



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^a Dr^a 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^a Dr^a 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^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a 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^a Dr^a 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^a Dr^a 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.^a Dr.^a 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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E57	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) 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 1. Engenharia – Aspectos sociais. 2. Engenharia – Aspectos econômicos. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Série. CDD 658.5
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
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

CAPÍTULO 1	1
ESTUDOS DA ÁGUA E SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO UBERABINHA EM UBERLÂNDIA - MG	
Maria da Graça Vasconcelos	
Luiz Alfredo Pavanin	
Erich Vectore Pavanin	
DOI 10.22533/at.ed.3061925061	
CAPÍTULO 2	13
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	
DOI 10.22533/at.ed.3061925062	
CAPÍTULO 3	26
MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA ENSAIO DE PROVA DE CARGA EM SOLO BASÁLTICO	
Daniel Russi	
Sandra Garcia Gabas	
Giancarlo Lastoria	
DOI 10.22533/at.ed.3061925063	
CAPÍTULO 4	37
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	
DOI 10.22533/at.ed.3061925064	
CAPÍTULO 5	51
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	
DOI 10.22533/at.ed.3061925065	
CAPÍTULO 6	61
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	
DOI 10.22533/at.ed.3061925066	

CAPÍTULO 7	69
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	
DOI 10.22533/at.ed.3061925067	
CAPÍTULO 8	80
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	
DOI 10.22533/at.ed.3061925068	
CAPÍTULO 9	95
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	
DOI 10.22533/at.ed.3061925069	
CAPÍTULO 10	104
UTILIZAÇÃO DO PERMEÂMETRO DE TUBO NA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DE CAMADAS SUPERFICIAIS DE SOLOS	
Marcos Túlio Fernandes	
Glaucimar Lima Dutra	
DOI 10.22533/at.ed.30619250610	
CAPÍTULO 11	116
DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO EM SOLO REFORÇADO COM GEOSSINTÉTICOS	
Alessandra Lidia Mazon	
Maytê Pietrobelli de Souza	
Bianca Penteado de Almeida Tonus	
André Fanaya	
DOI 10.22533/at.ed.30619250611	

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

CAPÍTULO 23	262
ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTO PERMEÁVEL EM UMA ÁREA DA CIDADE DE JOINVILLE/SC	
Adilon Marques dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.30619250623	
CAPÍTULO 24	281
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	
DOI 10.22533/at.ed.30619250624	
CAPÍTULO 25	294
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	
DOI 10.22533/at.ed.30619250625	
CAPÍTULO 26	306
DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DE PILARES MISTOS PREENCHIDOS DE AÇO E CONCRETO	
Jéssica Salomão Lourenção	
Élcio Cassimiro Alves	
DOI 10.22533/at.ed.30619250626	
CAPÍTULO 27	325
ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS: MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	
João Augusto Dunck Dalosto	
Luiz Fernando Hencke	
Jhonatan Conceição dos Santos	
Hevrlí da Silva Carneiro Pilatti	
DOI 10.22533/at.ed.30619250627	
CAPÍTULO 28	336
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	
DOI 10.22533/at.ed.30619250628	
CAPÍTULO 29	348
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	
DOI 10.22533/at.ed.30619250629	

CAPÍTULO 30	357
'ARTENGENHARIA': UMA PONTE TRANSDISCIPLINAR PARA O DESENVOLVIMENTO DO POTENCIAL HUMANO E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA A GESTÃO DO CONHECIMENTO	
Ana Alice Trubbianelli	
DOI 10.22533/at.ed.30619250630	
CAPÍTULO 31	371
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	
DOI 10.22533/at.ed.30619250631	
CAPÍTULO 32	383
EXERGIA HÍDRICA EM SISTEMAS REDUTORES DE PRESSÃO	
Conrado Mendes Moraes	
Ângela B. D. Moura	
Eduardo D. P. Schuch	
Eduardo de M. Martins	
DOI 10.22533/at.ed.30619250632	
SOBRE O ORGANIZADOR	393

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE CAL HIDRATADA NA RESISTÊNCIA DE SOLOS SEDIMENTARES

Jair de Jesús Arrieta Baldovino

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Curitiba, Brasil, estudante, yaderbal@hotmail.com

Eclesielter Batista Moreira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Curitiba, Brasil, estudante, eclesielter_ebm@
hotmail.com

Ronaldo Luis Dos Santos Izzo

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Curitiba, Brasil, professor, izzo@utfpr.edu.br

Juliana Lundgren Rose

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Curitiba, Brasil, pesquisadora, julrose@gmail.com

Erico Rafael Da Silva

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Curitiba, Brasil, estudante, herico.rafael@hotmail.
com

Wagner Teixeira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Curitiba, Brasil, estudante, texeira.wagner@
hotmail.com

Felipe Perretto

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Curitiba, Brasil, estudante, fperretto@utfpr.edu.br

Roberto Pan

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Curitiba, Brasil, estudante, vcrp07@gmail.com

à compressão simples (q_u ou UCS) de três solos da formação geológica Guabirotuba de Curitiba (Brasil) melhorados com cal hidratada. Para isso, três diferentes tipos de solos foram coletados em diferentes zonas da formação e depois foram submetidos corpos de prova de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura a ensaios de tração e compressão, logo de serem estabilizados com teores de 3,5,7 e 9% de cal e curados por um período de 30 dias em câmara úmida. Os corpos de prova foram moldados em diferentes pesos específicos secos aparentes e umidades para variar o valor da porosidade. Variáveis como a relação volume de vazios/volume de cal e porosidade/ teor volumétrico (η/L_v) de cal foram avaliados no estudo e sua influência sobre a relação q_t/q_u . Os resultados demonstram que o valor de q_t varia entre 10% e 16% do valor de q_u . Por outra parte, os resultados de q_t e q_u seguem uma única tendência com o emprego da relação η/L_v ajustada a um expoente, quando os resultados das resistências são normalizados.

