

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
15 a 18 de Setembro de 2020 – Campinas - SP



Avaliação Do Compósito Solo-Cal Como Camada Constituinte Em Pavimento Urbano

Gabrieli Hoffmann Weis

Docente, UDC, Foz do Iguaçu, Brasil, gabrielihweis@gmail.com

Eduardo Damin

Discente, UDC, Foz do Iguaçu, Brasil, eduardodamin@gmail.com

RESUMO: O solo possui grande valia nas atividades de construção civil e engenharia rodoviária, para tanto é necessário que o mesmo apresente propriedades físicas e mecânicas capazes de suportar as cargas e esforços aos quais serão submetidos. Para esquivar-se de situações de capacidade de suporte insuficientes é de suma importância o conhecimento de técnicas de melhoramento e estabilização de solos. A estabilização química é utilizada para modificar as características dos solos com a utilização de aditivos. A cal como aditivo na estabilização química de solos é um dos métodos mais antigos, quando misturada ao solo produz reações físico-químicas capazes de alterar as propriedades do solo promovendo sua estabilização e ganho de resistência. Nesse sentido o presente estudo tem por objetivo analisar a influência da cal no solo da região oeste do Paraná. O compósito solo-cal foi analisado na proporção de 5,6%, definido pelo método de pH proposto por Eades e Grim como sendo o teor ótimo. Os dados obtidos apontam um aumento de resistência em relação ao solo in natura de 12,26%, demonstrando que a adição da cal ocasiona mudanças imediatas para o solo, tornando-se uma alternativa tecnicamente viável para aplicação em reforços de subleito e sub-bases de pavimentos urbanos.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilização, Solo-Cal, Pavimento.

ABSTRACT: The soil has great value in the activities of civil construction and road engineering, so it is necessary that it has physical and mechanical properties capable of supporting the loads and efforts to which they will be submitted. In order to avoid situations of insufficient support capacity, knowledge of soil improvement and stabilization techniques is of utmost importance. Chemical stabilization is used to modify soil characteristics with the use of additives. Lime as an additive in the chemical stabilization of soils is one of the oldest methods, when mixed with the soil it produces physical-chemical reactions capable of altering the properties of the soil promoting its stabilization and resistance gain. In this sense, the present study aims to analyze the influence of lime on the soil of western Paraná. The soil-lime composite was analyzed in the proportion of 5.6%, defined by the pH method proposed by Eades and Grim as being the optimum content. The data obtained point to an increase of resistance in relation to the natural soil of 12.26%, demonstrating that the addition of lime causes immediate changes to the soil, becoming a technically viable alternative for application in reinforcements of subgrade and sub-bases of urban pavements.

KEYWORDS: Stabilization, Soil-Lime, Pavement.

1 Introdução

O solo é um material abundante, de fácil obtenção e manuseio que pode ser empregado em várias áreas da engenharia. No entanto é comum que o solo de determinadas regiões não atenda às exigências de projeto, tendo baixa capacidade de suporte. Quando isso acontece existem três soluções a serem analisadas:

- Adaptação do projeto para uso do solo local.
- Substituição do solo local por outro que atenda as exigências do projeto.
- Alteração das propriedades do solo local gerando um solo com novas características que atendam às exigências de projeto.



A primeira opção gera um alto custo de projeto e execução, a segunda se torna inviável pelo gasto com a movimentação de terra, além da necessidade de um local para despejo do solo retirado e o transporte do solo que será colocado no lugar. A terceira opção é a que tem se mostrado mais viável técnica e economicamente.

Para alteração das propriedades do solo é de suma importância que se tenha conhecimento das suas características e das técnicas de melhoramento e estabilização para que se possa escolher a melhor técnica a ser utilizada.

Existem duas técnicas que podem ser utilizadas para estabilização de solos, a primeira emprega meios mecânicos tais como a correção da granulometria e plasticidade. O segundo emprega meios químicos utilizando aditivos como a cal.

A cal como aditivo na estabilização química de solos é um dos métodos mais antigos, podendo ser aplicado de várias maneiras. Segundo Thomé (1994) a cal quando misturada ao solo produz reações físico-químicas capazes de alterar as propriedades do solo, apresentando melhorias na trabalhabilidade, plasticidade e variação de volume.

O presente estudo visa analisar os teores de cal adequados para estabilização de solo característico da região Oeste do Paraná classificado pela EMBRAPA (2006) como latosso vermelho distroférico para uso como base e/ou sub-base de pavimento.

2 Base Teórica

A malha rodoviária do país que é responsável por mais de 60% da movimentação de mercadorias e mais de 90% da movimentação de passageiros enfrenta grandes problemas com a baixa qualidade de infraestrutura, sendo apenas 12,4% pavimentada (CNT 2018).

