

Eduardo de Lara Cardozo
(Organizador)

**GEOLOGIA AMBIENTAL: TECNOLOGIAS PARA O
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 2**

Atena Editora

2017

2017 by Eduardo de Lara Cardozo

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Edição de Arte e Capa: Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto (UFPEL)

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho (UnB)

Prof. Dr. Carlos Javier Mosquera Suárez (UDISTRITAL/Bogotá-Colombia)

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior (UEPG)

Prof. Dr. Gilmei Francisco Fleck (UNIOESTE)

Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza (UEPA)

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa (FACCAMP)

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior (UFAL)

Profª Drª Adriana Regina Redivo (UNEMAT)

Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall'Acqua (UNIR)

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson (UTFPR)

Profª Drª Ivone Goulart Lopes (Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatric)

Profª Drª Lina Maria Gonçalves (UFT)

Profª Drª Vanessa Bordin Viera (IFAP)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

G345

Geologia ambiental: tecnologias para o desenvolvimento sustentável
2 / Organizador Eduardo de Lara Cardozo. – Ponta Grossa (PR):
Atena Editora, 2017.

252 p. : 38.026 kbytes – (Geologia Ambiental; v. 2)

Formato: PDF

ISBN 978-85-93243-38-7

DOI 10.22533/at.ed.3870809

Inclui bibliografia.

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Geologia ambiental. 3. Meio ambiente. 3. Sustentabilidade. I. Cardozo, Eduardo de Lara. II. Título. III. Série.

CDD-363.70

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

2017

Proibida a reprodução parcial ou total desta obra sem autorização da Atena Editora

www.atenaeditora.com.br

E-mail: contato@atenaeditora.com.br

Apresentação

No segundo volume da obra **“Geologia Ambiental: tecnologias para o desenvolvimento sustentável”**, apresentamos estudos ligados à preocupação da relação entre o homem e o meio ambiente, da ocupação e alteração do espaço geográfico e suas consequências. De que maneira utilizar os recursos naturais presentes, tendo como foco o desenvolvimento sustentável.

A população mundial hoje está próxima a 7,5 bilhões de habitantes, no Brasil próximo a 210 milhões de habitantes e constantemente usufruindo dos recursos naturais para o seu desenvolvimento, sua existência. Mas sabemos que os recursos são finitos, precisamos encontrar alternativas, trabalhar os recursos hoje presentes de uma forma sustentável, garantindo a nossa existência, bem como das próximas gerações.

Esta coletânea de artigos trabalha em diferentes temas o uso desses recursos naturais e a preocupação ambiental. Estudos como avaliação de uso de solo laterítico como sub-base em pavimentos urbanos, características geotécnicas de uma argila e um resíduo da construção e demolição visando sua utilização conjunta como barreira capilar, o crescimento do mercado da construção civil e a preocupação ambiental no que diz respeito aos recursos naturais como a areia e a avaliação da permeabilidade intrínseca em alguns solos tropicais representativos do Brasil, são também discutidos.

Questões sobre planejamento, avaliação a partir da Engenharia de Resiliência, processos erosivos lineares do tipo ravina e boçoroca, mapeamento de áreas de riscos geológico na prevenção de perda de vidas e prejuízos econômicos, delimitação de áreas frágeis à ocupação, gestão de riscos urbanos, mapeamento e concepção de soluções para áreas de risco geológico, regularização fundiária de núcleos de ocupação precária e loteamentos irregulares, mapeamento do risco geológico e hidrológico, mapeamento geomorfológico de áreas densamente urbanizadas e mapeamento georreferenciado de deslocamentos horizontais e verticais de muros de contenção em gabião, são outros temas debatidos nesta coletânea.

E para fechar os diferentes temas trabalhados, temos estudos ligados à caracterização de solos das potenciais jazidas de empréstimos selecionadas para projetos das barragens e as investigações geológicas geotécnicas para a implantação da barragem de São Bento do UNA, no Estado de Pernambuco.

Diversos temas e informações integradas sobre a geologia ambiental e o desenvolvimento sustentável. Temas esses presentes em nosso cotidiano, e que nos auxiliam a encontrar maneiras para um desenvolvimento sustentável e a mitigação dos inúmeros impactos ambientais gerados por nós, nessa relação homem e meio ambiente.

Desejo uma excelente leitura e que os artigos aqui apresentados contribuam para o enriquecimento do conhecimento do leitor.

Eduardo de Lara Cardozo.