INFLUENCE OF HYDRATED LIME ADDITION ON SEDIMENTARY SOILS STRENGTH

ABSTRACT: The present work aims to determine the relationship between the split tensile strength (q_t or STS) and the unconfined compression strength (q_u or UCS) of three soils

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo determinar a relação entre a resistência à tração indireta (q_t ou STS) e a resistência

of Guabirotuba Geological Formation of Curitiba (Brazil) improved with hydrated lime. For this, three different types of soils were collected in different zones of the formation, and then test specimens of 50 mm diameter and 100 mm height were submitted to tensile and compression tests, after having been stabilized with contents of 3, 5, 7 and 9% of lime and cured for a period of 30 days on a wet chamber. The specimens were molded in different apparent specific dry weights and water content to vary the porosity value. Variables such as the volume of voids/volume of lime ratio and porosity/volumetric lime content ratio (η/L_v) were evaluated in the study and its influence on the relation q_t/q_u . The results show that the value of q_t varies between 10% and 16% of the value of q_u . On the other hand, the results of q_t and q_u follow a single trend with the use of the ratio η/L_v adjusted to an exponent, when the results of the resistances are normalized.

1 | INTRODUÇÃO

Quando alguns solos coesivos são misturados com cal e depois compactados, se produz uma estabilização no solo devido a várias reações químicas e físicas. As reações entre a cal e os minerais de argila presentes no solo resultam em mudanças das propriedades plásticas e estrutura do solo e por tanto em uma maior capacidade de carga e resistência mecânica. Schanz et al. (2017), Abd el-aziz et al. (2013), Alrubaye et al. (2017) e Mohd Yunus et al. (2017) indicam que as mudanças mais importantes nos solos estabilizados com cal incluem: coagulação, agregação, afinidade reduzida para a água, compatibilidade melhorada e maior resistência mecânica. Outro efeito importante com a adição de cal é diminuição da expansão e da contração nos solos (Emarah e Seleem, 2017; Belchior et al., 2017; Abd el-aziz et al., 2013; Schanz et al., 2017; Robin et al., 2015; Thyagaraj et al., 2014). Um dos efeitos mais importantes da adição de cal é o ganho na resistência mecânica, cujo aumento depende de vários fatores como o tempo de cura, o teor de cal usado e a temperatura. A reação imediata entre solo e a cal é que a adição de cal provoca um aumento imediato no pH da água do solo devido à dissolução parcial de Ca(OH)_2 .

As melhorias desde o ponto de vista geotécnico das misturas solo-cal são atribuídas a quatro reações básicas:

Troca de cátions: As ordens de substituição dos cátions comuns associados aos solos são dadas pela série isotrópica: $\text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{Ca}^{++} < \text{Mg}^{++}$. Um cátion vai ter uma tendência à esquerda dela, e os cátions monovalentes são geralmente substituíveis por cátions multivalentes. Em alguns casos, o complexo de troca é praticamente Ca^{++} saturado antes da adição de cal e a troca de cátions não acontece, ou é minimizada.

Floculação e aglomeração de partículas: Essas reações resultam em mudanças aparentes na textura (junto com a troca de cátions) são principalmente responsáveis pelas mudanças na plasticidade, características de expansão e contração e na trabalhabilidade, mas não produz aumento na resistência mecânica das misturas solo-

cal.

Carbonatação da cal: A cal reage com o dióxido de carbono para formar os agentes de cimentação: carbonatos de Ca e Mg. A Carbonatação da cal é uma das reações mais lentas e seu efeito pode aparecer em dias, meses ou anos (Ola, 1978).

Reação pozolânica: Esta é uma reação entre a sílica do solo e a alumina da cal para formar vários tipos de agentes de cimentação. Os agentes de cimentação são geralmente considerados como a principal fonte para o aumento na resistência mecânica na mistura. Semelhantemente à carbonatação da cal a reação pozolânica pode acontecer desde dias até anos.

De acordo com Ingles e Metcalf (1972), a cal reage com minerais de argila para formar um gel de silicato de cálcio hidrossolúvel. Com o tempo, este gel cristaliza gradualmente em agentes de cimentação bem definidos, tais como hidratos de cálcio e silicato e hidrato de aluminato de cálcio. A alta alcalinidade em presença de água altera as condições físico-químicas das superfícies minerais de argila e, portanto, facilita o desenvolvimento de novos minerais através de reações pozolânicas responsáveis pela formação dos agentes cimentantes. A reação prossegue somente enquanto a água está presente e é capaz de transportar íons de cálcio e hidroxilo para a superfície da argila. Os minerais de argila que geralmente são encontrados em solos residuais tropicais, como a caulinita, a haloisita e os hidróxidos de alumínio cristalizado, também contribuem para as reações pozolânicas, enquanto os compostos de ferro são considerados nocivos ou neutros (de Brito Galvão et al., 2004). Os principais componentes dos solos lateríticos tropicais que são responsáveis por reações pozolânicas e as reações a longo prazo, são sílica amorfa e alumina (Townsend et al., 1971). Quando adicionado a um solo, a cal induz uma redução do teor de água por hidratação (formação de hidróxido de cálcio a partir de óxido de cálcio) e evaporação (reação de hidratação exotérmica), também provoca a floculação das partículas, reduzindo ainda mais a plasticidade do solo. Além disso, leva à formação de compostos cimentantes através de reações pozolânicas que unem as partículas do solo e resultam na melhoria da viabilidade do solo e do seu comportamento mecânico a longo prazo após a compactação (Bourokba Mrabent et al., 2017).

A relação tração/compressão fornece um parâmetro de grande utilidade devido a que se podem estimar valores de q_t ou q_u partindo de um valor real único entre eles, também podendo-se estabelecer resistências mecânicas empíricas de maneira rápida no campo. Alguns autores manifestam a importância da relação q_t/q_u como por exemplo Thomsom (1965), encontrou valores de q_t/q_u entre 0,10 e 0,16 para diferentes solos finos estabilizados com cal em diferentes tempos de cura. Consoli et al. (2012a) avaliou o comportamento mecânico de um solo siltoso tratado com cal com 30 dias de cura encontrando um valor de $q_t/q_u = 0,16$. Consoli et al. (2012b) encontrou um valor da relação $q_t/q_u = 0,15$ para um silte reforçado com fibras de polipropileno e com cal hidratada. Por outra parte, os estudos realizados por Johann (2013) revelam que em média $q_t/q_u = 0,09$. Recentemente Novaes (2016) encontrou uma relação $q_t/q_u = 0,13$

para misturas de cal de carbureto com cinza volante. Assim, o presente trabalho procura calcular a relação q_t/q_u de três solos da Formação Guabirota da cidade de Curitiba no Brasil tratados com cal hidratada com 30 dias de cura.

