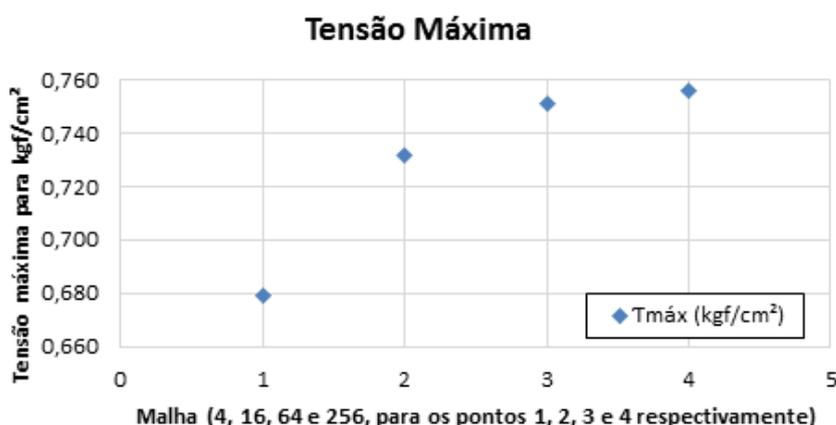


Figura 7 – Tensões máximas no solo, sapata 100 cm x 100cm x 100 cm

Pode ser verificado que a utilização de uma malha com mais elementos gerou uma diferença entre os valores de tensão máxima obtidos, aproximando-se mais da tensão limite adotada. Contudo, verifica-se também que o acréscimo no número de placas foi

4. Para a análise com uma malha mais refinada (maior número de placas).

gerando resultados distintos, mas que esta diferença caiu significativamente com o acréscimo de placas, ou seja, há um momento em que a alteração do número de placas impacta pouco significativamente nos resultados (esta seria, em tese, a malha “ideal” para a análise). Apesar da Figura 7 apresentar os resultados apenas da sapata 100 cm x 100 cm x 100cm, estes percentuais foram obtidos para as demais estruturas analisadas.

4.2 Armaduras

Em relação às armaduras, a diferença obtida foi significativa. Pode-se verificar o dimensionamento da armadura pelo método das bielas apresentou valores bem maiores que o dimensionamento a partir do momento fletor atuante. Contudo, para as análises realizadas, a armadura calculada ficou muito inferior à armadura mínima necessária por norma. Desta forma, uma outra análise que levasse às estruturas ao trabalho com esforços maiores que os mínimos seria necessária para a realização da comparação mais detalhada em relação à diferença das armaduras.

5 | CONCLUSÕES

Este estudo surgiu da mera curiosidade técnica dos autores. Por tratar-se de uma comparação simplista, muitos dados não foram considerados nas análises, principalmente em relação ao comportamento do solo.

Durante a sua elaboração, detectou-se que a grande dificuldade na realização de um estudo comparativo encontra-se na certeza da adoção de parâmetros equivalentes, apesar dos métodos distintos. Neste estudo, por mais simples que seja a análise, a dificuldade consistiu na representação de um elemento finito que se aproximasse da análise analítica, isto é, um elemento rígido sob um solo rígido de forma que a teoria de transferência linear da tensão da base da fundação para o solo fosse seguida também na análise por meio do elemento finito. Algumas outras peculiaridades como consideração ou não do offset (recurso de deslocamento do nó de ligação) e ou ponto de aplicação de carga surgiram e servem como pontos de atenção para estudos futuros.

Em relação à análise pelo método analítico, é importante observar que é uma análise simplificada, conservadora e que não leva em consideração os dados do solo. Assim, para estruturas mais robustas e de grande importância nos empreendimentos, sugere-se sempre a análise mais sofisticada para verificar outras condições, a exemplo das deformações (principalmente as diferenciadas).

Em relação às análises pelo método dos elementos finitos, algumas considerações e conclusões simplificadas podem ser apresentadas neste estudo, apesar de sua ampla divulgação em bibliografias diversas sobre o assunto:

- Conforme pode ser verificado a partir da análise das Figura 4 e da Figura 5, é de

extrema importância a padronização da orientação dos elementos finitos na análise, visto que os resultados são fornecidos a partir da orientação local dos elementos. A análise de uma estrutura com elementos desordenados torna-se muito mais complexa e a possibilidade de erros na interpretação dos resultados aumenta de forma significativa.

