

Armando Dias Duarte
(Organizador)

ENGENHARIA CIVIL:

Demandas sustentáveis e
tecnológicas e aspectos ambientais 2



Atena
Editora

Ano 2022

Armando Dias Duarte
(Organizador)

ENGENHARIA CIVIL:

Demandas sustentáveis e
tecnológicas e aspectos ambientais 2



Atena
Editora

Ano 2022

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 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-Não-Derivativos 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 Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

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 Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
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
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
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



Engenharia civil: demandas sustentáveis e tecnológicas e aspectos ambientais 2

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Armando Dias Duarte

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia civil: demandas sustentáveis e tecnológicas e aspectos ambientais 2 / Organizador Armando Dias Duarte. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0384-5

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.845221108>

1. Engenharia civil. I. Duarte, Armando Dias (Organizador). 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
contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

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 “*Engenharia civil: Demandas sustentáveis e tecnológicas e aspectos ambientais 2*” é uma obra que tem como foco principal a discussão científica por intermédio de diversos trabalhos que compõe seus capítulos. O volume abordará de forma categorizada e interdisciplinar, pesquisas cujos resultados possam auxiliar na tomada de decisão, tanto no campo acadêmico, quanto no profissional.

Os trabalhos desenvolvidos foram realizados em instituições de ensino, pesquisa e extensão localizadas no Brasil. Nos capítulos apresentados, são encontrados estudos de grande valia nas áreas de: materiais da construção civil, análise de estruturas por meio de métodos numéricos, recursos hídricos e gestão. A composição dos temas buscou a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos (as), mestres (as) e todos (as) aqueles (as) que de alguma forma se interessam pela área da Engenharia Civil, através de temáticas atuais com resoluções inovadoras, descritas nos capítulos da coleção. Sendo assim, a divulgação científica é apresentada com grande importância para o desenvolvimento de toda uma nação, portanto, fica evidenciada a responsabilidade de transmissão dos saberes através de plataformas consolidadas e confiáveis, como a Atena Editora, capaz de oferecer uma maior segurança para os (as) novos (as) pesquisadores (as) e os (as) que já atuam nas diferentes áreas de pesquisa, exporem e divulguem seus resultados obtidos.

Armando Dias Duarte

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA EM BAIRRO DE ELEVADO FLUXO DE VEÍCULOS – ESTUDO DE CASO


Eduardo Antonio Maia Lins
Daniele de Castro Pessoa de Melo
Diogo Henrique Fernandes da Paz
Sérgio Carvalho de Paiva
Adriane Mendes Vieira Mota
Luiz Vital Fernandes Cruz da Cunha
Luiz Oliveira da Costa Filho
Fábio José de Araújo Pedrosa
Fábio Correia de Oliveira
Rosana Gondim de Oliveira
Fabio Machado Cavalcanti
Maria Clara Pestana Calsa
Fernando Arthur Nogueira Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8452211081>

CAPÍTULO 2..... 10

ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM UMA RODOVIA PERNAMBUCANA

Eduardo Antonio Maia Lins
Adriana da Silva Baltar Maia Lins
Daniele de Castro Pessoa de Melo
Diogo Henrique Fernandes da Paz
Sérgio Carvalho de Paiva
Adriane Mendes Vieira Mota
Luiz Vital Fernandes Cruz da Cunha
Luiz Oliveira da Costa Filho
Fábio José de Araújo Pedrosa
Fábio Correia de Oliveira
Rosana Gondim de Oliveira
Fabio Machado Cavalcanti
Maria Clara Pestana Calsa
Fernando Arthur Nogueira Silva


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8452211082>

CAPÍTULO 3..... 24

ANÁLISE AMBIENTAL DOS IMPACTOS NEGATIVOS GERADOS POR CEMITÉRIO – ESTUDO DE CASO

Eduardo Antonio Maia Lins
Adriana da Silva Baltar Maia Lins
Daniele de Castro Pessoa de Melo
Diogo Henrique Fernandes da Paz
Sérgio Carvalho de Paiva
Adriane Mendes Vieira Mota


Luiz Vital Fernandes Cruz da Cunha
Luiz Oliveira da Costa Filho
Fábio José de Araújo Pedrosa
Fábio Correia de Oliveira
Rosana Gondim de Oliveira
Andréa Cristina Baltar Barros
Fabio Machado Cavalcanti
Fernando Artur Nogueira Silva
Maria Clara Pestana Calsa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8452211083>

CAPÍTULO 4..... 36

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICO DO CONCRETO LEVE COM ARGILA EXPANDIDA E ADIÇÃO DA CINZA DO COCO EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO


João Paulo Monteiro Carvalho
Simone de França Cardoso
Wilson Linhares dos Santos
Mércia Maria Pinheiro Gambarra

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8452211084>

CAPÍTULO 5..... 49

EFFECT OF BASALT POWDER AND METAKAOLIN FILLERS ON ASPHALT MASTIC BEHAVIOR


Ana Luiza Rezende Rodrigues
Rodrigo Pires Leandro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8452211085>

CAPÍTULO 6..... 63

MASSA CERÂMICA À BASE DE RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA IMPRESSÃO 3D POR EXTRUSÃO


Márcia Silva de Araújo
Gabriel Elias Toledo Ferreira
José Alberto Cerri

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8452211086>

CAPÍTULO 7..... 77

VALORIZATION OF SLATE WASTE TO PRODUCE MATERIALS CERAMICS AND COMPOSITES

Luciana Boaventura Palhares
Douglas Filipe Galvão
Tayna E. B. Lucena
Sthefany B. P. da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8452211087>