SUMÁRIO

Apresentação.....	03
<u>CAPÍTULO I</u>	
AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA E DA DURABILIDADE À MOLHAGEM E SECAGEM DE UM SOLO DE SINOP-MT ESTABILIZADO COM CAL	
<i>Raul Tadeu Lobato Ferreira, Augusto Romanini, Celso Todescatto Junior, Flavio Alessandro Crispim, Julio César Beltrame Benatti e Rogério Dias Dalla Riva.....</i>	<i>07</i>
<u>CAPÍTULO II</u>	
CARACTERIZAÇÃO GEOTECNICA DE UM RCD E UMA ARGILA VISANDO SUA UTILIZAÇÃO COMO BARREIRA CAPILAR	
<i>Julio César Bizarreta Ortega e Tácio Mauro Pereira de Campos.....</i>	<i>19</i>
<u>CAPÍTULO III</u>	
CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO ARENITO FURNAS NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA (PR) PARA USO EM ARGAMASSAS	
<i>Melissa Zanferrari Godoy, Fabio Luiz Chemin, Patrícia Kruger e Luiz Carlos Godoy.....</i>	<i>34</i>
<u>CAPÍTULO IV</u>	
AVALIAÇÃO DA PERMEABILIDADE INTRÍNSECA EM SOLOS REPRESENTATIVOS DA PAISAGEM BRASILEIRA	
<i>Luiza Silva Betim, Eduardo Antonio Gomes Marques, Klingner Senra Rezende, Brahmani Sidhartha Tibúrcio Paes, Vitor Luiz Reis de Almeida e Luana Caetano Rocha de Andrade.....</i>	<i>56</i>
<u>CAPÍTULO V</u>	
ENGENHARIA DE RESILIÊNCIA: UMA PRIMEIRA APROXIMAÇÃO COM A GESTÃO DE RISCOS DE DESASTRES SOCIONATURAIS	
<i>Andréa Jaeger Foresti, Luiz Antônio Bressani, Cornelia Eckert e Luiz Carlos Pinto da Silva Filho.....</i>	<i>67</i>
<u>CAPÍTULO VI</u>	
EROSÕES LINEARES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO PEIXE, SP	
<i>Gerson Salviano de Almeida Filho, Maria Cristina Jacinto de Almeida, Tatiane Brasil de Freitas e Zeno Hellmeister Júnior.....</i>	<i>87</i>
<u>CAPÍTULO VII</u>	
ESTUDO PRELIMINAR DE RISCOS GEOLÓGICOS EM REGIÃO DO MUNICÍPIO DE ARENÁPOLIS, MT: ETAPA PREPARATÓRIA DE DETALHAMENTO DE CAMPO	
<i>Natália de Souza Arruda, Thiago de Oliveira Faria e Fernando Ximenes de Tavares Salomão.....</i>	<i>103</i>

CAPÍTULO VIII

FRAGILIDADE POTENCIAL E EMERGENTE NO BAIRRO BRIGADEIRO TOBIAS, SOROCABA-SP
Camila Bertaglia Carou, Fernando Nadal Junqueira Villela, Eduardo Soares de Macedo e Marcos Roberto Martines.....114

CAPÍTULO IX

GESTÃO DE RISCOS COMO POLÍTICA PÚBLICA PRIORITÁRIA NA REGIÃO DO GRANDE ABC
Luiz Antonio Bongiovanni e Sandra Teixeira Malvese.....125

CAPÍTULO X

LEVANTAMENTO, MAPEAMENTO E CONCEPÇÃO DE SOLUÇÕES PARA PROBLEMAS NAS ÁREAS DE RISCO DOS BAIROS DE NOVA CAPÃO BONITO, SÃO JUDAS TADEU, VILA APARECIDA E VILA JARDIM SÃO FRANCISCO, MUNICÍPIO DE CAPÃO BONITO, SP
Priscila Taminato Hirata, Fabrício Araujo Mirandola, Eduardo Soares de Macedo, Marcela Penha Pereira Guimarães, Claudio Luis Ridente Gomes e Alessandra Cristina Corsi.....136

CAPÍTULO XI

MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO A DESLIZAMENTOS E INUNDAÇÕES E DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APPs) EM NÚCLEOS E LOTEAMENTOS IRREGULARES NO MUNICÍPIO DE SÃO ROQUE, SP
Priscila Ikematsu, Eduardo Soares de Macedo, Alessandra Cristina Corsi, André Luiz Ferreira, Fabrício Araújo Mirandola e Priscilla Moreira Argentin.....151

CAPÍTULO XII

MAPEAMENTO DO RISCO GEOLÓGICO E HIDROLÓGICO DO MUNICÍPIO DE CASTELO - ES-BRASIL
Leonardo Andrade de Souza, Marco Aurélio Costa Caiado, Gilvimar Vieira Perdigão, Sílvia C. Alves, Larissa Tostes Leite Belo e Raphael Henrique O. Pimenta.....168

CAPÍTULO XIII

MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DE ÁREAS DENSAMENTE URBANIZADAS
Alberto Franco Lacerda.....184

CAPÍTULO XIV

MONITORAMENTO GEORREFERENCIADO DE DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS E VERTICAIS DE MUROS DE CONTENÇÃO EM GABIÃO
Nilton de Souza Campelo, Mário Jorge Gonçalves Santoro Filho, Otávio César de Paiva Valadares, Michael Douglas da Costa Paes e Aroldo Figueiredo Aragão.....196

CAPÍTULO XV

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, COMPRESSIBILIDADE E RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE TRÊS MISTURAS DE SOLOS PARA BARRAGENS DE TERRA EM SANTA CATARINA
Nilo Rodrigues Júnior, Vitor Santini Müller, Matheus Klein Flach, Murilo da Silva Espíndola, Daniel Galvão Veronez Parizoto, Gabriela Bessa e Juan Antonio Altamirano

Flores.....209

Capítulo XVI

INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICAS GEOTÉCNICAS PARA IMPLANTAÇÃO DA BARRAGEM SÃO BENTO DO UNA - PE

Hosana Emilia Abrantes Sarmiento Leite, Diana Damásio e Castro Lopes, Rafaella Teixeira Miranda e Maiara de Araújo Porto.....223

Sobre o organizador.....241

Sobre os autores.....242

CAPÍTULO XV

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, COMPRESSIBILIDADE E RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE TRÊS MISTURAS DE SOLOS PARA BARRAGENS DE TERRA EM SANTA CATARINA

**Nilo Rodrigues Júnior
Vitor Santini Müller
Matheus Klein Flach
Murilo da Silva Espíndola
Daniel Galvão Veronez Parizoto
Gabriela Bessa
Juan Antonio Altamirano Flores**

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, COMPRESSIBILIDADE E RESISTÊNCIA AO CISLHAMENTO DE TRÊS MISTURAS DE SOLOS PARA BARRAGENS DE TERRA EM SANTA CATARINA