- Devido à maior facilidade para interpretação dos resultados por conta da padronização dos eixos locais, sugere-se a tentativa de se trabalhar sempre com elementos de placa quadrilaterais.
- Existem diversos softwares que realizam análises por meio do método dos elementos finitos e cada software possui a sua simbologia e convenção de sinais. Desta forma, a análise do manual técnico do software que será utilizado em cada análise é fundamental para uma correta interpretação dos resultados obtidos.
- Conforme pode ser visualizado pela análise da Tabela 07 e da Figura 07, a definição da malha influencia nos resultados obtidos. Contudo, a sensibilidade para adoção da malha a ser utilizada depende do software e do profissional que irá desenvolver as análises, bem como da importância da estrutura analisada. Uma estrutura mais simples e sem grande importância estrutural não precisa ter sua análise tão refinada.
- A definição da malha a ser utilizada, conforme apresentado no item acima, depende além da sensibilidade do operador, da capacidade de processamento do software utilizado e do recurso computacional disponível. Pode ser verificado, a partir da análise da Figura 07, que o ganho obtido (variação dos resultados) a partir do refinamento da malha tem um certo limite. Desta forma, nem sempre torna-se viável refinar muito uma malha e perder capacidade de processamento. Tratando-se de estruturas pequenas, refinar a malha (aumentar a quantidade de elementos) é algo fácil e simples. Contudo, quanto maior a estrutura a ser analisada, mais difícil torna-se este refino.
- Ainda em relação à malha utilizada, pode ser observado que a mudança da malha (isto é, a utilização de uma malha mais refinada) apresentou, para o caso dos momentos, uma inversão dos valores. Em termos práticos, essa inversão dos valores dos momentos indicaria a necessidade de utilização de armadura superior e inferior na estrutura analisada, visto que o momento ocorreria nas duas faces do elemento finito.

Em relação às comparações realizadas, não se tem como definir qual dos dois modelos analisados apresentou o melhor resultado. Para este tipo de conclusão, torna-se necessária a ampliação do estudo, ou seja, torna-se necessário a realização de diversas análises (para garantir a análise estatística) com estes métodos, além da utilização de outros métodos mais refinados (em 3 dimensões, por exemplo). Para estruturas isoladas, a utilização de métodos analíticos não representa grandes problemas.

Desta forma, este tudo apenas pretendeu apresentar os resultados de uma comparação realizada sem o aprofundamento dos critérios de solo e com a apresentação de poucos resultados.

Sugere-se, como continuação do estudo, uma análise mais profunda do tema, envolvendo a comparação com métodos de cálculo mais refinados e, se possível, estas

comparações devem ser realizadas com estruturas reais, construídas e instrumentadas de forma a possibilitar a análise dos resultados.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6122 – Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2010.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ALVES FILHO, A. **Elementos Finitos. A Base da Tecnologia CAE**. Editora Érica, 6ª edição. São Paulo, 2013.

BASTOS, P. S. S. **Sapatas de fundação**. Notas de aula. Unesp/Bauru. Agosto, 2012.

BUCHANAN, G. R. **Schaum's outline of theory and problems of finite element analysis**. McGraw-Hill, 1994.

CINTRA, J. C. A., AOKI, N., ALBIERO, J. H. **Fundações diretas: projeto geotécnico**. São Paulo, Oficina de Textos, 2011.

PFEIL, W. **Pontes em concreto armado**. 2ª edição. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1980.

VELLOSO, D. A. LOPES, F. R. **Fundações: vol. 1**. COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 1996.

ÍNDICE REMISSIVO

A

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

Adiciones Minerales 62

Agregado Cerâmico 49, 53, 55, 57, 58

Análise Estrutural 193, 194, 208, 217

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

Argamassa de Assentamento 49, 113

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

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

Avaliação Funcional 165

B

Baixo Custo 59, 114, 115, 239, 261

Bioetanol 64, 79, 80, 81, 95

C

Canalização 133, 136

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

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

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

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

Contrapiso 2, 3, 15, 104

D

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

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

Drenagem em Pavimentos 165

E

Edifício Empresarial 149, 150

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

Esgotamento Sanitário 133, 134, 135, 137

F

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

G

Granito (RCMG) 1, 2

L

Laje Maciça 150, 152, 153, 154

Lignina 80, 81, 82, 83, 96

M

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

P

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

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

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

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

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

R

Recalque 138, 142, 145

Reciclagem de RCD, 49

Redes Coletoras 133, 136

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

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

Resíduo de Corte 1, 2, 3, 4, 15

Resíduo Reciclado 2

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

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

S

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

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

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

Subsistência 138, 147

Sustentabilidade 80, 115, 240

T

Teoria da Elasticidade 209

V

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

 **Atena**
Editora

2 0 2 0