CAPÍTULO 8..... 90


AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE PAVERS

PRODUZIDOS COM O USO DE SÍLICA ATIVA

Martônio José Marques Francelino

Fred Rodrigues Barbosa

João Manoel de F. Mota

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8452211088>

CAPÍTULO 9..... 103

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ARGAMASSA PRODUZIDO COM AGLOMERANTE ÁLCALI-ATIVADO À BASE DE RCV E CINZAS

Otacisio Gomes Teixeira

Mateus Ribeiro Caetano

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8452211089>


CAPÍTULO 10..... 113

ASPECTO HISTÓRICO DO PROJETO DO RESERVATÓRIO DO RIO ARICANDUVA NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO SOB O ASPECTO HIDROLÓGICO

Ariston da Silva Melo Júnior

Claudia de Oliveira Lozada

João Jorge Pereira da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84522110810>

CAPÍTULO 11..... 125

ANÁLISE ESTRUTURAL DE EDIFICAÇÕES DAS ÁREAS RIBEIRINHAS PÓS DESASTRE: UM OLHAR PARA O BANCO DA VITÓRIA, ILHÉUS-BA

Igor Ângelo Lobão de Souza

Joandre Neres de Jesus

Vanessa Neri de Souza

Kaique Ourives Silva

Ozana Almeida Lessa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84522110811>

CAPÍTULO 12..... 138

ESTUDO DA CAPACIDADE DE SUPORTE DA PRAIA DO BAIRRO NOVO, OLINDA, PERNAMBUCO

Eduardo Antonio Maia Lins

Daniele de Castro Pessoa de Melo

Diogo Henrique Fernandes da Paz

Sérgio Carvalho de Paiva

Adriane Mendes Vieira Mota

Luiz Vital Fernandes Cruz da Cunha

Luiz Oliveira da Costa Filho

Fábio José de Araújo Pedrosa

Fábio Correia de Oliveira


Rosana Gondim de Oliveira

Fabio Machado Cavalcanti

Maria Clara Pestana Calsa

Fernando Arthur Nogueira Silva

Hugo Vinicius Arruda de Sales

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84522110812>

CAPÍTULO 13..... 155

TAIPA DE PILÃO: UMA TÉCNICA CONSTRUTIVA COM TERRA

Kauan de Jesus Oliveira

Júlio Coura Diniz

Erick Roberto Campos

Sayonara Espinoza Silva

Samuel Velasques Fernandes de Noronha

João Victor Rech Ruiz da Silva

Muriellen Cristina Cavalheiro da Frota Monteiro

Rafael Luis da Silva

Alex Gomes Pereira


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84522110813>

CAPÍTULO 14..... 165

ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS DE VIGAS EM CONCRETO ARMADO ATRAVÉS DO SOFTWARE ANSYS

Henrique Cardoso Koch

Bruna Manica Lazzari

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84522110814>


CAPÍTULO 15..... 214

ANÁLISE NUMÉRICA DE ATERRO TESTE SOBRE SOLO ARGILOSO MUITO MOLE REFORÇADO COM COLUNAS DE BRITA

Pedro Gomes dos Santos Pereira

Bruno Teixeira Lima

Marcus Peigas Pacheco

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84522110815>


CAPÍTULO 16..... 225

ANÁLISE ESTRUTURAL ELÁSTICA LINEAR DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO POR DIFERENTES MODELOS DE CÁLCULO: UM ESTUDO DE CASO

Ray Calazans dos Santos Silva

Luan Reginato


José Anchieta Damasceno Fernandes Neto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84522110816>

CAPÍTULO 17..... 241

GERENCIAMENTO, CONTROLE E APLICAÇÃO DO MÉTODO - *LEAN CONSTRUCTION* NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Diego Ramos de Melo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84522110817>

SOBRE O ORGANIZADOR..... 255

ÍNDICE REMISSIVO..... 256

ANÁLISE NUMÉRICA DE ATERRO TESTE SOBRE SOLO ARGILOSO MUITO MOLE REFORÇADO COM COLUNAS DE BRITA

Data de aceite: 01/08/2022

Pedro Gomes dos Santos Pereira

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, Brasil

Bruno Teixeira Lima

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,
Universidade Federal Fluminense
Rio de Janeiro, Brasil

Marcus Peigas Pacheco

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, Brasil

RESUMO: O presente trabalho apresenta um estudo numérico do comportamento das colunas de brita instaladas em um aterro teste, localizado no bairro de Santa Cruz e sobre argila compressível muito mole. Devido ao avanço da tecnologia e o surgimento de softwares geotécnicos, leituras de instrumentação podem ser analisadas e comparadas com o método dos elementos finitos processados por esforços computacionais, gerando um enriquecimento do banco de dados e revisões acadêmicas relacionadas a estes. O objetivo do trabalho se concentra em uma análise numérica do estudo de caso onde são utilizados os dados da instrumentação realizada no aterro teste que são comparados com os resultados de deslocamento vertical e excesso de poropressão obtidos por dois programas de elementos finitos: Plaxis e RS2 (Rocscience). O modelo constitutivo utilizado para as análises numéricas foi o Mohr-Coulomb,

e este também foi comparado com os resultados obtidos em modelos do tipo Cam-Clay modelado por Lima (2012). A compatibilidade dos resultados apresentados pelos dois softwares de elementos finitos foi avaliada como satisfatória.