2 | MATERIAIS

2.1 Solos

Três tipos de solos foram usados para estudar a sua relação de tração/compressão simples. O Quadro 1 apresenta as propriedades físicas dos solos. O solo 1 foi coletado no Município Fazenda Rio Grande/PR, o solo 2 foi coletado no Município São José dos Pinhais/PR e solo 3 foi coletado no Município de Curitiba/PR, onde todos fazem parte da mesma Formação Geológica Guabirota. Segundo a classificação unificada de solos (SUCS), os três solos são classificados como silte elástico com areia (MH). O solo 1 apresenta uma coloração vermelha suave, o solo 2 uma coloração amarela e o solo 3 uma coloratura vermelha, as amostras de solo são apresentadas na Figura 1, demonstrando assim a diferença de coloração. Os ensaios de granulometria dos solos foram realizados de acordo à ASTM D2487 (ASTM 2000), limites de Atterberg dos solos de acordo à ASTM 4318 (ASTM 2010) e massa específica real dos grãos dos solos de acordo à ASTM D854 (ASTM 2014).

Propriedade	Solo 1	Solo 2	Solo 3
Limite de liquidez	53,1%	50,4%	47,74%
Índice de plasticidade	21,3%	14,41%	14,24%
Massa específica real dos grãos (g/cm^3)	2,71	2,63	2,61
Areia grossa ($2,0\text{ mm} < f < 4,75\text{ mm}$)	0%	6,0%	2,81%
Areia média ($0,42\text{ mm} < f < 2,0\text{ mm}$)	7,5%	12,0%	6,52%
Areia fina ($0,075\text{ mm} < f < 0,42\text{ mm}$)	25,9%	15,0%	16,38%
Silte ($0,002\text{ mm} < f < 0,075\text{ mm}$)	57,6%	53,0%	54,0%
Argila ($f < 0,002\text{ mm}$)	9,3%	14,0%	20,29%
Diâmetro efetivo (D_{50})	0,025 mm	0,030 mm	0,034mm
Classificação pelo SUCS	MH	MH	ML

Quadro 1- Propriedades físicas dos solos

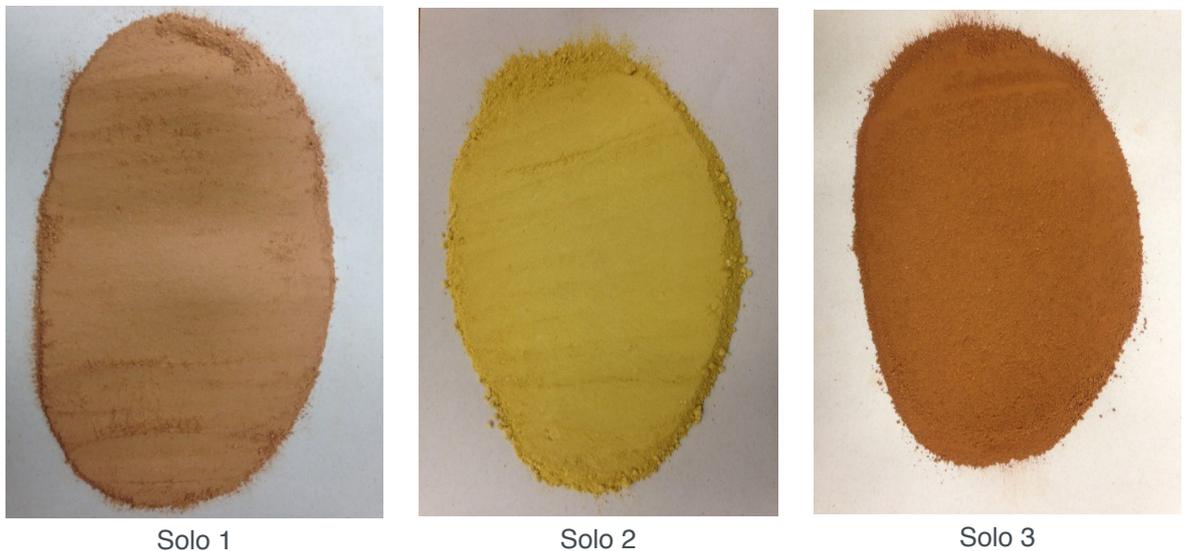


Figura 1- Coloraturas dos solos

2.2 Água

A água empregada tanto para a moldagem de corpos de prova como para os ensaios de caracterização do solo foi destilada conforme as especificações das normas, enquanto está livre de impurezas e evita as reações não desejadas.

2.3 Cal

A cal usada para o estudo foi uma cal hidratada dolomítica CH-III composta principalmente por hidróxidos de cálcio $-Ca(OH)_2-$ e magnésio $-Mg(OH)_2-$, produzida no município de Almirante Tamandaré, região metropolitana de Curitiba. O percentual retido acumulado no diâmetro 0,075 mm foi de 9% ($\leq 15\%$, como especifica a norma NBR 7175 de 2003). A massa específica da cal é igual a $2,39 \text{ g/cm}^3$.

3 | METODOLOGIA

3.1 Ensaios de compressão simples e tração por compressão diametral

Para os ensaios de compressão simples e tração por compressão diametral foram moldados corpos de prova de 100 mm de altura e 50 mm de diâmetro. Os três solos foram secados totalmente em estufa a temperatura de $100 \pm 5^\circ\text{C}$ e logo colocados em porções uniformemente distribuídas para ser misturados com diferentes teores de cal. Adicionou-se a quantidade de cal seca com referência ao peso seco da amostra de solo. Realizou-se a mistura do solo com a cal de modo que a mistura ficasse a mais homogênea possível. Em seguida, foi adicionada uma porcentagem de água em peso, sendo esta porcentagem referente ao teor de água ótimo da mistura definida pelos pontos de moldagem.

As amostras para a moldagem dos corpos de prova foram compactadas estaticamente em duas camadas com um molde de aço inox com diâmetro interno de

50 mm, altura de 100 mm e espessura de 5mm, nas condições ótimas. Para assegurar o peso específico, foi realizado o cálculo do volume do molde e do peso de mistura úmida necessários para cada corpo de prova. Após esses cálculos, foram pesados a quantidade necessária para cada corpo de prova. Depois do processo de compactação, a amostra foi retirada do molde com a ajuda de um extrator hidráulico.