No Brasil a execução dos pavimentos é feita através de métodos convencionais, tendo uma grande aplicação de materiais pétreos, tornando-se inviável economicamente para as vias urbanas onde o tráfego é leve e/ou médio (VILLIBOR *et al.*, 2009).

Para reduzir custos e promover uma maior abrangência da malha rodoviária pode-se utilizar os recursos locais e novas técnicas de aplicação, entretanto nem sempre o solo da região possui capacidade de suporte para resistir aos esforços solicitados sendo necessária a modificação das características do solo local, seja por estabilizações químicas ou mecânicas.

Segundo Nunez (1991) a cal como aditivo no tratamento de solos é o mais antigo método de estabilização química, podendo ser aplicado nas mais diversas obras de engenharia. Quando misturada ao solo a cal produz reações físico-químicas, alterando favoravelmente propriedades do solo como a granulometria, plasticidade, umidade de campo, peso específico seco, trabalhabilidade, compactação e resistência (GUIMARÃES, 1998).

Solo-cal pode ser definido como a mistura compactada de solo, cal e água, geralmente utilizada quando não se dispõe de solo local com as características necessárias para o projeto. Segundo Ingles e Metcalf (1972) na engenharia rodoviária o solo-cal é utilizado como base e sub-base de pavimentos.

3 Metodologia

Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho, foram utilizados os seguintes materiais: solo residual classificado como latosso vermelho distroférico segundo a EMBRAPA (2006), cal hidratada conhecida comercialmente como CH – III, água destilada e água proveniente da companhia de abastecimento público – SANEPAR.

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção e Estruturas no Centro Universitário Dinâmica das Cataratas – UDC, sendo o trabalho experimental dividido em: produção do concreto no laboratório, moldagem e compactação dos corpos de prova e avaliação das propriedades hidráulicas e mecânica.

3.1 Dosagem de Cal

A dosagem ideal da cal foi determinada através do método de PH regido pela norma D6276 – 99ª ASTM (2006) e proposto por Eades e Grim em 1966. Segundo o método o teor ótimo de cal é a mínima porcentagem que resulte em um pH igual a 12,4.

A execução do ensaio consiste em:

- Selecionar de uma amostra de solo de 25 gramas passante na peneira nº. 40 e seco em estufa;
- Adicionar 8 teores de cal ao solo 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9%, em função da amostra de solo seco e uma amostra somente com 2 gramas de cal saturado;
- Adicionar 100 ml de água destilada a mistura solo cal;
- Agitar os recipientes por um período de 30 segundos a cada 10 minutos até completar uma hora de ensaio.
- Após completar uma hora de ensaio, espera-se 15 minutos e coleta os resultados das amostras com precisão de 0,01 unidades de pH.

3.2 Ensaio de Compactação

O ensaio de compactação foi realizado conforme preconiza a NBR 7182 (ABNT, 1986), sendo os corpos de provas ensaiados utilizando cilindros pequenos e aplicando a energia de compactação normal.

Tabela 1. Energias de Compactação. Adaptado de: NBR 7182 (1986)

Cilindro	Características inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Pequeno	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
	Número de camadas	3	3	5
	Número de golpes por camada	26	21	27
Grande	Soquete	Grande	Grande	Grande
	Número de camadas	5	5	5
	Número de golpes por camada	12	26	55
	Altura do disco espaçador (mm)	63,5	63,5	63,5

Para o ensaio foi utilizado o solo previamente preparado conforme NBR 6457 (ABNT, 2016), com secagem previa até a umidade higroscópica seca ao ar, sem reuso de material.

Com o auxílio de proveta de vidro adicionou-se água destilada ao solo até obter uma umidade 5% a baixo da umidade ótima, nas amostras seguintes foi acrescentado 2% de água com relação a amostra anterior. Com o solo homogeneizado moldou-se os corpos de prova, compactando e aplicando a quantidade de golpes conforme a Tabela 1. Após a compactação da última camada o cilindro complementar foi retirado e o excesso de solo removido com a ajuda de uma espátula e nivelado com a régua biselada. O conjunto solo e cilindro foi pesado com resolução de 1 grama e subtraído o peso do cilindro obtendo o peso úmido do solo compactado (Ph).

Enquanto compactava-se a segunda camada eram coletadas amostras direto da bandeja para determinação da umidade de acordo com a NBR 6457.

Este procedimento foi executado para o solo in natura e para o teor ótimo de cal (5,60%).

Para determinar o peso específico aparente úmido (γ) foi utilizado a equação 4.

Eq. (1)

$$\gamma = \frac{Ph}{V}$$

γ - Peso específico aparente úmido, em Kn/cm³;

Ph - Peso úmido do solo compactado, em g;

V - Volume útil do molde cilíndrico, em cm³.

Para determinar o peso específico aparente seco (γ_s) foi utilizado a equação 5.

Eq. (2)

$$\gamma_s = \frac{Ph \times 100}{V(100 + h)}$$

γ_s = Massa específica aparente seca, em Kn/cm^3 .