NUMERICAL ANALYSIS OF TEST EMBANKMENT ON SOFT SOIL IMPROVED WITH STONE COLUMN

ABSTRACT: The present research aims to do a numerical study of the behavior of stone column installed in a test embankment, located at Santa Cruz and on very soft clay. The embankment was built on very soft and compressible clay. Nowadays, with the development of technology and the creation of softwares, data of instrumentation can be analyzed and compared with the finite element method processed by computational efforts, generating database enrichment and academic reviews. The objective of this research is focused on numerical analysis of the case study where the data of the instrumentation were measured. These data are compared with the results of vertical displacement and excess pore pressure obtained by two finite element programs: Plaxis and RS2 (Rocscience). The Mohr-Coulomb model was also compared to the results obtained by the Cam-Clay model made by Lima (2012). The compatibility of the results presented by both finite element softwares was evaluated as satisfactory.

1 | INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia e o desenvolvimento de *softwares* geotécnicos, as

modelagens computacionais por meio do método dos elementos finitos ganharam espaço e consequentemente puderam enriquecer as pesquisas e aperfeiçoar as estimativas relacionadas aos estudos geotécnicos. Questões anteriormente simplificadas pelos métodos analíticos e semi-empíricos puderam ser calculadas com maior precisão e de acordo com as particularidades e comportamento de cada obra, inclusive no uso de coluna de brita em solos compressíveis.

O presente trabalho é um estudo de uma área teste para pilha de estocagem de minério da obra da TKCSA (ThyssenKrupp Companhia Siderúrgica do Atlântico), localizada no bairro de Santa Cruz, Rio de Janeiro, que foi instrumentada e monitorada a partir da instalação de colunas de brita. Os resultados da instrumentação da área teste foram comparados aos resultados de deslocamento vertical e excesso de poropressão obtidos na modelagem em Mohr-Coulomb pelos *softwares* de elementos finitos RS² e Plaxis. Além disso, estes valores também foram comparados com as análises realizadas por Lima (2012) no modelo tipo *Cam-Clay (soft soil creep)* para se verificar a compatibilidade dos resultados em diferentes modelos constitutivos.

2 | ESTUDO DE CASO

O estudo de caso do presente trabalho consiste em uma obra da TKCSA (ThyssenKrupp Companhia Siderúrgica do Atlântico), localizada no bairro de Santa Cruz, região oeste do Rio de Janeiro, em que foi construído um pátio de minério de grandes dimensões para carga e descarga de minério. Parte da região receberia cargas relativas ao depósito de carvão e à pilha de minério de ferro, então, por razão da tensão vertical da pilha de minério ser mais de três vezes maior que a pilha de carvão mineral, foram adotadas diferentes soluções para elas.

Para a área destinada ao depósito de carvão mineral utilizaram-se drenos verticais e colunas de areia encamisadas, enquanto para a pilha de minério de ferro utilizou-se a solução de coluna de brita, devido às altas cargas previstas aliado ao curto espaço de tempo para conclusão da obra. A região em que foi adotada a solução de coluna de brita será a estudada neste trabalho. A Figura 1 indica a localização do empreendimento construído pela TKCSA.

A fim de se estudar os efeitos do acréscimo de carregamento no solo muito compressível, muito comum na região contemplada, foi construído um aterro teste instrumentado e monitorado na futura área de depósito de minério de ferro.

O solo local é composto por uma extensa camada de argila fluvial e marinha muito compressível, típica de regiões de baixada no estado do Rio de Janeiro, com espessuras que variam de 7,0 m a 15,0 m. O modelo da estratigrafia do terreno foi elaborado em conformidade com as sondagens de simples reconhecimento e ensaios de cone (CPT/CPTu) realizados previamente no local. Nestas investigações, além das camadas de argila

mole, foram observadas também camadas e lentes de areia de diversas espessuras ao longo da profundidade. Portanto, em grande parte da área do pátio de minério existem três camadas de argila entrepostas por camadas de areias de mesma classificação.



Figura 1. Localização via satélite da obra da TKCSA - pós construção (Google Maps).

Devido à dificuldade em trabalhar no terreno, um aterro de conquista com espessura de aproximadamente 2,6 m foi hidráulicamente instalado no local para o acesso dos equipamentos. Subjacente a este aterro, as colunas de brita utilizadas no pátio de minério de ferro foram construídas com espaçamentos variados de 1,75 m a 2,20 m, com comprimentos de 10 a 17 m (média de 12 m) e uso de malha quadrangular.

Na área teste o carregamento foi aplicado com trilhos de ferro que se encontravam sobrepostos a uma placa de concreto de dimensões 6,5 m x 6,5 m x 0,4 m, cobrindo um grupo 16 colunas localizadas no centro da área teste. A etapa de carregamento aplicada à este grupo de colunas consistia em fases de sobrecarga de 102,3 kPa a 182,3 kPa em diferentes intervalos de dias. A Quadro 1 apresenta a sequência evolutiva de carregamentos na área teste.

Nº	Descrição	Tensão vertical aplicada (kPa)	Duração (dias)
1	Carregamento 1	102,3	16
2	Adensamento 1	102,3	2
3	Carregamento 2	112,2	1
4	Adensamento 2	112,2	1
5	Carregamento 3	150,0	3
6	Adensamento 3	150,0	1
7	Carregamento 4	183,6	3
8	Adensamento 1	183,6	1
9	Descarregamento	126,0	4
10	Adensamento pós-descarregamento	126,0	16

Quadro 1. Sequência evolutiva de carregamento na área teste de minério (adaptado, Lima 2012).

