

## Análise do comportamento mecânico de misturas solo-resíduo-cal

## Analysis of mechanical behavior of soil-residue-lime mixtures

### RESUMO

**Andressa Leite Rodrigues**  
[arodrigues@alunos.utfpr.edu.br](mailto:arodrigues@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

**Amanda Dalla Rosa Johann**  
[amandajohann@utfpr.edu.br](mailto:amandajohann@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Em obras geotécnicas, em alguns casos o solo local apresenta propriedades insatisfatórias, que por ser um material complexo e muito variável, torna-se inviável o seu uso na engenharia. Nestes casos, uma solução a ser utilizada é a técnica de estabilização artificial de solos através da adição de substâncias que melhoram as propriedades do mesmo, como cal ou cimento. A presente pesquisa selecionou certa quantidade de um solo oriundo da Formação Guabirota para estabilização artificial do mesmo com cal hidratada em pó do tipo CH-III e resíduo de cerâmica vermelha (RCV). Os teores de cal adotados foram de 0%, 3%, 5%, 7% e 9%, e 0% e 15% de RCV, em relação a massa do solo seco, totalizando 6 misturas. As misturas foram submetidas ao ensaio de resistência à tração (qt). Todas as misturas solo-cal apresentaram ganhos significativos de qt em relação ao solo natural compactado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Solo cal. Solo-RCV-cal. Resistência à tração.

**Recebido:** 19 ago. 2019.

**Aprovado:** 01 out. 2019.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



### ABSTRACT

In geotechnical works, in some cases the local soil has unsatisfactory properties, which is a complex and highly variable material, making its use in engineering impossible. In these cases, a solution to be used is the technique of artificial soil stabilization with the addition of substances that improve soil properties, such as lime or cement. This research selected a certain amount of soil from the Guabirota Formation for artificial stabilization with hydrated lime type CH-III and red ceramic residue (RCV). The lime contents adopted were 0%, 3%, 5%, 7% and 9%, and 0% and 15% of RCV, relative to dry soil mass, totaling 6 mixtures. The mixtures were subjected to tensile strength (qt) test. All soil-lime mixtures showed significant qt gains over compacted natural soil.

**KEYWORDS:** Solo-lime. Soil-RCV-lime. Tensile strength.

## INTRODUÇÃO

Em obras geotécnicas, em alguns casos o solo local apresenta propriedades insatisfatórias, que por ser um material complexo e muito variável, torna-se inviável o seu uso na engenharia. Nestes casos, uma solução a ser utilizada é a técnica de estabilização artificial de solos através da adição de substâncias que melhoram as propriedades do mesmo, como cal ou cimento.

A resistência à tração de solos tem sido determinada através de métodos que utilizam a aplicação de outros esforços que não os de tração direta e correlacionam os resultados obtendo indiretamente o valor desejado. Em ensaios de determinação direta da tração há problemas relacionados à forma de prender as amostras nas extremidades para que possam ser tracionadas. Isto provoca a concentração de tensões no corpo de prova (DALLA ROSA JOHANN, 2013).

Rissardi (2016), que estudou um solo da Formação estabilizado com cal, observou, através de ensaios de tração indireta que a cal proporcionou um aumento da resistência à tração do solo, em todas as misturas estudadas.

Dranka (2016) descreve em sua pesquisa que ao adicionar resíduo de cerâmica velha (RCV), provenientes da demolição de telhas cerâmicas, em um solo também da Formação Guabirotuba fez a plasticidade e expansão do mesmo reduzirem, além de aumentar os valores do índice de suporte Califórnia.

O objetivo geral deste trabalho é analisar a resistência à tração por compressão diametral de um solo oriundo da formação Guabirotuba estabilizado com cal hidratada e resíduo de cerâmica vermelha (RCV), através da moldagem de amostras, com diferentes teores de cal.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O solo analisado em todos os ensaios foi coletado no município de Curitiba/PR, próximo a UTFPR/Ecoville. A amostra foi destorroada e colocada na estufa por um período de 24h para ser utilizada no estado seco.

O resíduo utilizado nesta pesquisa foi o mesmo utilizado por Dranka (2016), obtido de uma residência em demolição, sendo todas as telhas do modelo francesa (planas de encaixe). Essas peças foram depositadas em uma estufa por 24 horas para que perdessem a umidade e assim facilitasse o processo de beneficiamento (britagem) do resíduo. A cal utilizada foi do tipo hidratada CH-III.

Foi utilizada água destilada nos ensaios de caracterização e moldagem dos corpos de prova. Após a preparação dos materiais foi realizada a mistura solo-RCV-cal, mantendo o mesmo teor de cerâmica para diferentes teores de cal, para analisar o comportamento geotécnico do solo. Os teores de cal adotados foram de 0%, 3%, 5%, 7% e 9%, e 0% e 15% de RCV, em relação a massa do solo seco, totalizando 6 misturas.

A NBR 7182/1986 prescreve a preparação das amostras de solo para os ensaios de compactação nas 3 energias (normal, intermediária e modificada). Com

base nos parâmetros (peso específico aparente seco máximo e umidade ótima) obtidos na curva de compactação Proctor (energia normal) do solo natural foi realizada a moldagem dos corpos de prova das misturas solo-RCV-cal.