Nilo Rodrigues Júnior

Universidade Federal de Santa Catarina, Geologia

Florianópolis – Santa Catarina

Vitor Santini Müller

Universidade Federal de Santa Catarina, Geologia

Florianópolis – Santa Catarina

Matheus Klein Flach

Universidade Federal de Santa Catarina, Geologia

Florianópolis – Santa Catarina

Murilo da Silva Espíndola

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Geociências

Florianópolis – Santa Catarina

Daniel Galvão Veronez Parizoto

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Geociências

Florianópolis – Santa Catarina

Gabriela Bessa

Universidade Federal de Santa Catarina, Geologia

Florianópolis – Santa Catarina

Juan Antonio Altamirano Flores

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Geociências

Florianópolis – Santa Catarina

RESUMO: Barragens são obras de infraestrutura que possuem como principal função a contenção do fluxo de um curso d'água, cujo projeto e processo de construção decorrem em reconhecimento geotécnico das características físicas e mecânicas dos materiais que compõem o corpo do aterro, por exemplo. O presente trabalho trata da caracterização de solos das potenciais jazidas de empréstimo selecionadas para os projetos das barragens dos rios Taió, Perimbó e Ribeirão Braço do Trombudo, no estado de Santa Catarina. Foram analisados 23 (vinte e três) pontos de estudo, divididos em três conjuntos de amostras. Os ensaios físicos de caracterização e comportamento mecânico foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal de Santa Catarina. Foi verificada a predominância de materiais silte argilo-arenosos, com baixos coeficientes de permeabilidade, valores de ângulos de atrito interno efetivos próximos de 30°, e, sobretudo, comportamentos não dispersivos, o que é essencial, em virtude da condição de inundação à qual serão submetidos.

PALAVRAS-CHAVE: Barragens de terra; caracterização física e mecânica.

1. INTRODUÇÃO

Barragens são construções que possuem como principal função a contenção do fluxo de um curso d'água, cujos volumes armazenados possuem distintas finalidades, dentre as quais hidrelétricas, piscicultura, controle de cheias, consumo humano até irrigação. Os projetos de barragens são complexos e demandam, antes de tudo, estudos que possibilitem o entendimento do comportamento mecânico dos maciços que compõem o corpo dos aterros, bem como a interação destes com os materiais de fundação, condições de submersão, condutividade hidráulica, compressibilidade e resistência em situações desfavoráveis.

Ao tratar de solos para barragens de terra, Cruz (1996) cita que entre 1960 e 1990 evoluiu-se para usar qualquer material de empréstimo proveniente de um perfil de intemperismo, com limitações apenas a solos com excesso de mica, desde que se faça uma seleção adequada dos materiais de construção, e que a sua procedência para cada trecho da Barragem seja bem definida. Esta atitude permite economias significativas de custo e viabiliza a construção de grandes barragens.

Barragens de terra possuem taludes de inclinação acentuada tanto a montante, quanto a jusante, sendo assim, requerem grandes volumes de materiais em relação ao local de sua construção, onde o reconhecimento geotécnico das características físicas do solo irão determinar o sucesso da obra conforme os parâmetros estipulados nos ensaios de caracterização destes materiais.

1.1. Objetivo

Este trabalho teve como finalidade a caracterização física, de compressibilidade, condutividade hidráulica e resistência ao cisalhamento dos solos das 23 (vinte e três) jazidas selecionadas para as obras das barragens nos rios Taió, Perimbó e Ribeirão Braço do Trombudo, em Santa Catarina. Os impactos sociais decorrentes da implantação destes empreendimentos não são objeto de discussão do presente trabalho.

1.2. Objetivos Específicos

Dentre os objetivos específicos deste trabalho, tem-se:

- Verificação do teor de umidade individual de cada jazida estudada;
- Caracterização física clássica das misturas dos solos;
- Determinação dos parâmetros de compressibilidade em ensaios unidimensionais;
- Constatação dos parâmetros de resistência em ensaios de cisalhamento direto, na condição inundada.

2. METODOLOGIA

As amostras estudadas foram provenientes das misturas dos solos das diferentes jazidas na área de implantação das barragens dos rios Taió, Perimbó e Ribeirão Braço do Trombudo. Foram analisados 23 (vinte e três) pontos de estudo, sendo que a mistura dos solos resultaram em três amostras distintas: Barragem rio Taió: mistura de 5 jazidas; Barragem rio Perimbó: mistura de 8 jazidas; Barragem rio Ribeirão Braço do Trombudo: 10 jazidas.

Os ensaios físicos de caracterização física, de compressibilidade, condutividade hidráulica e resistência ao cisalhamento direto das 3 (três) amostras de solos foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal de Santa Catarina, conforme as normas nacionais da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), vigentes para cada tipo de ensaio, sendo que na ausência de normas nacionais foram utilizados procedimentos descritos na literatura, ou a normatização internacional da *American Society for Testing and Materials* (ASTM): Determinação do teor de umidade natural (ASTM D4959); Determinação da massa específica dos sólidos (NBR6508); Análise granulométrica com sedimentação (NBR7181); Determinação do limite de liquidez (NBR6459); Determinação do limite de plasticidade (NBR7180); Ensaio de compactação (NBR7182); Avaliação da dispersibilidade de solos argilosos (NBR13601); Ensaio de adensamento unidimensional (NBR12007); Ensaio de resistência ao cisalhamento direto (ASTM D3080); Coeficiente de permeabilidade em solos argilosos à carga variável (NBR 14545); Preparação de corpos de prova compactados para ensaios de cisalhamento direto (Espíndola *et al.*, 2010).