O perfil adotado para estudo foi elaborado com base em ensaios CPTu realizados pouco antes da instalação da instrumentação. O nível d'água foi localizado 80 centímetros abaixo da cota do terreno. A Figura 2 indica a situação do perfil do terreno após a instalação do aterro de conquista e das colunas de brita no local.

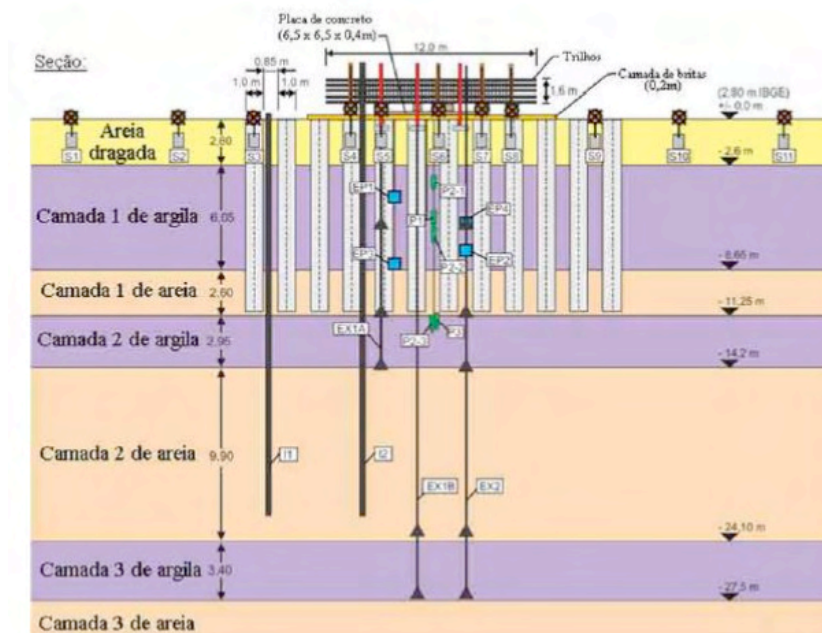


Figura 2. Perfil do terreno adotado após a instalação do aterro de conquista e das colunas de brita com as posições dos equipamentos de instrumentação instalados (Lima, 2012).

3 | METODOLOGIA – PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

Os parâmetros geotécnicos utilizados para a análise numérica desse trabalho tiveram como base resultados de ensaios de campo e de laboratório, além da calibração do modelo geotécnico apresentados nos trabalhos de Lima (2012) e Roza (2012), assim como valores usuais da literatura em alguns casos.

O valor de peso específico (γ) da primeira camada de argila do modelo foi estimado com base em amostras indeformadas retiradas de campo, enquanto para as camadas de argila subsequentes foram utilizadas as amostras coletadas na área localizada fora do pátio que possui características semelhantes, devido à falta de informação na região do pátio de minério. Em razão do efeito do adensamento produzido pela instalação do aterro de conquista, foram realizadas por Roza (2012) diversas análises numéricas axissimétricas para estimar o valor final pós-aterro de conquista do peso específico das camadas de argila. Com relação à coluna de brita, aterro de conquista, camadas de areia e placa de

concreto foram utilizados valores usuais da literatura.

Os ângulos de atrito (ϕ) das camadas de argila foram determinados pelos ensaios laboratoriais CU nas mesmas condições que as amostras ditas anteriormente. Para a coluna de brita, o ângulo de atrito foi obtido a partir de análise paramétrica realizada por Roza (2012), que teve o intuito de se estimar o valor de projeto mais adequado para o caso estudado. Ademais, para os ângulos de atrito do aterro de conquista e as camadas de areia foram utilizados valores sugeridos por Terzaghi e Peck (1967) e Lambe e Whitman (1979).

Os demais parâmetros utilizados no modelo foram retirados do trabalho de Lima (2012) e Roza(2012) e estão presentes na Quadro 3. Devido às incertezas relacionadas aos parâmetros de permeabilidade (k) e coeficiente de empuxo (K), Roza (2012) também realizou uma análise paramétrica destes parâmetros.

Para a determinação do módulo de elasticidade das argilas Pereira (2018) utilizou a correlação do módulo oedométrico indicada Equação 1.

$$E_{oed} = \frac{\sigma_{v' med} (1+e_0)}{0,435 C_r} \quad [1]$$

Em razão da variação dos valores de módulos de elasticidade durante o adensamento e da variação do fator de concentração (FC) do solo (2 a 5) indicada no trabalho de Lima (2012), Pereira (2018) estabeleceu diferentes módulos de elasticidade oedométricos para as camadas de argila. O módulo de elasticidade inicial não levou em conta o carregamento aplicado nem o fator de concentração do solo. O módulo de elasticidade mínimo utilizou o carregamento mínimo aplicado (102,3 kPa) e o FC=5, por representar a situação de menor absorção de carga pelo solo. Para o módulo de elasticidade máximo, o carregamento aplicado foi o máximo (183,6 kPa) e o valor de FC=2 por indicar a situação em que o solo absorve mais carga. As camadas 2 e 3 de argila, possuem o módulo de elasticidade do solo no estado inicial por se apresentarem fora da região de influência do carregamento aplicado. A Quadro 2 apresenta o módulo de elasticidade utilizado para os diversos materiais representados no modelo.

