



# As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente 2

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

Atena  
Editora  
Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

As Engenharias frente a Sociedade, a  
Economia e o Meio Ambiente 2

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Natália Sandrini  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

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**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

#### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
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. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E57	<p>As engenharias frente a sociedade, a economia e o meio ambiente 2 [recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (As Engenharias Frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente; v. 2)</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-430-6 DOI 10.22533/at.ed.306192506</p> <p>1. Engenharia – Aspectos sociais. 2. Engenharia – Aspectos econômicos. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Série.</p> <p style="text-align: right;">CDD 658.5</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

As obras As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente Volume 1, 2, 3 e 4 abordam os mais diversos assuntos sobre métodos e ferramentas nas diversas áreas das engenharias a fim de melhorar a relação do homem com o meio ambiente e seus recursos.

O Volume 1 está disposto em 31 capítulos, com assuntos voltados a engenharia do meio ambiente, apresentando processos de recuperação e reaproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do panorama sobre novos métodos de obtenção limpa da energia.

Já o Volume 2, está organizado em 32 capítulos e apresenta uma vertente ligada ao estudo dos solos e águas, com estudos de sua melhor utilização, visando uma menor degradação do ambiente; com aplicações voltadas a construção civil de baixo impacto.

O Volume 3 apresenta estudos de materiais para aplicação eficiente e econômica em projetos, bem como o desenvolvimento de projetos mecânico e eletroeletrônicos voltados a otimização industrial e a redução de impacto ambiental, sendo organizados na forma de 28 capítulos.

No último Volume, são apresentados capítulos com temas referentes a engenharia de alimentos, e a melhoria em processos e produtos.

Desta forma um compendio de temas e abordagens que facilitam as relações entre ensino-aprendizado são apresentados, a fim de se levantar dados e propostas para novas discussões em relação ao ensino nas engenharias, de maneira atual e com a aplicação das tecnologias hoje disponíveis.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ESTUDOS DA ÁGUA E SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO UBERABINHA EM UBERLÂNDIA - MG	
Maria da Graça Vasconcelos	
Luiz Alfredo Pavanin	
Erich Vectore Pavanin	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925061</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
BATIMETRIA E MEDIÇÃO DE VAZÃO NA BACIA DO RIO JI-PARANÁ - RO	
Renato Billia de Miranda	
Camila Bermond Ruezzeno	
Bruno Bernardo dos Santos	
Frederico Fabio Mauad	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925062</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>26</b>
MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA ENSAIO DE PROVA DE CARGA EM SOLO BASÁLTICO	
Daniel Russi	
Sandra Garcia Gabas	
Giancarlo Lastoria	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925063</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>37</b>
UTILIZAÇÃO DO MÉTODO PAPEL FILTRO E CENTRÍFUGA PARA DETERMINAÇÃO DE CURVAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO E CORRELAÇÕES COM PARÂMETROS GEOTÉCNICOS	
Ana Carolina Dias Baêso	
Eduardo Souza Cândido	
Roberto Francisco de Azevedo	
Gustavo Armando dos Santos	
Tulyo Diniz Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925064</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>51</b>
DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DE UM SOLO TROPICAL DA BAIXADA FLUMINENSE NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	
Fernando Benedicto Mainier	
Claudio Fernando Mahler	
Viktor Labuto Ramos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925065</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>61</b>
ELABORAÇÃO DE UMA CARTA DE UNIDADES DE TERRENO DO MUNICÍPIO DE CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM – ES	
Bruna Xavier Faitanin	
Éder Carlos Moreira	
Altair Carrasco de Souza	
Vitor Roberto Schettino	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925066</b>	

<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>69</b>
ESTABILIZAÇÃO DE UM SOLO SILTE ARENOSO DA FORMAÇÃO GUABIROTUBA COM CAL PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO	
Wagner Teixeira Eclesielter Batista Moreira João Luiz Rissardi Vanessa Corrêa de Andrade Ronaldo Luis dos Santos Izzo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925067</b>	
<b>CAPÍTULO 8 .....</b>	<b>80</b>
INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE CAL HIDRATADA NA RESISTÊNCIA DE SOLOS SEDIMENTARES	
Jair de Jesús Arrieta Baldovino Eclesielter Batista Moreira Ronaldo Luis Dos Santos Izzo Juliana Lundgren Rose Erico Rafael Da Silva Wagner Teixeira Felipe Perretto Roberto Pan	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925068</b>	
<b>CAPÍTULO 9 .....</b>	<b>95</b>
PERFILAGEM DO SUBSOLO NO MUNICÍPIO DE APUCARANA-PR COM BASE EM DADOS DE SONDAGENS DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT	
Mariana Alher Fernandes Augusto Montor de Freitas Luiz	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925069</b>	
<b>CAPÍTULO 10 .....</b>	<b>104</b>
UTILIZAÇÃO DO PERMEÂMETRO DE TUBO NA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DE CAMADAS SUPERFICIAIS DE SOLOS	
Marcos Túlio Fernandes Glaucimar Lima Dutra	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250610</b>	
<b>CAPÍTULO 11 .....</b>	<b>116</b>
DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO EM SOLO REFORÇADO COM GEOSSINTÉTICOS	
Alessandra Lidia Mazon Maytê Pietrobelli de Souza Bianca Penteado de Almeida Tonus André Fanaya	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250611</b>	