3. RESULTADOS

Os resultados são apresentados neste trabalho em termos de propriedades físicas, dados de compactação, compressibilidade, condutividade hidráulica e resistência ao cisalhamento.

3.1 Ensaios de caracterização física

Tendo em vista que o procedimento de obtenção dos parâmetros de umidade dos solos são simples e demandam pouco esforço laboratorial, foram determinados os teores naturais para cada jazida estudada, dividindo-as posteriormente em função do conjuntos de amostragens. A Tabela 1 apresenta os valores obtidos.

Tabela 1. Resultados dos ensaios de teor de umidade natural das amostras.

Jazida	Taió w%	Perimbó w%	Ribeirão Braço do Trombudo w%
1	49.93	49.45	34.58
2	31.96	29.18	38.51
3	45.55	32.19	40.93
4	31.07	28.48	36.10
5	49.23	29.43	20.67
6	-	25.51	29.35
7	-	34.25	33.48
8	-	30.70	41.71
9	-	-	19.88
10	-	-	32.19
Teor de umidade médio [%]	41.60	32.40	32.74

É possível observar no decorrer da apresentação dos resultados deste trabalho, que o teor de umidade natural médio de 41.6% refere-se ao conjunto de amostragem com maior teor de finos, e conseqüentemente com maior superfície específica. Como consequência, o reflexo desta superfície específica total se deu também na curva de compactação, pois apresentou o maior teor de umidade ótima.

Com exceção dos teores de umidade, os ensaios posteriores foram realizados para as misturas que resultaram em três amostras de solos de 23 jazidas. A determinação da massa específica dos grãos de solo das amostras foi realizada utilizando-se o princípio de Arquimedes, por meio do qual o volume de água deslocado é igual ao volume de sólidos inseridos em um recipiente padronizado. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define os procedimentos padrões para este ensaio, por meio da NBR6508 (1984) grãos de solos que passam na peneira de 4.8mm. Foram realizados, portanto, dois ensaios para cada mistura, tendo-se obtido um peso específico dos sólidos (γ_s) de 27.6kN/m³ para o conjunto da Barragem do Rio Taió, 27,8kN/m³ para o rio Perimbó e 27,1kN/m³ para o Rio Ribeirão Braço do Trombudo.

O procedimento para análise granulométrica, quando executado em materiais com elevados teores de silte e argila, deve ser procedido também por meio da análise sedimentológica, ou seja, aplicando-se a Lei de Stokes. A NBR7181 (1984) define os procedimentos padrões para execução do ensaio de análise granulométrica de solos. Foi verificado, por meio de procedimento tátil-visual, que os teores de silte e argila contidas na mistura dos solos que formaram as amostras eram suficientemente elevados para justificar a execução de análise sedimentológica (Figura 1).

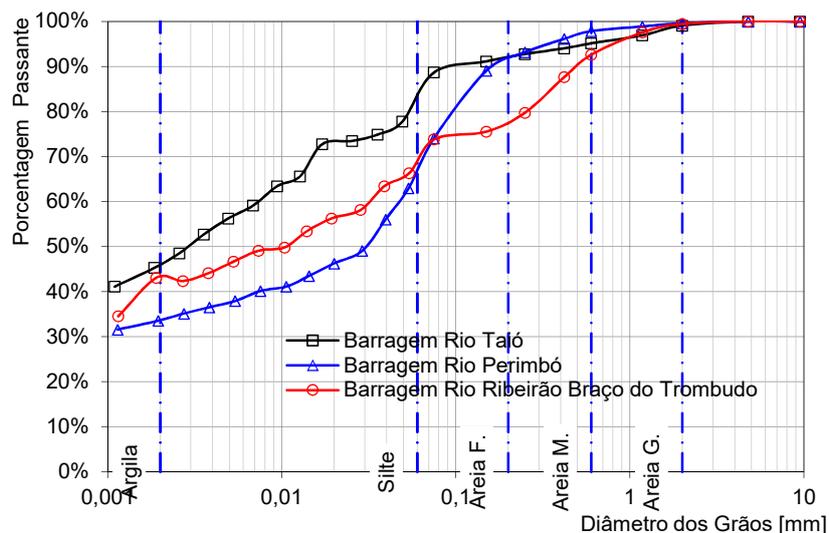


Figura 1. Curva granulométrica obtida das amostras.

O conjunto de solos que formaram a amostra da Barragem do Rio Taió são mais finos que as demais, refletindo em comportamentos coerentes na determinação dos limites de consistência, ou seja, as amostras mais finas foram também aquelas que apresentaram os maiores limites de liquidez. A Figura 2 apresenta um gráfico com correlações distintas comparando os limites de consistência, teores de umidade médios com as porcentagens de argilas e siltes mais argilas. É possível observar que as melhores relações obtidas, tendo o coeficiente de regressão linear como critério de escolha, foram entre os limites de liquidez *versus* porcentagens de argilas, e o teor de umidade médio *versus* porcentagens de siltes mais argilas.

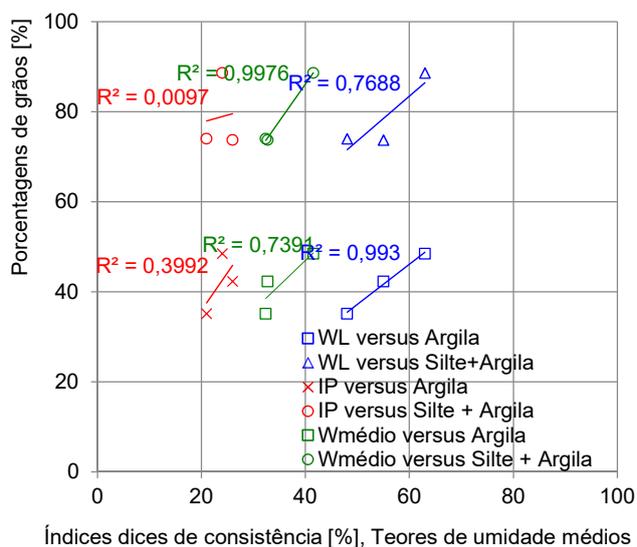


Figura 2. Correlações estabelecidas para os índices de consistência.