	E_{oed} (kPa)		
	inicial	Mín (FC=5)	Máx (FC=2)
Aterro de conquista	2000	-	-
Coluna de brita	80000	-	-
Camada de argila 1	190	440	900
Camada de argila 2	460	1020	1490
Camada de argila 3	1060	1800	2300
Camada de areia 1	30000	-	-
Camada de areia 2	30000	-	-
Camada de areia 3	250000	-	-

Quadro 2 – Parâmetros de módulo de elasticidade oedométrico utilizados no modelo de pátio de minério.

O valor de módulo de elasticidade para as colunas de brita foi baseado na média dos valores presentes na bibliografia referente ao assunto. Para as areias foram estabelecidos valores com base no trabalho de Lambe e Whitman (1979).

A Quadro 3 apresenta os parâmetros utilizados no modelo do pátio de minério estudado.

	γ_{nat} (kN/m ³)	ϕ (°)	k_v (m/dia)	k_h (m/dia)	C_c	K
Aterro de conquista	18	30	0,86	0,86	-	1,25
Coluna de brita	20	40	27000	27000	-	1,25
Camada de argila 1	13,4	25	$7,9 \times 10^{-5}$	$3,9 \times 10^{-5}$	1,92	1,25
Camada de argila 2	16	25	$7,8 \times 10^{-5}$	$7,9 \times 10^{-5}$	1,07	0,6
Camada de argila 3	15,6	25	$14,0 \times 10^{-5}$	$7,0 \times 10^{-5}$	1,00	0,6
Camada de areia 1	18	30	0,86	0,86	-	1,25
Camada de areia 2	18	30	0,86	0,86	-	0,5
Camada de areia 3	18	30	0,86	0,86	-	0,5

Quadro 3 – Parâmetros utilizados no modelo de pátio de minério.

4 | RESULTADOS

Para computar os resultados das análises numéricas foram marcados nós de deslocamentos e pontos de tensão nas posições da instrumentação de campo, desta forma foi possível realizar uma comparação entre as leituras da instrumentação e a análise plana de deformação. Nas medições dos deslocamentos verticais, as placas de recalque foram instaladas a 0,5 metros abaixo da superfície. Quanto ao excesso de poropressão, os piezômetros se encontravam na profundidade de 4 metros, 6 metros e 7 metros representados com P2-1, P1 e P2-2 na Figura 2.

A ruptura da Área Teste pode ser observada a partir do do 21º dia, aproximadamente, segundo critério de Leoueil (2001). Para Leroueil (2001) o fator de segurança de estabilidade sobre argila mole possui uma relação com o índice de deslocamento horizontal da camada compressível no pé do talude que não pode passar de 10 mm/dia, caso aconteça, isto pode representar uma possível ruptura do solo. Maiores detalhes podem ser vistos no trabalho de Pereira (2018). Com isso, as análises numéricas após esta data apresentam valor qualitativo, pois não é possível simular o efeito pós-ruptura nos *softwares* utilizados. Para que tal fosse analisado seriam necessárias análises mais sofisticadas, porém estas não estão nos objetivos desta pesquisa.

4.1 Deslocamentos verticais

A Figura 3 ilustra os deslocamentos verticais no modelo de deformação plana associados aos diferentes módulos de elasticidade propostos por Pereira (2018), e

comparados com os resultados das placas de recalque (S5 e S7), localizadas bem abaixo do meio da placa de concreto.

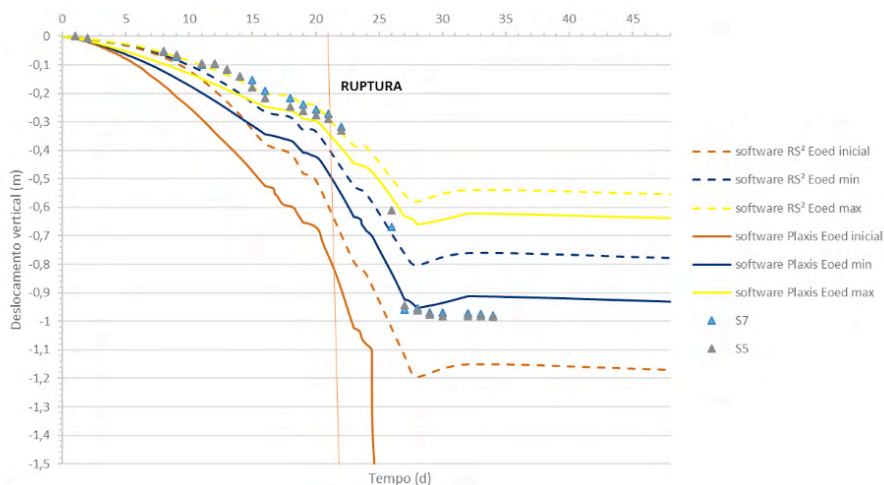


Figura 3. Deslocamentos verticais para diferentes módulos de elasticidade propostos (Pereira, 2018).

É possível observar a diferença nos resultados com diferentes módulos de elasticidade nos dois *softwares*, onde a maior adequação dos deslocamentos verticais medidos foi o da modelagem utilizando módulos de elasticidade máximos ($E_{\text{oed-max}}$). Este portanto foi o modelo adotado no prosseguimento das análises presentes neste trabalho. É interessante perceber que até o 21º dia, as análises para módulo de elasticidade máximo apresentam valores muito semelhantes às leituras das placas de recalque.