**CAPÍTULO 12 ..... 133**

AVALIAÇÃO DA ERODIBILIDADE DO SOLO DE CARACTERÍSTICA NÃO LATERÍTICA SOB O ENFOQUE GEOTÉCNICO NAS MARGENS DA TO-222 NO MUNICÍPIO DE ARAGUAÍNA - TO

Glacielle Fernandes Medeiros  
Renata de Moraes Farias  
Palloma Borges Soares  
Ana Sofia Oliveira Japiassu  
Andressa Fiuza de Souza  
Igor Guimarães Matias

**DOI 10.22533/at.ed.30619250612**

**CAPÍTULO 13 ..... 144**

ADAPTAÇÃO DE METODOLOGIA DE HIERARQUIZAÇÃO DE NÍVEIS DE ATENÇÃO UTILIZADA EM MINERAÇÃO PARA TRABALHOS DE MAPEAMENTO DE RISCOS GEOTÉCNICOS EM ÁREA URBANA

Marcelo Corrêa da Silva  
Daiara Luiza Guimarães

**DOI 10.22533/at.ed.30619250613**

**CAPÍTULO 14 ..... 157**

PRODUÇÃO DE CONCENTRADO ÚMIDO FOSFATADO: UMA EXPERIÊNCIA DE ESTÁGIO NA MINERAÇÃO

Matheus Henrique Borges Coutinho  
Ricardo Antonio de Rezende  
Cibele Tunussi  
Marcos Vinicius Agapito Mendes

**DOI 10.22533/at.ed.30619250614**

**CAPÍTULO 15 ..... 163**

ESTUDO DOS DESPERDÍCIOS DE MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL E SUGESTÕES PARA A MINIMIZAÇÃO E REUTILIZAÇÃO DOS MESMOS, VISANDO A OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DAS OBRAS E MENORES IMPACTOS AMBIENTAIS

Beatriz Zeurgo Fernandes  
Rafael Bergjohann  
Luiz Carlos de Campos

**DOI 10.22533/at.ed.30619250615**

**CAPÍTULO 16 ..... 176**

USO DA CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO SUBSTITUTO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND

Kenyson Diony Souza Silva  
Raduan Krause Lopes  
Fabiano Medeiros Da Costa

**DOI 10.22533/at.ed.30619250616**

**CAPÍTULO 17 ..... 192**

ESTUDOS PRELIMINARES DA APLICAÇÃO DE RESÍDUO DE MINÉRIO DE COBRE SULFETADO NA ELABORAÇÃO DE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO

Julia Alves Rodrigues  
Dilson Nazareno Pereira Cardoso  
Abel Jorge Rodrigues Ferreira  
Edinaldo José de Sousa Cunha  
Bruno Marques Viegas  
Edilson Marques Magalhães  
José Antônio da Silva Souza

**DOI 10.22533/at.ed.30619250617**

**CAPÍTULO 18 ..... 200**

AValiação DO COMPORTAMENTO DE COMPOSIÇÕES A BASE DE CIMENTO DE ALUMINATO DE CÁLCIO FRENTE AOS MICRORGANISMOS STAPHYLOCOCCUS AUREUS E ESCHERICHIA COLI

Renata Martins Parrreira  
Talita Luana de Andrade  
Newton Soares da Silva  
Cristina Pacheco Soares  
Victor Carlos Pandolfelli  
Ivone Regina de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.30619250618**

**CAPÍTULO 19 ..... 209**

UMA TÉCNICA, BASEADA EM PROJETO DE EXPERIMENTOS, PARA OTIMIZAÇÃO DA DOSAGEM DE ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA

André Rodrigues Monticeli  
Paulo César Mappa  
Aellington Freire de Araújo  
Emerson Ricky Pinheiro  
Karoline Santos da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.30619250619**

**CAPÍTULO 20 ..... 221**

REDUÇÃO DO CONSUMO DE AÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS AO ESFORÇO CORTANTE ATRAVÉS DA ESCOLHA DO ÂNGULO DAS BIELAS

Lucas Teotônio de Souza  
Paula de Oliveira Ribeiro

**DOI 10.22533/at.ed.30619250620**

**CAPÍTULO 21 ..... 232**

ANÁLISE DE CRONOGRAMA FÍSICO x CRONOGRAMA REALIZADO NA OBRA DO FÓRUM DE RIO NEGRO/PR PARA FINS DE DIMINUIÇÃO DOS ATRASOS

Nathalia Loureiro de Almeida Correa

**DOI 10.22533/at.ed.30619250621**

**CAPÍTULO 22 ..... 250**

ANÁLISE DA IMPORTÂNCIA DO CORRETO DIMENSIONAMENTO DOS VERTEDORES EM BARRAGENS E SUAS INFLUÊNCIAS ECOLÓGICAS E SOCIOECONÔMICAS. ESTUDO DE CASO: USINA HIDRELÉTRICA DE XINGÓ

Jéssica Beatriz Dantas  
Djair Félix da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.30619250622**