No Brasil, os ensaios de Limites de Liquidez (WL) e de Plasticidade (WP) são normatizados por meio da NBR6459 (1984) e NBR 7180 (1984) respectivamente. Os solos que compuseram as amostras estudadas neste trabalho foram submetidos

aos referidos procedimentos no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal de Santa Catarina, tendo-se obtido os valores apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resumo dos ensaios realizados para as três amostras de barragens de terra.

Amostra	Taió	Perimbó	Ribeirão Braço do trombudo	
Caracterização Física	W _{nat} médio (%)	41.55	32.40	32.74
	γ _s (kN/m ³)	27.60	27.80	27.10
	Argila (%)	48.52	35.15	42.36
	Silte (%)	40.15	38.92	31.43
	Areia (%)	10.40	25.51	25.62
	Ped. (%)	0.92	0.43	0.58
	w _L (%)	63.0	48.0	55.0
	w _P (%)	39.0	27.0	29.0
	I _P (%)	24.0	21.0	26.0

3.2 Ensaios de Compactação

Os solos que compuseram as amostras foram submetidos ao procedimento de ensaio de compactação, de acordo com a NBR7182 (1986), utilizando-se energia Próctor Normal. A título de estimativa, Higashi (2006) verificou que para os solos residuais de granitoides do município de Tubarão/SC, os valores de teor de umidade ótima das Jazidas oscilaram em torno de 5% abaixo do teor de umidade natural. Desta forma, como o teor de umidade natural médio da amostra de solos da Barragem do rio Taió foi da ordem de 41%, o ensaio de compactação foi realizado com valor presumido de 36% de umidade ótima (Figura 3). O teor de umidade ótimo obtido foi próximo ao presumido, igual a 32.5%, e o Peso Específico Aparente Seco Máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) foi calculado em 13.8kN/m³. O teor de umidade natural médio da amostra do rio Perimbó foi da ordem de 32%, com valor presumido de 27% de umidade ótima. O teor de umidade ótimo obtido foi igual a 24.1%, e o Peso Específico Aparente Seco Máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) foi calculado em 15.65kN/m³. Para a amostra do rio Ribeirão Braço do Trombudo foi estimado um teor de umidade ótimo de 27%, tendo-se obtido 27.1%, e $\gamma_{dm\acute{a}x}$ de 14.79kN/m³. É possível verificar que o conjunto de solos que compuseram a amostra do rio Ribeirão Braço do Trombudo resultaram em uma umidade ótima muito próxima de 5% abaixo da umidade natural, conforme descreve Higashi (2006). Deve-se destacar ainda que este valor trata-se de uma simples estimativa, a título de contribuição técnica aos ensaios e correlações, uma vez que o teor de umidade natural de um solo é uma variável em constante modificação.

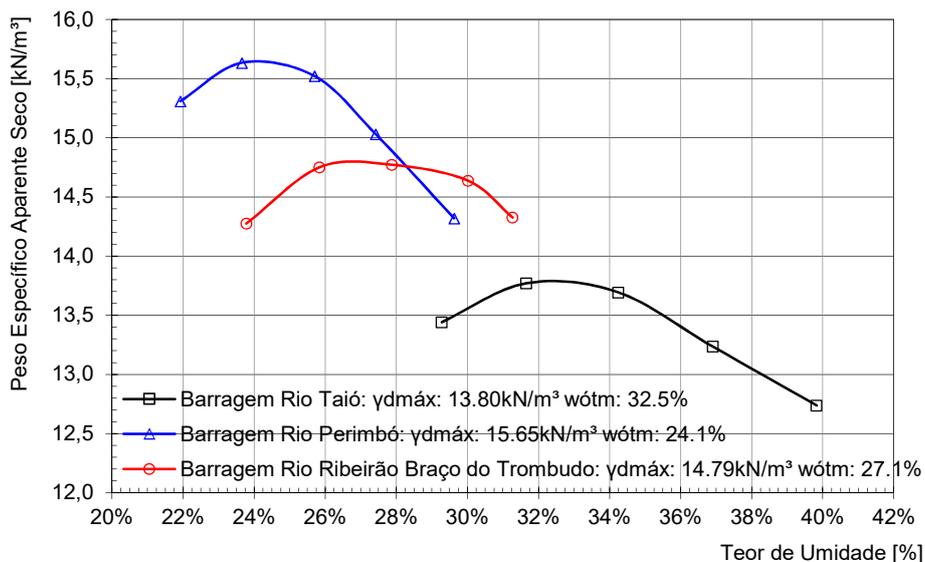


Figura 3. Curva de compactação referente às amostras.

Verifica-se que os solos com mais porcentagens de argila tenderam a apresentar teores de umidade ótima maiores, em virtude de suas superfícies específicas. Esta observação está representada neste trabalho por meio da Figura 4. Os dados da curva de compactação permitiram verificar ainda, quando comparados as curvas granulométricas das três amostras de barragens, que o peso específico aparente seco máximo é inversamente proporcional ao teor de finos da amostra.