Os corpos de prova foram pesados em uma balança de precisão de 0,01 g e eram tomadas as dimensões do mesmo com o uso de um paquímetro de 0,1 mm de erro. Os corpos de provas extraídos foram envoltos com plástico transparente para assegurar a não perda da umidade. Por último, levou-se os corpos de prova para câmara úmida para processo de cura durante 30 dias a temperatura média de 25°C, para prevenir mudanças significativas no controle de umidade até o dia do ensaio. As amostras tinham que respeitar os seguintes erros máximos para serem usadas para o ensaio de compressão simples e tração por compressão diametral: dimensões das amostras com diâmetro de $\pm 0,5$ mm e altura de ± 1 mm, massa específica aparente seca (ρ) de $\pm 1\%$ e teor de umidade (w) de $\pm 0,5\%$.

Para a realização dos ensaios de compressão simples foi usada uma prensa automática com capacidade máxima de 10 kN com anéis calibrados para carga axial com capacidade de 4,5 kN e 10 kN. Os ensaios foram feitos com um sistema de coleta de dados automatizado, medindo, principalmente, a força aplicada, a deformação, com sensibilidade de 0,001 mm, e a velocidade (1 mm/s) do ensaio.

Os procedimentos dos ensaios de compressão simples seguiram a norma brasileira NBR 12770 (ABNT, 1992). A resistência a compressão simples é o valor da carga máxima de ruptura do material ou o valor da pressão correspondente à carga na qual ocorre deformação específica do cilindro de 20%, naqueles casos em que a curva tensão-deformação axial não apresenta um pico máximo. Adota-se a resistência à compressão não confinada ou simples (q_u) de acordo com a seguinte expressão, quando, no ensaio a curva tensão-deformação axial, alcança-se um pico máximo:

$$q_u = \frac{P_R}{A_T} \quad [1]$$

Onde P_R é a carga de ruptura no pico da curva tensão-deformação axial e A_T é a área transversal corrigida do corpo de prova. Para os ensaios de tração por compressão diametral foi usada a mesma prensa que se usou para os ensaios de compressão simples. O ensaio de tração por compressão diametral, também chamado de ensaio de tração indireta ou ensaio brasileiro, foi desenvolvido de maneira independente no Brasil e no Japão em 1943. O ensaio é realizado por meio da aplicação de uma carga de compressão em um corpo de prova cilíndrico que se encontra entre duas peças retangulares, com dimensões em função do diâmetro do corpo de prova, localizadas de maneira diametralmente opostas, conforme a Figura 2.

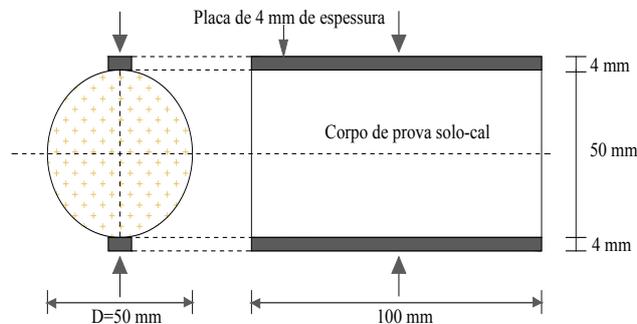


Figura 2- Corpo de prova solo-cal submetido ao ensaio de tração por compressão diametral

A resistência à tração por compressão diametral ou tração indireta é calculada com a seguinte expressão:

$$q_t = \frac{2 P_R}{\pi D L} \quad [2]$$

Onde P_R é a carga de ruptura no pico da curva tensão-deformação diametral, D e L são o diâmetro e o comprimento do corpo de prova, respectivamente. Os ensaios de resistência à tração indireta seguiram as recomendações da norma brasileira ASTM C496-96 (ASTM, 1996). Os corpos de prova para os ensaios de resistência à compressão e tração foram imersos em água destilada 24 horas antes dos testes com a finalidade de diminuir o efeito da sucção.

3.2 Pontos de moldagem

Os pontos de moldagem foram escolhidos de maneira que variasse a porosidade e o peso específico seco aparente dos corpos de prova para estudar o efeito da relação vazios/cal ou porosidade/teor volumétrico de cal sobre a resistência à compressão simples e tração por compressão diametral, tal e como proposto nos estudos de Consoli et al. (2012a, 2012b). Assim, o Quadro 2 apresenta os pontos de moldagem escolhidos para cada tipo de solo como também o número de corpos de prova.

Tipo de solo	Massa específica seca aparente (g/cm ³)	Teor de umidade de moldagem (%)	Teor de cal (sobre a massa seca do solo)	Corpos de prova (unidade)
Solo 1	1,38	28,5	3,5,7 e 9	72 (para q_t e q_u)
	1,52	20		
	1,62	22,5		
Solo 2	1,65	17,9	5, 7 e 9	18 (para q_t e q_u)
	1,50	21,9		
	1,35	27		
Solo 3	1,60	25	3, 5, 7 e 9	24 (para q_t e q_u)
	1,41			

Quadro 2- Pontos de moldagem e número de corpos de prova

3.3 Relações peso-volume dos corpos de prova solo-cal

Os corpos de prova moldados para a realização dos ensaios de resistência à compressão e à tração estão compostos por 4 fases volumétricas e de peso: solo, cal, água e ar. A quantidade de cal seca em pó (por exemplo: 3%, 5%, 7%, 9%) é adicionada em referência à massa seca do solo, sendo a massa seca dos sólidos do corpo de prova calculada como:

$$W_{ds} = W_d + W_d \left(\frac{L}{100} \right) \quad [3]$$

Onde W_{ds} é a massa seca dos sólidos (solo+cal), W_d é a massa seca do solo e L é a quantidade adicionada de cal em porcentagem. Então da Equação [3], W_d pode ser calculado como:

$$W_d = \frac{W_{ds}}{1 + \frac{L}{100}} \quad [4]$$

O valor de W_{ds} pode ser encontrado se a massa específica seca aparente de moldagem do corpo de prova (g_d) é multiplicado por seu volume (V_s). Assim, o valor de W_d resulta:

$$W_d = \frac{\gamma_d V_s}{1 + \frac{L}{100}} \quad [5]$$

Para encontrar o valor do volume de solo (V_{ss}) contido no corpo de prova, deve-se dividir a Equação [5] pela massa específica real dos grãos do solo (g_s). Onde g_s é G_{ss} multiplicado pela massa específica da água ($g_s = G_{ss} g_w$). O valor de V_{ss} resulta em:

$$V_{ss} = \frac{\frac{\gamma_d V_s}{1 + \frac{L}{100}}}{G_{ss} \gamma_w} \quad [6]$$