<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>262</b>
ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTO PERMEÁVEL EM UMA ÁREA DA CIDADE DE JOINVILLE/SC	
Adilon Marques dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250623</b>	
<b>CAPÍTULO 24</b> .....	<b>281</b>
ANÁLISE NUMÉRICA DA SENSIBILIDADE DO ALGORITMO IMPLEX APLICADO EM UM CENÁRIO HIPOTÉTICO DE ESTABILIDADE DE TALUDE VIA TÉCNICA DE DESCONTINUIDADES FORTES	
Nayara Torres Belfort	
Ana Itamara Paz de Araujo	
Kátia Torres Botelho Galindo	
Igor Fernandes Gomes	
Leonardo José do Nascimento Guimarães	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250624</b>	
<b>CAPÍTULO 25</b> .....	<b>294</b>
DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS POR MEIO DE CÁLCULO MANUAL E COM O AUXÍLIO DE UM SOFTWARE COMPUTACIONAL	
Iva Emanuely Pereira Lima	
Vitor Bruno Santos Pereira	
Vinicius Costa Correia	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250625</b>	
<b>CAPÍTULO 26</b> .....	<b>306</b>
DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DE PILARES MISTOS PREENCHIDOS DE AÇO E CONCRETO	
Jéssica Salomão Lourenção	
Élcio Cassimiro Alves	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250626</b>	
<b>CAPÍTULO 27</b> .....	<b>325</b>
ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS: MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	
João Augusto Dunck Dalosto	
Luiz Fernando Hencke	
Jhonatan Conceição dos Santos	
Hevrlí da Silva Carneiro Pilatti	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250627</b>	
<b>CAPÍTULO 28</b> .....	<b>336</b>
APLICAÇÃO DO CPR EM SOLOS MOLES NA REGIÃO DO CAMPO DOS PERDIZES: DUPLICAÇÃO DA BR 135, ENTRE O KM 39,36 E O KM 39,90	
Rodrigo Nascimento Barros	
Larysse Lohana Leal Nunes	
Saymo Wendel de Jesus Peixoto Viana	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250628</b>	
<b>CAPÍTULO 29</b> .....	<b>348</b>
ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR INTERNO DE UMA TERAPIA INTENSIVA	
Sylvia Katherine de Medeiros Moura	
Antonio Calmon de Araújo Marinho	
Wagner Amadeus Galvão de Souza	
Angelo Roncalli Oliveira Guerra	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250629</b>	

<b>CAPÍTULO 30</b> .....	<b>357</b>
'ARTENGENHARIA': UMA PONTE TRANSDISCIPLINAR PARA O DESENVOLVIMENTO DO POTENCIAL HUMANO E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA A GESTÃO DO CONHECIMENTO	
Ana Alice Trubbianelli	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250630</b>	
<b>CAPÍTULO 31</b> .....	<b>371</b>
PROCEDIMENTO DE ANÁLISE EXPERIMENTAL E NÚMÉRICO DE UMA PONTE EXECUTADA COM PALITOS DE PICOLÉ	
Matheus Henrique Morato de Moraes	
João Eduardo Sousa de Freitas	
Diogo Henrique Morato de Moraes	
Juarez Francisco Freire Junior	
Wellington Andrade da Silva	
Geraldo Magela Gonçalves Filho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250631</b>	
<b>CAPÍTULO 32</b> .....	<b>383</b>
EXERGIA HÍDRICA EM SISTEMAS REDUTORES DE PRESSÃO	
Conrado Mendes Moraes	
Ângela B. D. Moura	
Eduardo D. P. Schuch	
Eduardo de M. Martins	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250632</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>393</b>

## APLICAÇÃO DO CPR EM SOLOS MOLES NA REGIÃO DO CAMPO DOS PERDIZES: DUPLICAÇÃO DA BR 135, ENTRE O KM 39,36 E O KM 39,90

### Rodrigo Nascimento Barros

Universidade Ceuma, Faculdade de Engenharia  
Civil  
São Luís-Maranhão

### Larysse Lohana Leal Nunes

Universidade Ceuma, Faculdade de Engenharia  
Civil  
São Luís-Maranhão

### Saymo Wendel de Jesus Peixoto Viana

Universidade Ceuma, Faculdade de Engenharia  
Civil  
São Luís-Maranhão

**RESUMO:** As propriedades físicas do solo presente na região de duplicação da BR 135 foram analisadas para proporcionar soluções tecnológicas de construção já aplicadas em outras localidades, porém pouco empregadas no Brasil. O CRP Grouting visa sanar problemas, como rigidez e deformação do solo, de forma acelerada, sustentável e eficiente, através da instalação de drenos verticais na parte interna de solo mole com objetivo de acelerar o adensamento. As propriedades do solo foram obtidas e analisadas por meio de ensaios geotécnicos e instrumentação inserida na obra. Após a execução de CPR Grouting, observou-se a eficiente redução da poropressão existente no solo, eliminação de recalques em tempo curto e aumento da resistência nas camadas de

solo geoenrijecido.