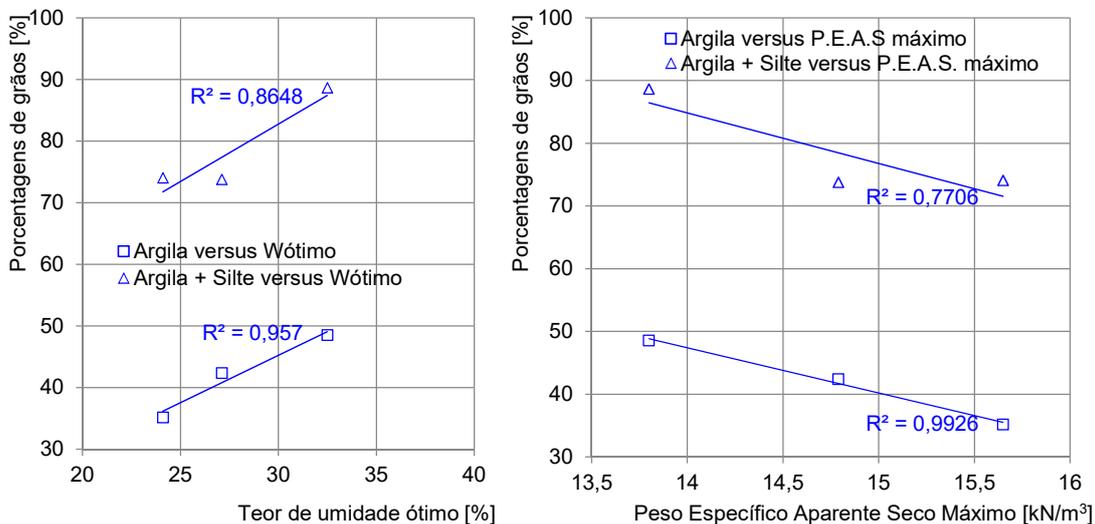


Figura 4. Porcentagens de grãos versus teor de umidade ótimo e P.E.A.S. máximo.

3.3 Dispersibilidade dos Solos

O ensaio de dispersibilidade dos solos argilosos que compuserem as amostras foi realizado de acordo com a NBR13601 (1996), utilizando-se o método

do torrão (*crumb test*). Foram moldados três corpos de prova esféricos com diâmetro de 10mm (para cada amostra), posteriormente imersos em água destilada para avaliação do comportamento. Após uma hora, imersos em água destilada, observou-se a dispersão dos colóides em suspensão para a classificação do comportamento dispersivo de acordo com a normativa. As amostras foram classificadas com Grau1, comportamento não dispersivo, no qual “O torrão de solo pode absorver água, sofrer esboroamento e esparramar-se no fundo do béquer, formando uma pilha achatada, mas não se observa sinal de turvação no líquido, provocado por colóides em suspensão” (ABNT, NBR 13601, 1996).

3.4 Ensaios de Compressão Unidimensional

Conhecidos os dados de umidade ótima e peso específico aparente máximo da mistura de solos que compuseram as amostras, foram moldados corpos de prova de seção circular de 56.98cm² e 2,61cm de altura. Este material foi submetido ao ensaio de compressão unidimensional, conforme NBR12007 (1990), com intuito de se determinar os parâmetros de compressibilidade das amostras (Figura 5). Os parâmetros de compressibilidade foram obtidos utilizando-se os métodos de Taylor e Pacheco e Silva.

As curvas de compressibilidade são apresentadas em função da variação da altura do corpo de prova, de forma que se possa observar o comportamento das três amostras em um mesmo gráfico. Os parâmetros calculados para as amostras são apresentados na Tabela 3.

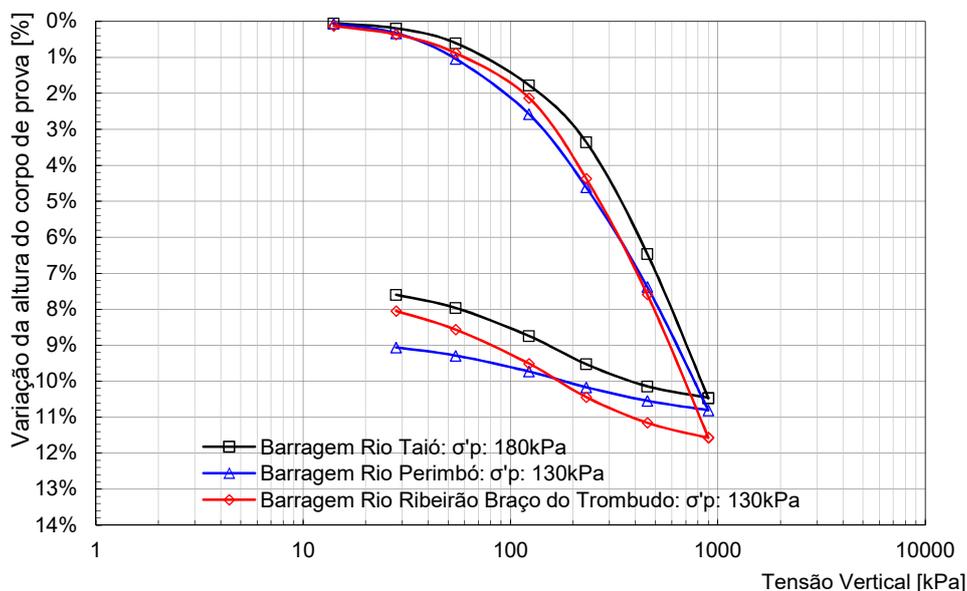


Figura 5. Curva de compressibilidade das amostras.

Tabela 3. Parâmetros do ensaio de compressão unidimensional.