A partir do trabalho de Lima (2012) foi possível analisar os resultados do modelo *Cam-Clay* para a seção de coluna de brita construída na Área Teste. Os valores estimados também foram referentes às placas de recalque S5 e S7 localizadas no centro do modelo.

Na Figura 4 pode ser visto que os deslocamentos verticais em função do tempo no modelo *Cam-Clay* foram próximos aos encontrados no modelo Mohr-Coulomb para os valores de $E_{\text{oed-max}}$ e aos medidos em campo.

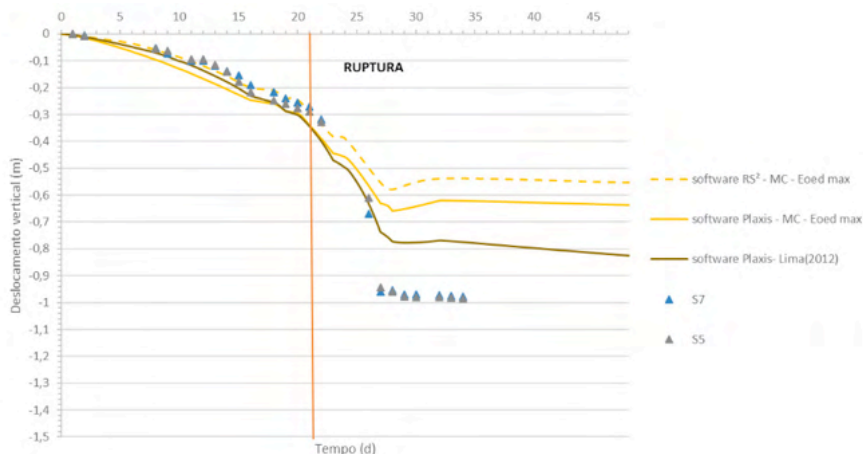


Figura 4. Deslocamentos verticais para módulo de elasticidade máximo em Mohr-Coulomb e *Cam-Clay* (Pereira, 2018).

4.2 Excesso de poropressão

A Figura 5 ilustra os excessos de poropressão no modelo de deformação plana para módulo de elasticidade máximo em diferentes profundidades (4m, 6m, 7m) relativas ao piezômetros. Estes piezômetros se encontram localizados abaixo do meio da placa de concreto.

Os pontos das análises numéricas selecionados para a análise de excesso de poropressão foram localizados exatamente no ponto médio entre as colunas de brita, admitindo-se que as colunas de brita foram instaladas perfeitamente verticais, sem variação de espaçamento e diâmetro. Contudo, no campo, esta situação pode não ocorrer. Além disto a instalação do piezômetro pode ter ocorrido em uma posição ligeiramente diferente da prevista, podendo assim não ter sido instalado exatamente no ponto selecionado na modelagem. Quanto mais perto o piezômetro estiver localizado das colunas de brita, maior será a dissipação e conseqüentemente menor o valor medido de excesso de poropressão. Em contrapartida, segundo Wong (2009), o modelo Mohr-Coulomb tende a não reproduzir muito bem o comportamento de poropressão, gerando possivelmente valores abaixo dos medidos em campo. Com isso, é necessário que se fique atento aos diferentes resultados do modelo.

No intuito de verificar a validade dos resultados reproduzidos pelos modelos a Figura 6 compara os resultados da análise numérica realizada por Lima (2012), no modelo *Cam-Clay*, com as curvas da instrumentação e as análises realizadas com o modelo Mohr-Coulomb, todas na profundidade de 6 metros. A partir do gráfico, é possível constatar que os valores de excesso de poropressão medidos foram realmente menores que os esperados, como dito anteriormente. O modelo *Cam-Clay* utilizado por Lima (2012) tende a reproduzir

níveis maiores de poropressão que o modelo Mohr-Coulomb.

Ambos modelos utilizados conseguiram reproduzir o comportamento das leituras de campo, mas devido à deficiência do modelo Mohr-Coulomb em calcular o efeito da poropressão (Wong, 2009) e às dúvidas quanto a localização do piezômetro é necessário cautela com a magnitude da poropressão apresentada.

Possivelmente, a localização do piezômetro não foi perfeitamente respeitada, situando-se mais próximo da coluna e apresentando valores de poropressão menores. Por esta razão estes valores coincidiram em grande parte com os valores indicados pelo modelo Mohr-Coulomb.

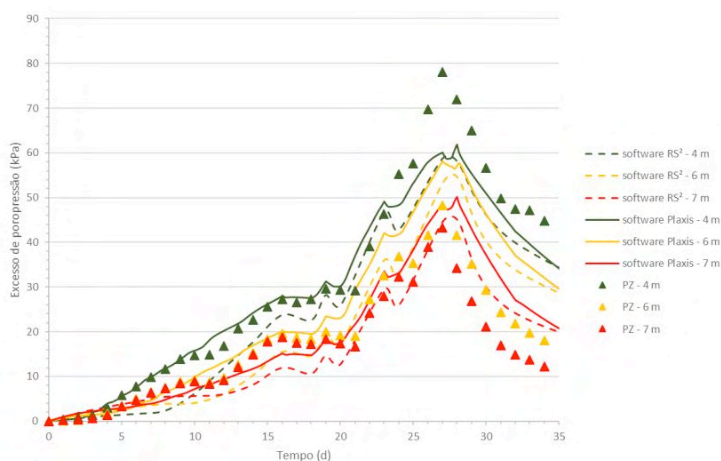


Figura 5. Excesso de poropressão em relação ao tempo nas profundidade de 4m, 6m e 7m (Pereira, 2018).