**PALAVRAS-CHAVE:** Poropressão, Tempo-recalque, Tratamento, Consolidação Profunda Radial.

**ABSTRACT:** The physical properties of the soil present in the duplication region of BR 135 were analyzed to provide technological construction solutions already applied in other localities, but little used in Brazil. CRP Grouting aims to remedy problems, such as stiffness and deformation of the soil, in an accelerated, sustainable and efficient way, through the installation of vertical drains in the inner part of soft soil with the purpose of accelerating the densification. The soil properties were obtained and analyzed by means of geotechnical tests and instrumentation inserted in the work. After the execution of CPR Grouting, it was observed the efficient reduction of soil poropression, elimination of short-time re-settlements and increase of resistance in the layers of geoenjected soil.

**KEYWORDS:** Porepressure, Time-Settlement, Treatment, Radial Deep Consolidation

### 1 | INTRODUÇÃO

A obra de duplicação do Lote 01 da BR-135, que representa o segmento entre a ponte do Estreito dos Mosquitos na saída da cidade de São Luís-MA e o município de Bacabeira-

MA, a qual equivale a uma extensão de 25 km, sendo que 18 km desta extensão se desenvolveram sobre uma região de solo com uma elevada compressibilidade e baixa resistência do solo. (ENGEGRAUT, 2013). De acordo com a NBR 6484 (ABNT, 2001) as configurações geotécnicas de resultados baseados em ensaios de investigações do solo local, constatou-se SPT menor que dois e a resistência não drenada do solo igual a 25 kPa. Estes resultados indicam que o solo é de baixa resistência, sendo classificado como argila muito mole de cor escura e saturada, com espessuras que entre oito a 25 m.

A solução adotada pelo DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) foi a técnica CPR, entre as estacas 1968 + 0,00 e 1995 + 10,0 que representam uma área de 17.600 m<sup>2</sup>, adjacente a ferrovia existente de uma mineradora.

O trabalho aborda a importância da aplicação de CPR grouting em solos moles na região do Campo de Perizes, na duplicação da BR-135, entre o km 39,36 e 39,90 com objetivo de analisar o melhoramento geotécnico do solo, tempo de estabilização dos recalques e rigidez do solo por meio da ponderação dos resultados obtidos em experimentos realizados no local e em laboratório, ao longo de toda a execução do método.

## 2 | TRATAMENTO DE SOLOS MOLES

A técnica empregada para o melhoramento do solo é obtida porque as particularidades geomecânicas do material da base são inadequados para o desempenho de esqueletos que requererão o solo, além da sua aptidão de apoio. As dificuldades que podem ocorrer pela ausência de técnicas para o tratamento de solos moles são recalques mais elevados do que os pós-construtivos aceitáveis (condição máxima a ser empregado) ou, em ocorrência extremada, extrusões (estado limite último).

Segundo (Schaefer et al, 2012) os métodos utilizados no melhoramento de solos têm na maioria das vezes, mais de um dos objetivos principais a seguir: acrescentar a resistência ao cisalhamento, acrescentar a aptidão do carregamento, acrescentar a massa volumar, elevar os carregamentos do aterro para conjuntos mais competentes, dominar as alterações, apressar o adensamento, diminuir os carregamentos atribuídos à base, garantir a estabilidade, proibir as penetrações ou recheiar vazios e somar a resistência à liquefação

### 2.1 Solo Mole

Trata-se de solo sedimentar do tipo aluviais, com resistência baixa ao cisalhamento, saturado (N.A. elevado), parcialmente homogênea em toda a espessura do depósito. São solos muito compressíveis (alta deformabilidade).

A NBR 7250 (ABNT, 1982) refere-se ao solo mole como à consistência de solo predominantemente argiloso-siltoso e com o valor do  $N_{SPT}$  variando de 3 a 5. Os

solos ditos “muito mole” ( $N_{SPT}$  entre 0 e 2) oferecem todos os atributos destacados anteriormente, porém em condições de desempenho inadequado. Também a estes solos é comum referir-se de uma forma generalizada como “solo mole”.

A Figura 1 mostra o perfil geológico/geotécnico natural com características do subsolo de fundação composto por camadas de solo mole como argilas moles intercaladas de areia.

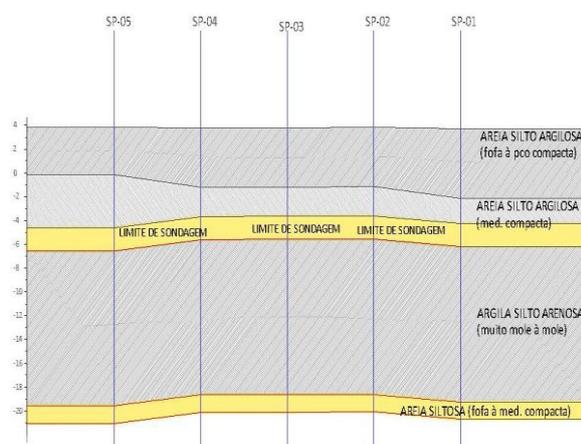


Figura 1 - Perfil do subsolo do local

## 2.2 Consolidação Profunda Radial (CPR)

O enrijecimento do solo mole, essencialmente, inicia a partir da diminuição do excesso de poropressão engajado pela introdução da argamassa *grouting* no solo compressível. A dissipação é acelerada por meio da cravação de drenos verticais com alma de PVC com ranhuras e geotêxtis em volta. Em seguida, é introduzido um geograut composto por areia, silte, cimento e alguns aditivos não ultrapassando *slump* de 5 cm. Com auxílio, de um caminhão betoneira e bomba de concreto modificada são formados os bulbos de compressão, de baixo para cima, na qual são liberados 50 litros de argamassa no solo por vez, com volume e pressão controlados. Invés de fraturar o solo, o *grouting* forma bulbos por abertura de cavidades, produzindo ondas de compressão e fazendo com que o solo seja comprimido com a própria carga do solo.