Parâmetro	Rio Taió	Rio Perimbó	Rio Ribeirão Braço do Trombudo
e_o	1.086	0.895	0.906
e_r	0.868	0.690	0.686
σ'_p [kPa]	180	130	130
Cr	0.02	0.03	0.03
Cc	0.25	0.20	0.23
$K_{máx}$ [cm/s]	2.7×10^{-7}	2.2×10^{-7}	2.9×10^{-7}
$K_{mín}$ [cm/s]	3.2×10^{-8}	1.8×10^{-8}	1.0×10^{-8}

Verifica-se que a amostra referente ao rio Taió apresenta maior rigidez na “recompressão”, ao passo que na “reta virgem” este mesmo fenômeno é observado para a amostra do rio Perimbó. Destaca-se também que a amostra do rio Taió possui a maior “pressão de pré-adensamento”, cujo termo não se aplica teoricamente para este caso, pois trata-se de um solo compactado. Ou seja, embora tenha-se aplicado a mesma energia de compactação para as três amostras, o ponto de inflexão da curva de compressibilidade se dá em tensões mais elevadas para o material com teor de finos maior, o que é, de fato, típico de materiais finos, que possuem como característica o armazenamento histórico de tensões anteriores. Ainda que se tenha procedido com tal afirmação, é importante relatar a complexidade teórica e experimental que envolve tal conclusão, e, portanto, o caráter divagante da mesma no presente trabalho.

3.5 Resistência ao Cisalhamento

O ensaio de cisalhamento direto é um dos métodos mais antigos e comuns para determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento na Mecânica dos Solos. O seu histórico de resultados o torna muito solicitado e confiável perante geotécnicos. O conjunto de solos que compuseram as amostras foram compactados em umidade ótima e peso específico aparente seco máximo, em três moldes cúbicos de seção quadrada de 103.23cm^2 e 2.0cm de altura. Como não existe no Brasil uma normatização oficial para o ensaio de cisalhamento direto, procedeu-se em consonância com a ASTM D3080. Foram aplicadas tensões normais efetivas iniciais de 31.35kPa, 74.12kPa e 113.12kPa, posteriormente submetendo os corpos de prova à ruptura por cisalhamento, inundado, com velocidade constante de 0.307mm/min. A Figura 8 apresenta as envoltórias de ruptura para as três amostras, conforme Mohr-Coulomb, nas quais pode-se identificar valores de ângulo de atrito interno efetivo (ϕ') entre 28.1° e 33.2° , e intercepto coesivo efetivo (c') de 15.0kPa à 20.6kPa.

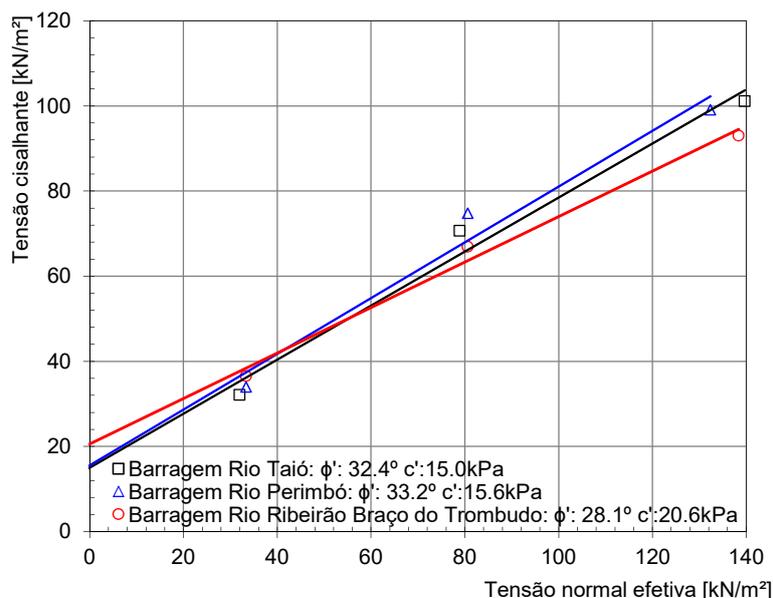


Figura 8 – Envoltória de Mohr-Coulomb das amostras.

Como todo ensaio realizado em laboratório, o ensaio de resistência ao cisalhamento direto tem como finalidade simular situações de campo da forma mais fiel quanto possível for. Não obstante, deficiências envolvendo concentração ou rotação do plano de tensões são conhecidas no meio geotécnico, e levam o calculista a entender que os dados das curvas “Tensão cisalhante” versus “deformação horizontal” e “deformação vertical” versus “deformação horizontal”, são pouco confiáveis para cálculos de parâmetros como Módulos Elásticos, por exemplo. Desta forma, não são apresentados no presente trabalho.

3.6 Coeficientes de Permeabilidade

A água é uma grande variável quando se trata de comportamento mecânico de solos. Em barragens, por exemplo, solos com elevada permeabilidade não são aconselhados para vedação do corpo do aterro, tendo em vista que o volume de água que pode vir à percolar pelos maciços deverá ser elevado, sobretudo para gradientes hidráulicos maiores. Tendo em vista a necessidade de se determinar a condutividade hidráulica do conjunto de solos que compuseram as amostras, foram moldados corpos de prova cilíndricos com 9.95cm de diâmetro e 12.74cm de altura, em umidade ótima e peso específico aparente seco máximo. Após a realização de três leituras consecutivas (em cada amostra), sem tendências crescentes e decrescentes, foram obtidos os dados de condutividade hidráulica para os três conjuntos de amostras estudadas. Os valores obtidos foram: Barragem rio Taió: $K = 6.9 \times 10^{-7} \text{cm/s}$; Barragem rio Perimbó: $K = 7.2 \times 10^{-8} \text{cm/s}$; Barragem rio Ribeirão Braço do Trombudo: $K = 5.9 \times 10^{-8} \text{cm/s}$. Em relação aos valores obtidos indiretamente para o ensaio de compressão unidimensional, constatou-se que os parâmetros de condutividade hidráulica por meio de ensaio convencional obtidos

para as três amostras estudadas enquadraram-se na faixas de valores mínimos e máximos.