Da mesma maneira a massa da cal (M_L) pode ser calculado como uma porcentagem de W_d (Equação [5]). Assim, o volume da cal (V_L) também pode ser calculado se sua massa é dividida pela massa específica real dos grãos de cal γ_L ($\gamma_L = G_{sL} \gamma_w$):

$$V_L = \frac{\left(\frac{\gamma_d V_s}{1 + \frac{L}{100}}\right) \left(\frac{L}{100}\right)}{G_{sL} \gamma_w} \quad [7]$$

O valor da porosidade pode ser calculado como:

$$\eta = 100 - 100 \frac{V_{ss} + V_L}{V_s} \quad [8]$$

Colocando as Equações [6] e [7] na Equação [8] produz a expressão geral para determinar a porosidade de qualquer corpo de prova solo-cal:

$$\eta = 100 - 100 \frac{\frac{\left(\frac{\gamma_d V_s}{1 + \frac{L}{100}}\right) + \left(\frac{\gamma_d V_s}{1 + \frac{L}{100}}\right) \left(\frac{L}{100}\right)}{\gamma_{ss}} + \frac{\left(\frac{\gamma_d V_s}{1 + \frac{L}{100}}\right) \left(\frac{L}{100}\right)}{\gamma_{sL}}}{V_s} \quad [9]$$

O teor volumétrico de cal é definido como a razão entre volume cal pelo volume de um corpo de prova. L_v pode ser calculado com a Equação [10]:

$$L_v = \frac{100 \left(\left(\frac{V_s \gamma_d}{1 + L/100} \left(\frac{L}{100} \right) \right) / G_{sL} \right)}{V_s} \quad [10]$$

O teor volumétrico aumenta com o aumento do teor de cal enquanto a relação porosidade/teor volumétrico diminui. Assim, pode-se estabelecer segundo Consoli et al. (2012a) uma relação entre os vazios e cal denominada relação vazios/cal ou porosidade/teor volumétrico de cal:

$$\frac{\eta}{L_v} = \frac{V_v/V_s}{V_L/V_s} = \frac{V_v}{V_L} = \frac{\text{Volume de Vazios}}{\text{Volume de Cal}} \quad [11]$$

4 | RESULTADOS

A Figura 3 mostra os resultados dos ensaios de resistência à compressão simples e à tração indireta. Nota-se que a resistência à compressão simples varia entre 435 e 3010 kPa e a tração varia entre 65 e 520 kPa. A Figura 4 apresenta os resultados de tração e compressão simples do solo 2 tratado com cal; os valores de q_u variaram entre

190 e 1020 kPa e os valores de q_t variaram entre 20 e 110 kPa. Finalmente, a Figura 5 exibe os resultados de q_u e q_t do solo 3 misturado com cal mostrando valores de compressão entre 800 e 3800 kPa e de tração entre 115 e 425 kPa. Os valores de q_t e q_u foram estudados e plotados influenciados pela relação porosidade/teor volumétrico de cal obtida pela divisão das Equações [9] e [10]. A relação η/L_v constitui-se como o principal parâmetro que influencia nos valores de resistência de solos cimentados artificialmente (Consoli et al., 2012a; 2012b). Para fornecer uma melhor tendência dos pontos experimentais de resistência e obter um melhor coeficiente de determinação o valor do teor volumétrico de cal ajusta-se a um expoente C. O expoente C depende do tipo de solo e do tipo de agente cimentante. Na presente pesquisa o valor de C foi obtido entre 0,1 e 1,0 com variações de 0,01. Para o solo 1 o valor de C que forneceu o melhor ajuste para os pontos experimentais de tração e compressão foi de 0,20; para o solo 2 foi de 0,10 e para o solo 3 foi de 0,15 como pode ser visto nas Figuras 3, 4 e 5, respectivamente.