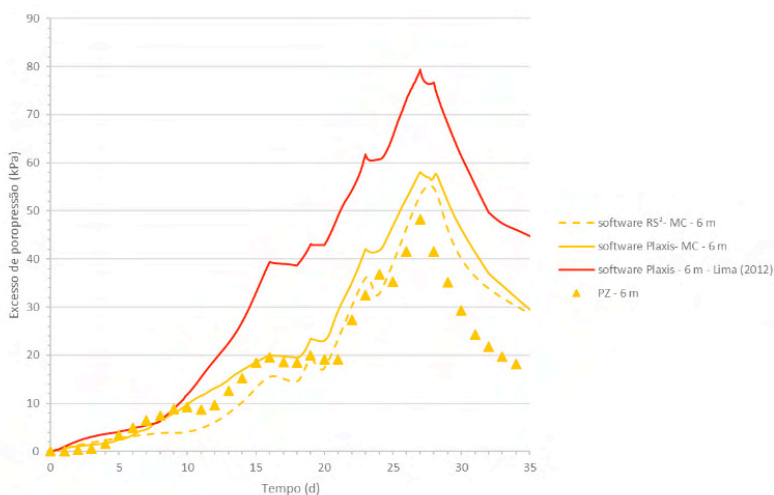


Figura 6. Excesso de poropressão para a profundidade de 6 metros para diferentes modelos (Pereira, 2018).

4.3 Plastificação das colunas

Na Figura 7 observa-se que houve a quase completa plastificação das colunas de brita abaixo da placa de concreto. Isso se dá devido ao efeito de arqueamento de tensões, que ocorre não somente no topo das colunas mas bem como ao longo de sua profundidade (Lima, 2012). A maior absorção de carga das colunas em relação ao solo impediu a plastificação da camada de argila.

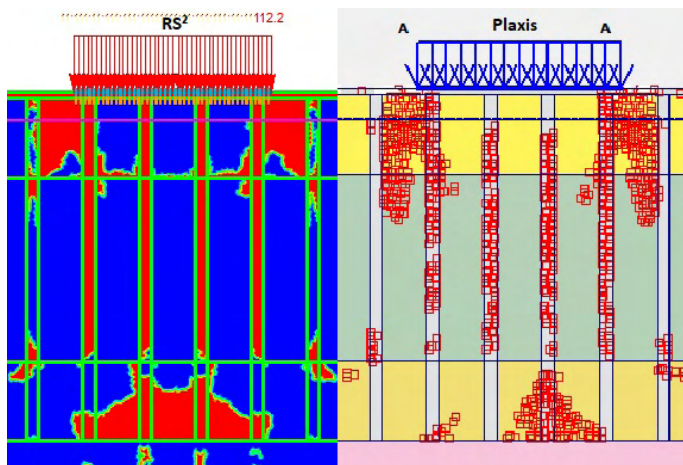


Figura 7. Plastificação das colunas de brita e no solo pelos *softwares* Plaxis e RS² (adaptado, Pereira, 2018).

Pode se atentar também ao formato perfeito da cunha de ruptura marcando a movimentação da massa de ruptura durante o processo de carregamento, assim como perceber que os dois resultados apresentam plastificação nos mesmos pontos, assegurando a compatibilidade de funcionamento dos dois modelos criados. As colunas plastificadas são representadas no 20º dia, data mais próxima da suposta ruptura na sequência evolutiva apresentada na Quadro 1.

5 | CONCLUSÃO

O objetivo deste artigo foi reproduzir os resultados de uma análise numérica de um aterro teste sobre coluna de britas localizado em área de argila muito compressível. O perfil foi modelado em dois *softwares* de elementos finitos (Plaxis e RS²) no modelo constitutivo Mohr-Coulomb, com o objetivo de comparar os resultados entre si e com os dados da instrumentação do aterro. Ademais, a partir da análise em *soft soil creep Cam-Clay* de Lima (2012) foi possível contrapor os valores estimados com as análises numéricas anteriormente citadas.

Os deslocamentos verticais apresentaram boa compatibilidade entre os *softwares* e

proximidade com as leituras das placas de recalque, indicando razoabilidade na magnitude dos valores estimados para módulo de elasticidade máximo. É importante frisar que o uso do módulo de elasticidade inicial (E) gera resultados de recalques muito superiores aos observados. Portanto, valores maiores de E baseados no acréscimo de carregamento e no fator de concentração de tensões devem ser levados em conta. Os resultados derivados do modelo Cam-Clay em Lima (2012) também apresentaram proximidade satisfatória com as análises supracitadas.

O comportamento das poropressões da instrumentação conseguiu ser bem reproduzido nas análises numéricas com ambos modelos, com a magnitude da poropressão no modelo Mohr-Coulomb sendo inferior, conforme esperado.

A plastificação das colunas foi praticamente a mesma no RS² e no Plaxis. A absorção de maior parte da carga pelas colunas de brita representam um alívio nas camadas de solo e, conseqüentemente, uma menor plastificação das argilas. Por esta razão, o modelo Mohr-Coulomb, que tem dificuldades em reproduzir o comportamento de argilas muito compressíveis, representou satisfatoriamente o caso estudado.