Após a pesagem dos materiais e realizada a mistura, foi adicionada a água destilada até obter homogeneidade. Após realizada a mistura, a composição foi armazenada em um recipiente lacrado. Três amostras de cada mistura foram retiradas para verificação da umidade. A amostra foi compactada em um molde cilíndrico (100x50mm), de modo que cada mistura atingisse o seu peso específico aparente seco desejado. Após realizada a moldagem, a amostra foi extraída e teve seu peso, altura e diâmetro medidos para verificação dos parâmetros desejados. As amostras foram envoltas em filme plástico PVC e colocadas em câmara úmida para o tempo de cura de 28 dias. Foram moldados 3 corpos de prova para cada mistura. Ao todo foram moldados 18 corpos de prova.

Para esta pesquisa foi utilizado o ensaio de resistência à tração por compressão diametral baseado na NBR 7222/1994, o qual consiste no carregamento de amostras cilíndricas no sentido de seu diâmetro. A resistência à tração é determinada através da Equação 1:

$$qt = \frac{2.P}{\pi.D.H} \quad (1)$$

Onde:

qt: resistência à tração;

P: carga máxima suportada pelo corpo de prova;

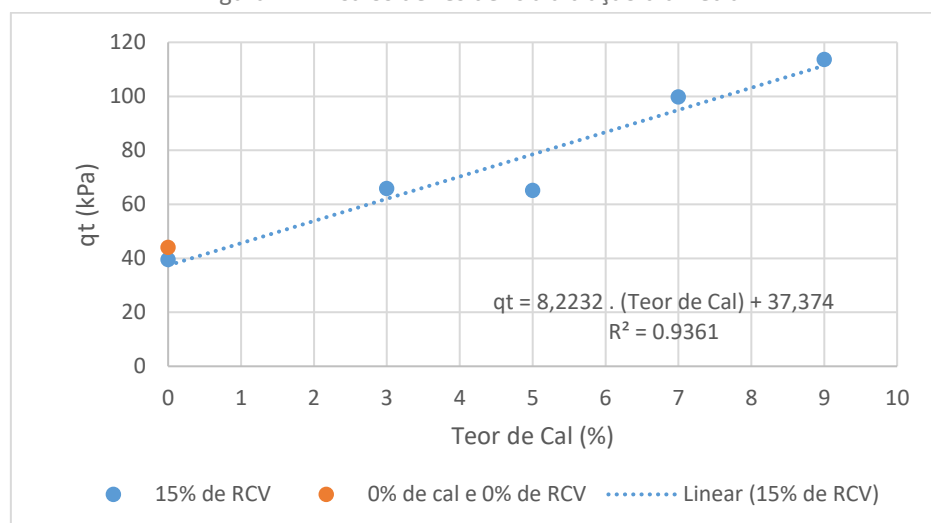
D: diâmetro do corpo de prova, e;

H: altura do corpo de prova.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores médios de resistência à tração diametral (qt) das misturas solo-RCV-cal são apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Ensaio de resistência à tração diametral



Fonte: Autor, 2019

Na Figura 1, observa-se que apenas a incorporação de RCV no solo proporcionou uma redução da resistência do solo natural, porém, quando a cal é incorporada, nota-se um aumento da resistência à tração diametral.

O solo estudado nesta pesquisa também foi estudado por Rissardi (2018), que identificou o solo como predominantemente fino (55% de silte e argila), e por Lacerda (2019). Lacerda (2019) ao incorporar cal e resíduo de polimento cerâmico ao solo, observou ganhos nos valores de resistência à compressão simples das amostras, tanto para adição apenas do resíduo (diferente do que ocorreu para esta pesquisa) como para as amostras com combinação de resíduo e cal (semelhante ao que ocorreu nesta pesquisa).

Outros autores (Dalla Rosa, 2009; Dourado, 2013; Julio, 2019), que estabilizaram diferentes solos com cal, também verificaram que a incorporação da cal promove o aumento das propriedades mecânicas do solo, como observado nesta pesquisa.

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados, as misturas solo-RCV-cal se apresentam como uma alternativa técnica viável para o melhoramento de solos. As amostras com adição de cal e de RCV apresentaram um acréscimo de até 2,6 vezes a resistência à tração diametral do solo natural.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UTFPR pela realização desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: Solo - Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, RJ. 1986. 10p.

\_\_\_\_\_. NBR 7222: Argamassa e Concreto Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral de Corpos de prova Cilíndricos, Rio de Janeiro, 1994. 8p.

DALLA ROSA, Amanda. Estudo dos parâmetros-chave no controle da resistência de misturas solo-cinza-cal. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS, 2009. 198 p.

DALLA ROSA JOHANN, Amanda. 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 (Programa de

Pós-Graduação em Engenharia Civil) – UFRS Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2013. 271 p.

DOURADO, Igor Nunes. Avaliação da aplicabilidade de cinzas de fundo de resíduo sólido urbano (RSU) em camadas de pavimento. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2013.

DRANKA, Ricardo Bazzani. Melhoramento de Solo com uso de Telha Cerâmica Moída Oriunda de Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil – UTFPR, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, PR. 2016. 95 p.

JULIO, Estela Bonagurio. Análise do efeito da compactação – energia modificada - em um solo com adição de cal e cimento. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019. 69 p.

LACERDA, Leonardo Araújo de. Análise do Comportamento Mecânico de um Solo Fino Tratado com Resíduo de Polimento Cerâmico e Cal. 2019. 73f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

RISSARDI, João Luiz. Análise da Resistência à Tração de um Solo da Formação Guabirota Estabilizado com Cal. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil – UTFPR, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, PR. 2016. 88 p.

RISSARDI, João Luiz. Caracterização - Solo Vermelho. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <rissardi@alunos.utfpr.edu.br> em 10 outubro 2018.