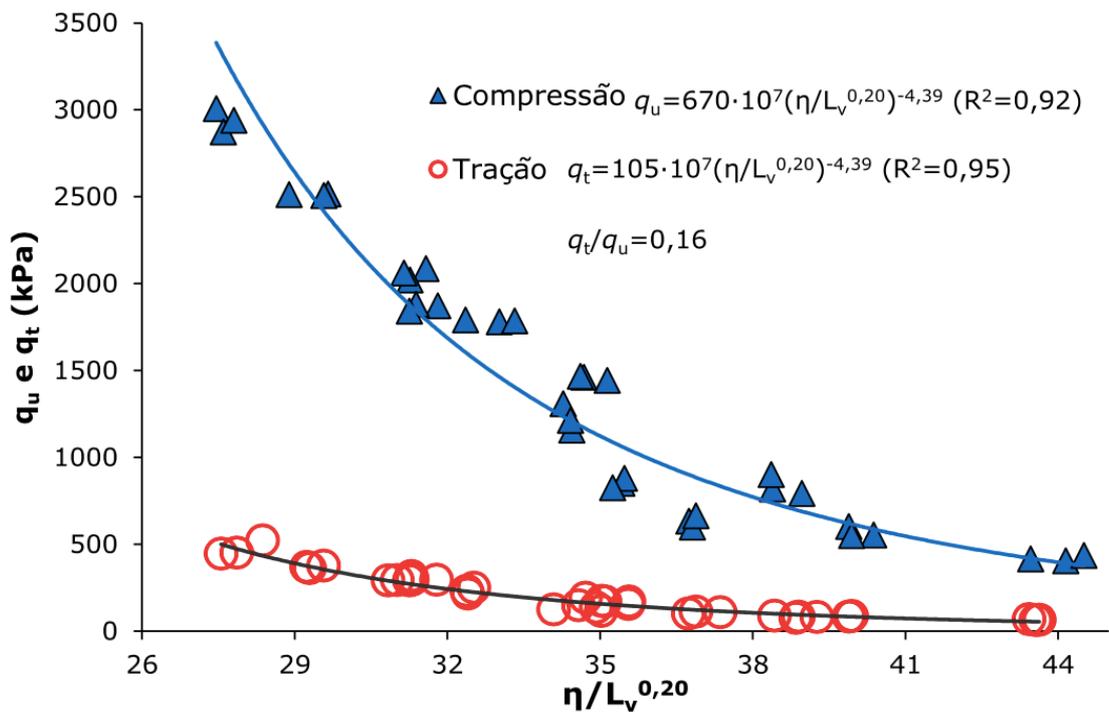


Figura 3- Relação tração/compressão do solo 1

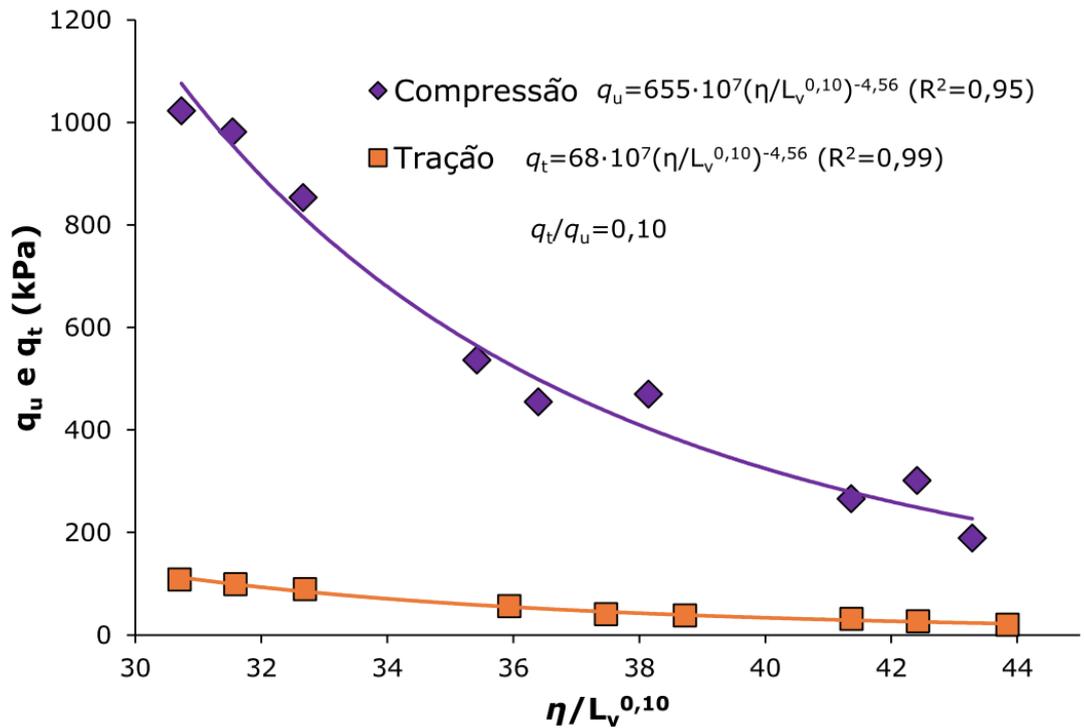


Figura 4- Relação tração/compressão do solo 2

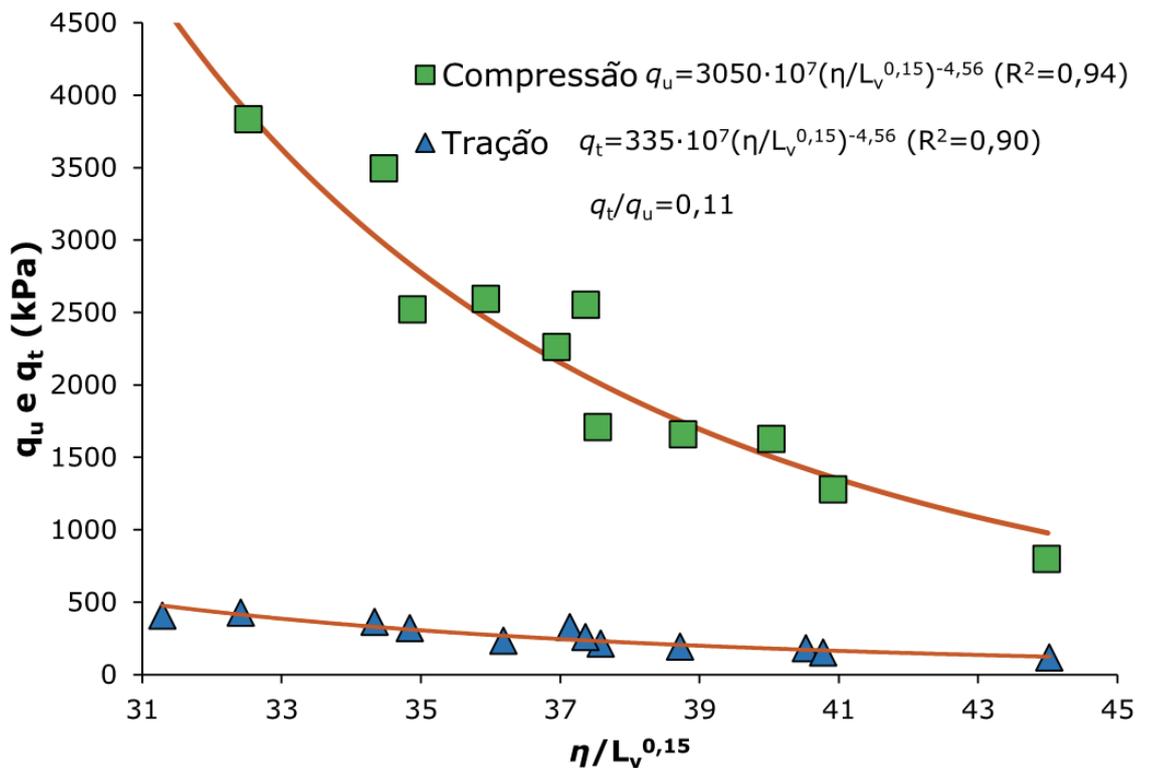


Figura 5- Relação tração/compressão do solo 3

As Figuras 3-5 exibem um crescimento da resistência à tração e à compressão simples com a diminuição da relação vazios cal ajustada a um expoente C (η/L_v^C). O uso de η/L_v^C fornece excelentes ajustes (coeficientes de determinação entre 0,90 e 0,99) da evolução de q_u e q_t . A evolução de q_u e q_t é descrita por uma equação potencial que segue a forma:

$$q_u \text{ ou } q_t = A \left(\frac{\eta}{L_v^C} \right)^{-B} \quad [12]$$

onde A e B são constantes dependentes dos ajustes matemáticos. Segundo Baldovino et al. (2018) e Consoli et al. (2012b) o valor de A cresce com o tempo de cura, o que significa que as resistências q_t e q_u também aumentam, já o valor de B fica constante com o tempo de cura. Assim, se a tração e a compressão simples seguem a mesma equação, pode-se determinar um cociente q_t/q_u para cada tipo de solo estudado. Ao realizar a operação matemática o valor $(\eta/L_v^C)^{-B}$ é eliminado pela divisão sendo o valor de q_t/q_u dependente da constante A em função da tração $f(q_t)$ e da compressão simples $f(q_u)$:

$$\frac{q_t = A_{f(q_t)} \left(\frac{\eta}{L_v^C} \right)^{-B}}{q_u = A_{f(q_u)} \left(\frac{\eta}{L_v^C} \right)^{-B}} \rightarrow q_t/q_u = \frac{A_{f(q_t)}}{A_{f(q_u)}} \quad [12]$$

As Figura 3, 4 e 5 apresentam a forma da Equação [12] tanto para tração como para compressão. Obteve-se para cada tipo de solo uma relação empírica única tração/compressão com o uso da relação (η/L_v^C) . Assim, para o solo 1 valor encontrado de q_t/q_u foi de 0,16; para o solo 2 foi de 0,10 e para o solo 3 de 0,11. Ou seja, o valor da tração indireta representa um 16%, 10% e 11% do valor da compressão simples para o solo 1, 2 e 3, respectivamente.

Outra forma de representar um crescimento único da resistência q_u e q_t dos três tipos de solos é mediante a normalização das resistências. A normalização é obtida dividindo a Equação [12] por um valor específico arbitrário de resistência à compressão simples e à tração, correspondente a um valor de um dado ajustado de porosidade, $\eta/L_v^C = \Omega$, que leva a:

$$\frac{q_u}{q_u \left(\frac{\eta}{L_v^C} = \Omega \right)} \text{ ou } \frac{q_t}{q_t \left(\frac{\eta}{L_v^C} = \Omega \right)} = \frac{A \left(\eta/L_v^C \right)^{-B}}{A \left(\Omega \right)^{-B}} = \left(\Omega \right)^B \left(\eta/L_v^C \right)^{-B} \quad [13]$$

O valor de Ω pode ser escolhido da faixa de η/L_v^C média dos três tipos de solos. Para o presente trabalho foi escolhido o 35. Assim, com o valor de $W = 35$, a Equação [13] se converte em:

$$\frac{q_u}{q_u \left(\frac{\eta}{L_v^C} = 35 \right)} \text{ ou } \frac{q_t}{q_t \left(\frac{\eta}{L_v^C} = 35 \right)} = A \left(\eta/L_v^C \right)^{-B} \quad [14]$$

Cada valor real de q_t e q_u deve ser dividido pela sua respectiva resistência de normalização resultante de valor específico de $\eta/L_v^C=35$ e calculado com as expressões que seguem a forma da Equação [12] para cada um dos solos.

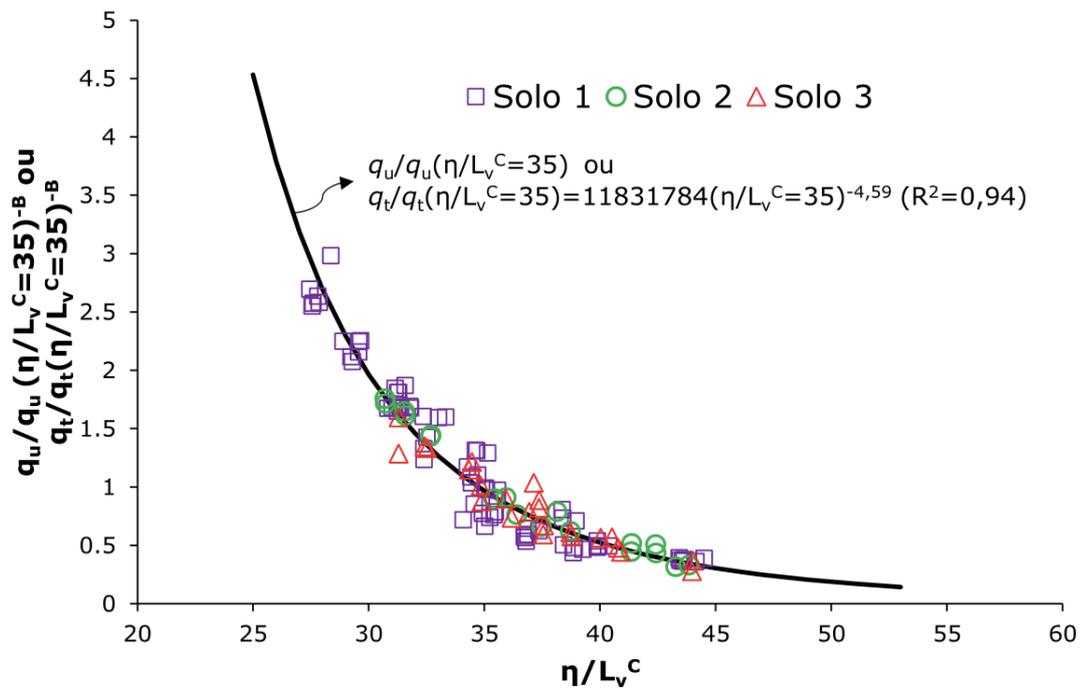


Figura 6- Normalização das resistencias dos solos

Os valores de resistência normalizada para o solo 1 são então: 1115,9 e 174,9 kPa para compressão e tração, respectivamente. Para o solo 2, as resistências de normalização são: 596,1 e 61,9 kPa para compressão e tração, respectivamente; e finalmente para o solo 3 as resistências de normalização são: 2876,1 e 315,9 kPa para compressão e tração, respectivamente. Quando cada valor experimental de resistência é dividido pela sua respectiva resistência de normalização é obtido um valor cociente. Os valores cocientes de compressão e tração indireta dos três tipos de solos estudados formam uma mesma tendência potencial descrita pela Equação [14] e mostrada na Figura 6 junto com a normalização das resistências. Assim, a Equação [14] converte-se e, uma equação única que descreve o comportamento de q_t e q_u para os três solos:

$$\frac{q_u}{q_u\left(\frac{\eta}{L_v^C}=35\right)} \text{ ou } \frac{q_t}{q_t\left(\frac{\eta}{L_v^C}=35\right)} = 11831784\left(\frac{\eta}{L_v^C}\right)^{-4,59} \quad [15]$$