REFERÊNCIAS

Lambe, T.W. e Whitman, R.V. (1979) "Soil Mechanics" 2nd Edition, Wiley, New York, 553 p.

Leroueil, S. (2001). "Natural slopes and cuts (39th Rankine Lecture)". *Géotechnique*, 51(3), p. 197-243.

Lima, B. T. (2012). "Estudo do uso de colunas de brita em solos argilosos muito moles." Tese de Doutorado – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

Pereira, P. G. S. (2018) "Análise numérica de coluna de brita em aterro teste.", Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Roza, F.C. (2012) "Comportamento de Obras sobre Solos Moles com Colunas de Brita para Armazenamento de Minério de Ferro.", Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Terzaghi, K. e Peck, R. (1967). "Soil Mechanics in Engineering Practice." John Wiley & Sons, New York.

Wong, K. S. (2009) A NZGS 1-day "Short Course on Design and Analysis of Deep Excavation." Auckland.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acidez 1, 2, 5, 6, 7, 8, 33

Agregado miúdo 36, 45, 46, 47, 97, 105, 107, 112

Álcali-ativado 103, 109, 110, 111

Análise por elementos finitos 165, 186

ANSYS 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 177, 178, 180, 184, 185, 186

Argamassa 65, 88, 94, 97, 102, 103, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112

Asphalt mastic 49, 50, 51, 55, 61, 62

Asphalt mixture 49, 50, 51, 52, 53, 60

B

Benefícios 10, 11, 37, 93, 94, 163, 248

Binder 49, 50, 51, 52, 53, 55, 57, 58, 59, 60, 76, 103, 104, 112

C

Cerâmica vermelha 65, 75, 103, 104, 105, 111, 112

Characterization 53, 54, 76, 77, 79, 81, 83, 85, 89

Civil construction 2, 77, 79, 80, 86, 87, 103, 104, 155, 156, 241

Coco 36, 37, 38, 39, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 48

Concreto 28, 36, 38, 39, 45, 46, 47, 65, 76, 88, 89, 90, 91, 92, 96, 97, 98, 101, 102, 104, 113, 121, 126, 131, 137, 159, 162, 163, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 190, 195, 207, 208, 210, 211, 213, 216, 218, 220, 221, 223, 225, 232, 233, 234, 239, 240

Construção civil 1, 7, 8, 37, 47, 63, 65, 75, 89, 103, 104, 105, 111, 137, 155, 163, 165, 241, 242, 243, 245, 249, 251, 252, 253, 254

Contaminação 2, 6, 10, 24, 25, 26, 32, 34, 152

D

Danos 10, 13, 15, 18, 24, 125, 130, 134, 136, 137

Densidade 17, 115, 117, 121, 128, 138, 139, 140, 152

E

Enchente 125, 127, 128, 129, 131, 133, 134, 135

Estrada 10, 21, 135

F

Filler 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 62, 84, 93, 95

G

Gerenciamento de riscos 125

H

Hidráulica 113, 124

Hidrologia 23, 113

I

Impactos 1, 3, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 31, 32, 33, 34, 37, 104, 125, 127, 130, 135, 138, 140

Impressão 3D 63, 65, 66, 68, 74

Inundação 113, 130, 135

J

Jazigos 25, 27, 28, 29

L

Litoral 6, 138, 153

M

Manufatura aditiva 63

Massa cerâmica 63, 73

Matriz 10, 11, 12, 13, 22, 24, 26, 27, 31, 32, 33, 34, 65, 97, 159

Meio ambiente 2, 11, 14, 19, 21, 22, 23, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 103, 137, 139, 152, 153, 163

N

New materials 77

P

Patologia da construção 125

Pavimento intertravado 90, 91, 92, 96, 102

Piscinão 113

Poluição 2, 6, 14, 22, 24, 25, 26, 28, 32, 34, 37, 145

População 10, 13, 14, 15, 17, 21, 25, 26, 33, 35, 118, 125, 127, 128, 129, 130, 131, 134, 135, 136, 138, 139, 140, 141, 143, 144, 145, 146, 147, 150, 152, 153

Precipitação 1, 2, 3, 4, 116, 129

Pressão 24, 27, 32, 68, 138, 152, 234

Processing 77, 78, 79, 80, 88, 89

R

RCC 63, 65

Resíduo de construção civil 63

Resistência à compressão 36, 39, 46, 47, 63, 65, 69, 70, 71, 90, 92, 95, 96, 98, 99, 100, 101, 161

Riscos 15, 17, 24, 25, 30, 32, 33, 125, 127, 128, 136

S

Saúde 5, 8, 17, 24, 25, 26, 29, 30, 34

Sílica ativa 90, 93, 95, 96, 97, 99, 101

Slate waste 77, 80, 82, 83, 84, 87, 89

Soluções construtivas 63, 155

Sustentabilidade 102, 103, 137, 152, 163, 255

T

Taipa de pilão 155, 156, 157, 158, 159, 161, 162, 163, 164

V

Variáveis 10, 12, 48, 165, 166, 169, 172, 174

Vigas em concreto armado 165, 168, 174


ENGENHARIA CIVIL:

Demandas sustentáveis e
tecnológicas e aspectos ambientais 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 




Atena
Editora


Ano 2022


ENGENHARIA CIVIL:

Demandas sustentáveis e
tecnológicas e aspectos ambientais 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 




Atena
Editora

Ano 2022