A Figura 2 apresenta o projeto de CPR *grouting* utilizada na obra da duplicação da BR- 135 no Campo de Perizes para o tratamento da argila extremamente mole. Nesta área as camadas de argilas têm aproximadamente 10,0 m de espessura, que é parte integrante da rodovia BR-135. A malha de CPR *grouting* aplicada foi a de verticais de adensamento e enrijecimento do solo em uma malha quadrangular, executadas a cada 3,0 m e uma de geodrenos quadrada, com 1,5 m de espaçamento.

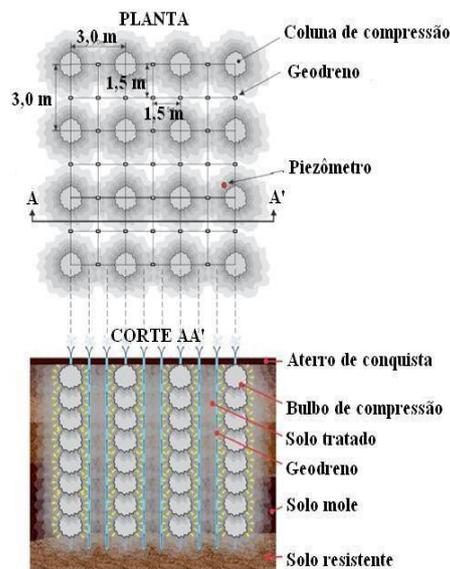


Figura 2 - Configuração de CPR em malha triangular

Após execução dos bulbos de compressão ocorre confinamento do solo presente entre as verticais de compressão, devidos às tensões impostas, ou seja, o solo estará comprimido, adensado e confinado mostrado da Figura 3. O conceito de célula unitária usual em projetos de solos moles (Almeida e Marques, 2010), onde a rigidez é evidenciada pelo módulo de elasticidade do meio compósito semi-rígido.

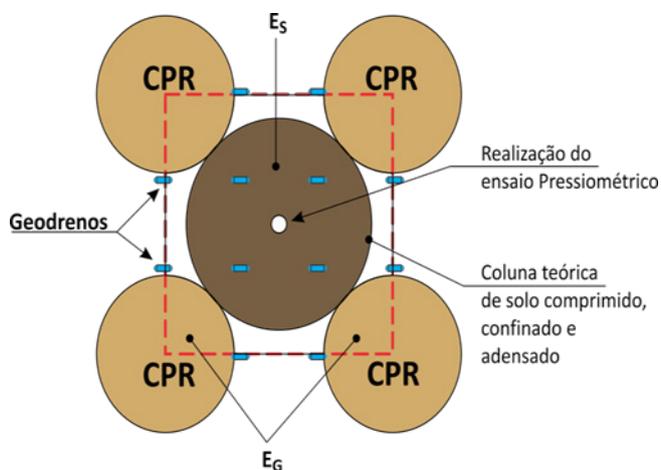


Figura 3 - Célula unitária CPR

As Figuras 4 a 6 apresentam o prosseguimento da execução do CPR e os bulbos de compressão de forma detalhada.



Figura 4 - Cravação dos geodrenos

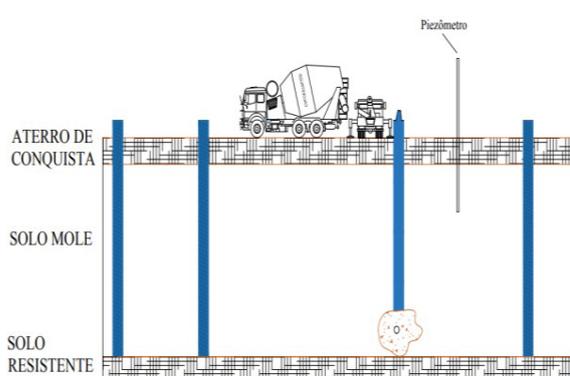


Figura 5 - Inserção da argamassa grouting no interior do solo.

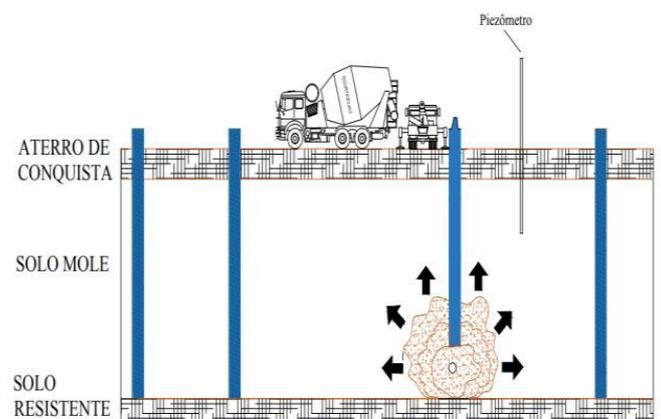


Figura 6 - Formação dos bulbos de compressão

### 3 | ESTUDO DE CASO

O estudo de caso está localizado no município de Bacabeira, no Estado do Maranhão, na margem esquerda da BR-135, sentido ao município de São Luís, capital do estado. A formação do solo nesta área é de origem fluvial, predomina nas margens sedimentos de meandros influenciados pela dinâmica de um braço do mar que faz a ligação da Bahia de São José de Ribamar com a Bahia de São Luís, dos rios Mearim e Estreito dos Mosquitos.