A Equação [15] pode ser empregada para estimar a resistência de qualquer dos 3 tipos de solos estudados com o uso da relação η/L_v^C ou pode estender-se a outro

tipo de solos da Formação Guabirotuba com similar granulometria, limites de Atterberg e massa específica real dos grãos. Para o uso da Equação [15], o parâmetro C deve ser calculado para determinado solo. O valor de C está relacionado diretamente com o tipo de solo e tipo de agente cimentante.

5 | CONCLUSÕES

Dos resultados e das análises apresentadas no trabalho pode concluir-se que a adição de cal faz aumentar a resistência à tração indireta e à compressão simples de três tipos de solos da Formação Guabirotuba. O emprego da relação vazios/cal forneceu uma melhor tendência dos pontos experimentais podendo-se estabelecer uma relação única de tração/compressão para tipo de solo que variou entre 0,10 e 0,16. Por outra parte foi demonstrado que a diminuição dos vazios nas amostras e o aumento do volume de cal nos corpos de prova faz aumentar q_u e q_t . Finalmente, uma equação geral de estimativa da resistência dos três tipos de solo foi calculada com o uso da relação $\eta/L_v^C=35$ e que pode estender-se como uma relação única, haja vista que apresentou um bom coeficiente de determinação (0,94).

AGRADECIMENTOS

Os autores demostram agradecimento ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (PPGEC/UTFPR), ao suporte financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação Araucária do Paraná e ao CNPq.

REFERÊNCIAS

Abd El-Aziz, M. A., e Abo-Hashema, M. A. (2013). Measured effects on engineering properties of clayey subgrade using lime–Homra stabiliser. *International Journal of Pavement Engineering*, 14(4), 321-332.

Alrubaye, A. J., Hasan, M., e Fattah, M. Y. (2017). Stabilization of soft kaolin clay with silica fume and lime. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 11(1), 90-96.

ASTM (2000). *ASTM D2487*: “Standard classification of soils for engineering purposes (unified soil classification system)”. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM (2010). *ASTM D4318*: “Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils”. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM (2014). *ASTM D854*: “Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer”. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM, C. (2004). 496/C 496M-04. *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*.

- Baldovino, J. A., Moreira, E. B., Teixeira, W., Izzo, R. L., e Rose, J. L. (2018). Effects of lime addition on geotechnical properties of sedimentary soil in Curitiba, Brazil. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 10(1), 188-194.
- Belchior, I. M. R. M., Casagrande, M. D. T., e Zornberg, J. G. (2017). Swelling Behavior Evaluation of a Lime-Treated Expansive Soil through Centrifuge Test. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(12), 04017240.
- Bourokba Mrabent, S. A., Hachichi, A., Souli, H., Taibi, S., e Fleureau, J. M. (2017). Effect of lime on some physical parameters of a natural expansive clay from Algeria. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 21(1), 108-125.
- Consoli, N. C., Corte, M. B., e Festugato, L. (2012). Key parameter for tensile and compressive strength of fibre-reinforced soil–lime mixtures. *Geosynthetics International*, 19(5), 409-414.
- Consoli, N. C., Dalla Rosa Johann, A., Gauer, E. A., Dos Santos, V. R., Moretto, R. L. e Corte, M. B. (2012). Key parameters for tensile and compressive strength of silt–lime mixtures. *Géotechnique Letters*, 2(3), 81-85.
- De Brito Galvão, T. C., Elsharief, A. e Simões, G. F. (2004). Effects of lime on permeability and compressibility of two tropical residual soils. *Journal of environmental engineering*, 130(8), 881-885.
- Emarah, D. A. e Seleem, S. A. (2017). Swelling soils treatment using lime and sea water for roads construction. *Alexandria Engineering Journal*.
- Ingles, O. G. e Metcalf, J. B. (1972). *Soil stabilization principles and practice* (Vol. 11, No. Textbook).
- Johann, A. D. R. (2013). Metodologias para a previsão do comportamento mecânico e para a análise da variação da porosidade de um solo siltoso tratado com cal em diferentes tempos de cura. Tese (Doutorado em PPGE) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.
- Mohd Yunus, N. Z., Wanatowski, D., Marto, A. e Jusoh, S. N. (2017). Strength improvement of lime-treated clay with sodium chloride. *Geotechnical Research*.
- Novaes, J. F. (2016). Misturas cinza volante-cal de carbureto: durabilidade, resistência à tração e compressão. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.
- Ola, S. A. (1978). Geotechnical properties and behaviour of some stabilized Nigerian lateritic soils. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 11(2), 145-160.
- Robin, V., Javadi, A. A., Cuisinier, O. e Masrouri, F. (2015). An effective constitutive model for lime treated soils. *Computers and Geotechnics*, 66, 189-202.
- Schanz, T. e Elsayy, M. B. (2017). Stabilisation of highly swelling clay using lime–sand mixtures. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, 170(4), 218-230.
- Thompson, M. R. (1965). Split-tensile strength of lime-stabilized soils. *Highway Research Record*, (92).
- Thyagaraj, T., e Zodinsanga, S. (2014). Swell–shrink behaviour of lime precipitation treated soil. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, 167(4), 260-273.
- Townsend, F. C., Manke, P. G. e Parcher, J. V. (1971). The influence of sesquioxides on lateritic soil properties. *Highway Research Record*, (374).

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



9 788572 474306