4. CONCLUSÕES

As misturas propostas para os projetos das três barragens de terra dos rios Taió, Perimbó e Ribeirão Braço do Trombudo resultaram em solos finos, com predominância de partículas argilosas à siltosas, e presença de partículas arenosas. Curvas granulométricas bem graduadas, tais como se verificou para os materiais estudados, são mais recomendadas para barragens de terra, pois conforme descreve Terzaghi (1960), quanto mais bem graduado for um solo, menores serão as deformações necessárias para se mobilizar tensões nos corpos dos maciços terrosos.

Os teores de umidade naturais médios calculados para cada conjunto de amostragem se mostraram coerentes em relação as porcentagens de finos dos materiais, bem como se verificou também que os teores de umidade ótimos obtidos nas curvas de compactação estiveram diretamente relacionados com a porcentagem de grãos de argilas nas composições granulométricas.

Valores de peso específico de sólidos, tais como os encontrados para os materiais desta pesquisa, são típicos de granitoides da região de Rio do Sul, em Santa Catarina, nas proximidades da área de implantação das barragens estudadas.

As melhores relações obtidas para os as frações de diâmetros de grãos e índices de consistência se deram em correlações entre o limites de liquidez e a porcentagens de argilas, e o teor de umidade médio e porcentagens de siltes e argilas. Ou seja, verifica-se comportamento clássico de solos, em que o limite de liquidez é influenciado pelos teores de argilas nas composições granulométricas, e de forma também que os materiais finos com superfícies específicas maiores desenvolvam maiores tensões capilares, retendo naturalmente mais água nos solos.

É importante destacar que todas as amostras estudadas apresentaram comportamento não dispersivo ao serem submersos em água, o que é essencial para um material que ficará sob tal condição em períodos de cheias.

No que tange a rigidez dos materiais estudados, os ensaios de compressão unidimensional demonstraram que os comportamentos são distintos antes e após o ponto de inflexão na curva de compressibilidade, e também que estão associados à composição granulométrica. Os parâmetros de rigidez das tensões mobilizadas nos ensaios de cisalhamento direto não foram apresentados nesta pesquisa, uma vez que os autores tem acordo dos problemas ocasionados pelas rotações e concentrações de tensões ao longo dos planos cisalhantes. Inclusive, como sugestão para continuidade deste estudo, recomenda-se a execução de ensaios de compressão triaxial, com consolidação do corpo de prova e ruptura em condição não drenada. Sugere-se também avaliar o efeito causado pela variação do nível de

água no reservatório.

As pressões referentes as inflexões das curvas de compressibilidade, conforme método de Pacheco e Silva, equivalem a alturas de aterros da ordem de 7m à 10m. Se os projetos dos corpos destas barragens estiverem prevendo alturas de aterros maiores, a utilização de energias de compactações maiores seria uma alternativa para redução de deformações posteriores nos corpos dos aterros.

Os parâmetros de resistência ao cisalhamento obtidos para as composições granulométricas estudadas, em energias normal, se mostraram satisfatórios. É importante ressaltar que a execução de ensaios triaxiais sob diferentes trajetórias de tensões possibilitaria um entendimento mais preciso do comportamento destes materiais.

Os valores de coeficiente de permeabilidade obtidos indiretamente no ensaio de compressibilidade se mostraram muito próximos aos resultados obtidos no ensaio de permeabilidade com carga variável, padronizado. Isto reforça a eficácia do método, e atribui confiabilidade e credibilidade aos resultados obtidos. É importante destacar ainda que eles valores de mostraram bem reduzidos, menores que 10^{-7} cm/s, o que é essencial para o corpo de aterro de barragens de terra, uma vez que este terá a função de interromper um curso de água natural.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Grãos de solos que passam na peneira 4,8mm – Determinação da massa específica. NBR 6508.** Rio de Janeiro, 1984.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo – Análise Granulométrica. NBR 7181.** Rio de Janeiro, 1984.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo – Determinação do Limite de Liquidez. NBR 6459.** Rio de Janeiro, 1984.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. 7180.** Rio de Janeiro, 1984.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo – Ensaio de Compactação. NBR 7182.** Rio de Janeiro, 1986.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13602. Solo Avaliação da dispersibilidade de solos argilosos pelo ensaio sedimentométrico comparativo Ensaio de dispersão SCS.** Rio de Janeiro, 1996. 5 p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12007. Ensaio de adensamento unidimensional.** Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR-14545 – Solo: determinação de coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável.** ABNT. Rio de Janeiro. p. 12. 2000.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2000) D4959, 07. Pensilvânia, Estados Unidos da América. *ASTM International.*

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2004) D3080. Pensilvânia, Estados Unidos da América. *ASTM International.*

CRUZ, P.T. **100 Barragens Brasileiras – Casos Históricos, Materiais de Construção, Projeto.** Oficina de Textos, 517p., 1996.

ESPÍNDOLA, M. S.; GODOI, C. S.; MACCARINI, M.; OLIVEIRA, O. M. **Resistência ao Cisalhamento de Solos Compactados: A Influência da Variação do Peso Específico Aparente Seco.** In. XV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2010.

HIGASHI, R. R. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental.** Florianópolis: Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

TERZAGHI, K. *Discussion on settlement of Salt Springs and Lower Bear River concrete face dams. Transactions of the American Society of Civil Engineers*, v.125, p.II, pp.139-148, 1960.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-93243-38-7



9 788593 243387