Antes da metodologia de CPR, o terreno apresentava as seguintes configurações de acordo com (MACEDO E RODRIGUES, 2014):

- Profundidade de 4 a 0 m: de solo muito mole;
- Profundidade de 0 a -11 m: argila mole;
- Profundidade maior que -11m: solo resistente.

Estudos realizados por equipe da construtora em maio/2013, fundamentados em resultados CPT-U, descrevem que o recalque médio considerado, sem tratamento, encontra-se a 1,16m. A Figura 7 apresentam os resultados dos ensaios de campo

realizados.

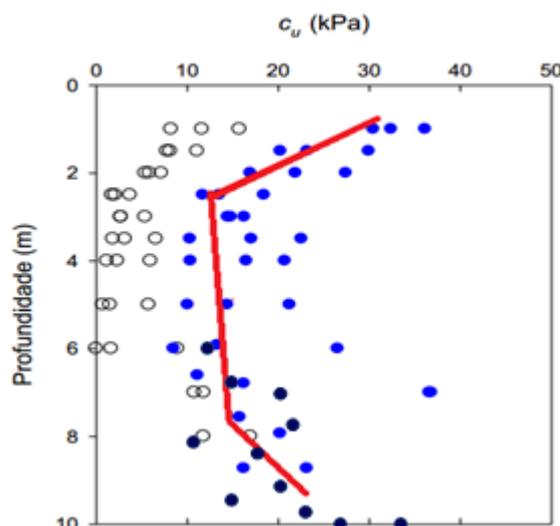


Figura 7 - Resultados de ensaios Vane Test:  $S_u$  e  $S_{ur}$ , pré- tratamento.  $S_u$ =resistência não drenada.

O procedimento metodológico de melhoria de solos com baixa resistência com utilização da técnica CPR Grouting foi realizado em meio drenante previamente colocado com uma malha quadrada com espaçamento de 1,5x1,5 m, acompanhado de bulbos de massa geogROUT subdividido a um intervalo de 3x3 m, até quer completem profundidade em torno de 10 m, enrijecendo todo o solo mole presente. Após o tratamento com CPR Grouting foi lançado 1,95 m de aterro, que foi verificado por placas de recalque (PR), piezômetro (PZ), aranha magnética (AM) e pressiômetro (PMT). A parte monitorada foi a do aterro de teste 1994+0,00, onde foram situados cinco PRs, um PZ, sete AMs e dois ensaios PMT, onde foi analisando o solo antes e depois da técnica de tratamento do solo.

## 4 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Placas de recalque (PR)

São sistema simples cujo o objetivo é medir deslocamentos em solos. O aterro introduzido após o método obteve uma altura de aproximadamente 1,95m.

### 4.2 Piezômetro (PZ)

São dispositivos destinado a medir a pressão de fluidos e fornecer a carga de pressão no local da instalação.

### 4.3 Aranha magnética (AM)

A aranha magnética é um dispositivo eletromagnético, com o objetivo de predizer os recalques em um período de tempo, além de determinar coeficiente de adensamento. Esse aparelho, apresenta garras parecidas com uma aranha, é introduzida no meio

de um tubo.

#### 4.4 Pressiômetro

O objetivo do equipamento denominado pressiômetro, é determinar deformações no solo quando aplicado uma determinada pressão, podendo medir pressões e volumes. Com os dados obtidos do ensaio, constatou a pressão limite e o módulo pressiômetro.

Baseado em (Macedo e Rodrigues, 2014) a pressão limite pode ser representada pela equação 1:

$$P_L = P_L^* + \sigma_{OH}$$

onde

$P_L$  → Pressão limite

$P_L^*$  → Diferença entre a pressão limite e a tensão em repouso

$\sigma_{OH}$  → Tensão horizontal do solo em repouso

O módulo cisalhante é obtido na etapa de recarga, a partir do gráfico de pressão vs volume, de acordo com a equação 2:

$$G = V_0 \left( \frac{\Delta p}{\Delta v} \right)$$

onde

$V_0$  → Volume inicial

$\Delta p$  → Variação de pressão

$\Delta v$  → Variação de volume

## 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Interpretação dos resultados de recalque

As placas de recalque e as aranhas magnéticas foram instaladas na fase inicial da construção dos aterros testes.

Na Figura 8, pode-se observar as conclusões das placas de recalques em forma de gráfico ao longo do tempo.

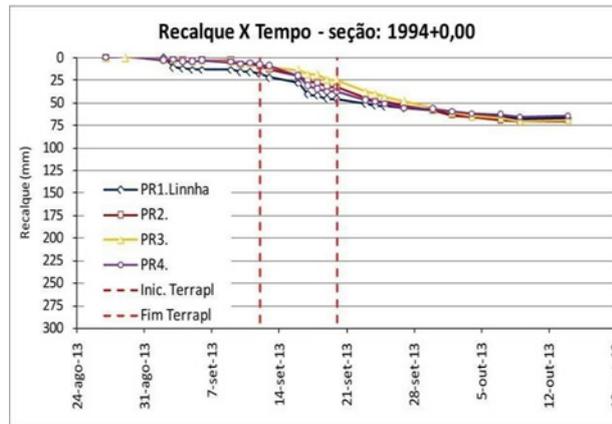


Figura 8 - Monitoramento dos recalques através das placas de recalques.

A Tabela 1 apresenta um resumo do monitoramento, ficando evidente que os recalques no aterro da Est. 1994, com instalação de geogrelha, foram mais uniformes.

Resultados de recalques					
E1994			E1987		
(COM geogrelha)			(SEM geogrelha)		
AM	PR	Tempo para estabilizar recalque	AM	PR	Tempo para estabilizar recalque
38 mm	79 mm	Aprox. 30 dias	33 mm	75 a 85 mm	Aprox. 45 dias

Tabela 1 - Resultados de recalques.

Os dados obtidos com piezômetros exibidos na Figura 9, mostram que os excessos de poropressões gerado no decorrer do desenvolvimento dos bulbos de compressão do solo foram inteiramente dissipados pelos geodrenos.

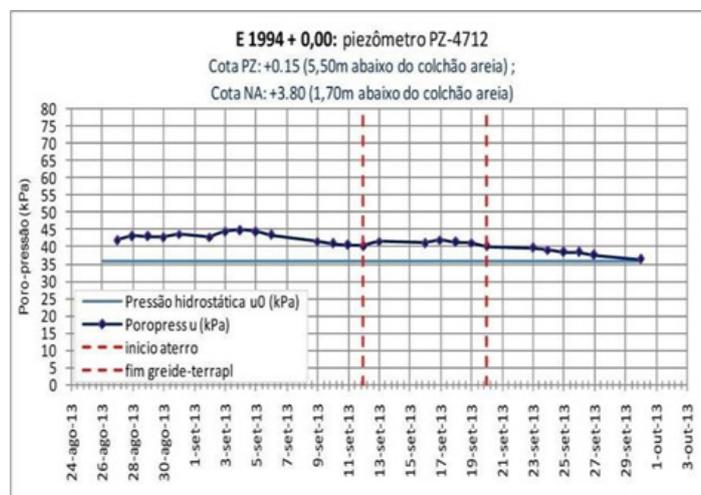


Figura 9 - Resultado do piezômetro PZ 4712.

Os resultados de AMs (Figura 10) foram feitos em profundidades distintas como

mostram que a maior magnitude de recalque, após o tratamento ocorreu nas superfícies superiores, aproximadamente 2,5m sob o campo de interação do solo-tratado. Nesta profundidade, o deslocamento observado foi 35mm.

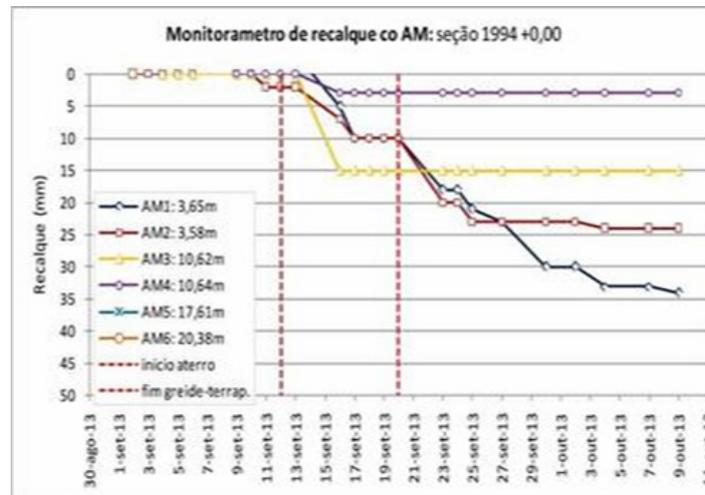


Figura 10 - Velocidade do recalque (mm/dia) ao longo do tratamento.

## 5.2 Interpretação dos resultados relativos ao ganho de rigidez

O valor absoluto do módulo equivalente ( $E_{eq}$ ), estabelece uma relação entre os valores absoluto do solo geoenrijerido ( $E_s$ ), e das verticais de GeogROUT ( $E_g$ ). Esta afinidade é representada por uma média ponderada entre as áreas de solo tratado e de verticais de GeogROUT. Os ensaios pressiométricos indicaram que houve ganho de resistência (Tabela 2), onde antes do tratamento o Módulo de Elasticidade estava em 2.500 kPa sendo classificado como solo mole quanto a sua consistência.

Data	Ensaio	Profund. (m)	Condição	Classificação do solo (Briaud, 1992)	Ganho de rigidez (%)	Estaca
30/ago/13	PMT-01A	4,0	Pré-CPR	Argila mole	0%	1971 +0,00
		7,0		Argila mole	0%	
17/set/13	PMT-01B	4,0	Pós CPR	Argila média	374%	1994+0,00
		7,0		Argila rija	876%	
18/set/13	PMT-02B	4,0	Pós CPR	Argila média	426%	1997+0,00
		7,0		Argila rija	742%	
10/set/13	PMT-gr	1,0	Massa	Argila dura	23737%	***
		1,0	GeogROUT	Ensaio descartado: a sonda furou!		

Tabela 2 - Resultados dos ensaios obtidos na obra.

Como o módulo pressiométrico do solo tratado ou solo compósito aumentou para  $E_{eq}=26.572$  kPa, o solo adquiriu rigidez equivalente a uma argila rija. Conforme realização do tratamento do CPR, os dados apresentados mostram a eficiência no tratamento com um aumento significativo no módulo de elasticidade, proporcionado uma maior resistência para o solo e conseqüentemente a diminuição dos recalques. Este define a relação volume-pressão do solo com a profundidade. Determinados antes e após aplicação do método são apresentados por meio da Figura 11.

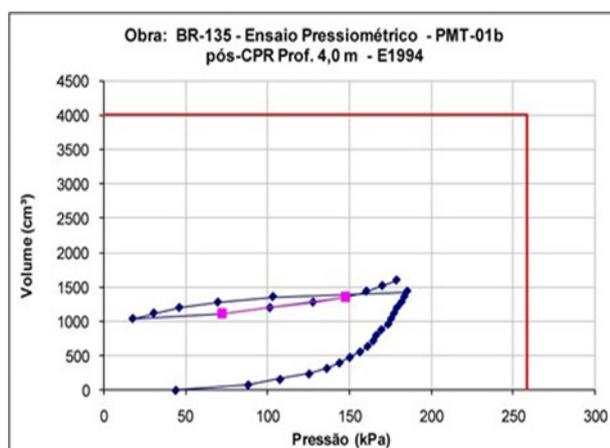


Figura 11 - Resultados de ensaio PMT.

### 5.3 Eficiência do tratamento

Levando em conta que na fase preliminar de projeto, ensaios CPT-U foi realizado e que não ocorresse nenhum tratamento na camada mole, o recalque ocorreria em aproximadamente 1100mm, e relacionando esse valor com o máximo de deformações verificado para o aterro tratado, considerando 85 mm, foi possível calcular a eficiência do tratamento conforme mostra equação 4:

$$ef = \frac{85mm}{1100mm} = 0,0772 = 7,7\%$$

$$\text{Eficiência: } 100\% - 7,7\% = 92,3\%$$

Imediatamente, conclui-se que a eficiência do tratamento foi maior que 90% em relação a previsão relação a previsão de ocorrência de recalques. A Figura 12 mostra que em tempos atuais não foram apresentados sinais de recalques com patologias após a aplicação do CPR *Grouting*.



Figura 12 - Área tratada: BR-135

## 6 | CONCLUSÃO

Este estudo realizou a análise em dois aterros de teste, sendo a estaca 1994 e 1998, nos quais foram utilizados alguns métodos geotécnicos com intuito de estimar os recalques teórico em um determinado período de tempo. Com base nos resultados obtidos, foi possível entender que o recalque estimado no solo sem tratamento seria 1,16 m baseado em ensaios CPT-U. Entretanto, para o solo com o tratamento, verificou-se que em um período de 30 dias, a diminuição de recalques atingiu cerca de 92,3%. Os recalques em subcamadas, observados com uma aranha magnética, mostraram que os maiores adensamentos ocorreram junto à interface aterro solo tratado. Para até 5 m de profundidade, os resultados foram de 3,5cm.

Averiguou-se que o aumento de poropressão atribuída durante a formação dos bulbos de compressão foram totalmente dissipados pelos geodrenos.

Observou-se também que o solo que apresentava consistência mole, atingiu consistência de um solo rígido, isso correlacionando os dados pressiométricos antes e depois da melhoria do terreno de solo mole.

Finalmente, foi prognosticado que com a aplicação do CPR na região houve a diminuição do recalque e um rápido adensamento.

## 7 | AUTORIZAÇÕES/RECONHECIMENTO

À empresa Engegrat Engenharia e aos Engenheiro Joaquim Rodrigues e Wallace Alan pela disponibilidades e informações fornecidas que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 6484: Solo – Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio**, Rio de Janeiro, 2001.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 7250: Identificação e**

**descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos,** Rio de Janeiro, 1982.

Almeida, M.S.S.; MARQUES, M.E.S., **Aterros Sobre Solos Moles: Projeto e Desempenho.** Ed. Oficina de Textos, 2014

Engelhardt, **Relatório Geotécnico de Monitoramento dos Serviços CPR na obra da duplicação da BR 135 em São Luís/MA,** 2013

Macedo, E.O.; Rodrigues, J., **Análise da eficiência do reforço de solo mole, com a técnica CPR, para duplicações da BR-135 e ferrovia transnordestina, em Campo de Perizes-MA.** In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Belo Horizonte, 2014. 7 f.

Schaefer, V.R.; Mitchell, J.K.; Ryan, P.E.; Berg, R; Filz, G.M.; Douglas, S.C., **Ground Improvement in the 21st century: a comprehensive webbased information system.** Gecongress, 2012.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-430-6