Ph = Peso úmido do solo compactado, em g.

V = Volume útil do molde cilíndrico, em cm^3 .

h = Teor de umidade do solo compactado, em %.

3.3 Ensaio de compressão não confinada

O ensaio de compressão não confinada foi executado na prensa hidráulica com anel dinamométrico, capaz de aplicar uma carga de 1 Tonelada conforme preconizando a NBR 12770 (ABNT, 1992).

Para execução do ensaio fez-se uma adaptação quanto ao tamanho do corpo de prova. A norma pede que seja utilizado corpo de prova com diâmetro mínimo de 35mm e a relação altura-diâmetro deve estar entre 2 e 2,5, mas pela disponibilidade foram utilizados os mesmos copos de prova utilizado para o ensaio de compactação, tendo 10 cm de diâmetro e 12,75 cm de altura.

O ensaio foi executado para o solo in natura e para o teor ótimo de cal (5,60%), sem tempo de cura.

4 Resultados e Discussões

4.1 Dosagem de cal

O ensaio foi procedido conforme descrito no item 3.1. Segundo o método utilizado o teor ótimo de cal é a mínima porcentagem que resulte em um pH igual a 12,4.

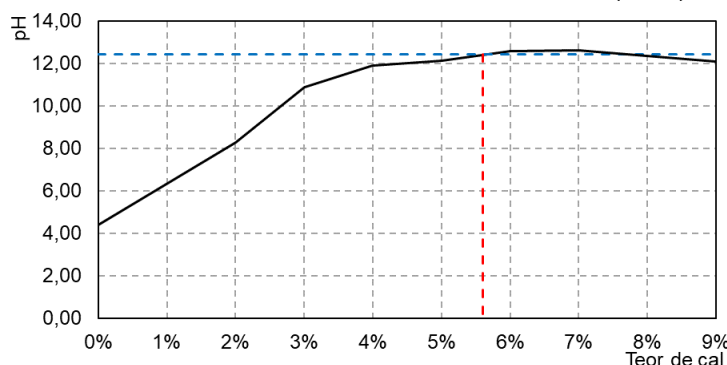
Na tabela 2 podemos observar o resultado do ensaio de pH.

Tabela 2. Ensaio de pH.

Teor de cal	0%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	2 (g)
Resultado pH	4,39	8,27	10,86	11,89	12,11	12,56	12,60	12,36	12,06	12,58

O Gráfico 1 apresenta a variação do pH de acordo com o acréscimo de porcentagem de cal adicionado ao solo, e o valor de pH de referência de 12,4. Analisando-o e executando o cálculo de terceiro grau é possível determinar que o teor ideal para estabilizar a do solo do Oeste do Paraná é de 5,60% de cal, estando de acordo com os teores propostos pelo DNIT (2006) de 5% a 6%.

Gráfico 1 – Ensaio de Ph. Fonte: AUTORES (2019)



4.2 Ensaio de Compactação

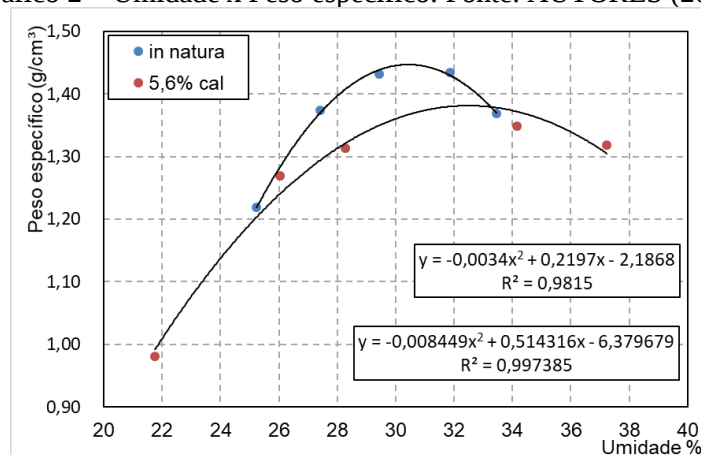
A execução do ensaio de compactação foi realizada conforme descrito no item 3.1.8. A determinação da umidade ótima ($h_{ót}$) do solo foi obtida por meio da equação 1.

Pode-se observar um aumento da umidade ótima do solo com a adição de cal em relação ao solo in natura, segundo a bibliografia esse efeito é explicado pela troca de bases ocasionadas na mistura solo-cal, gerando uma diminuição da camada de água entre as partículas de argila (GUIMARÃES, 2002; MALLELLA, QUINTUS e SMITH, 2004; NLA et al., 2006).

O

Gráfico 2 apresenta a relação entre a umidade em porcentagem e o peso específico aparente seco γ_s obtido através da equação 5.

Gráfico 2 – Umidade x Peso específico. Fonte: AUTORES (2019)

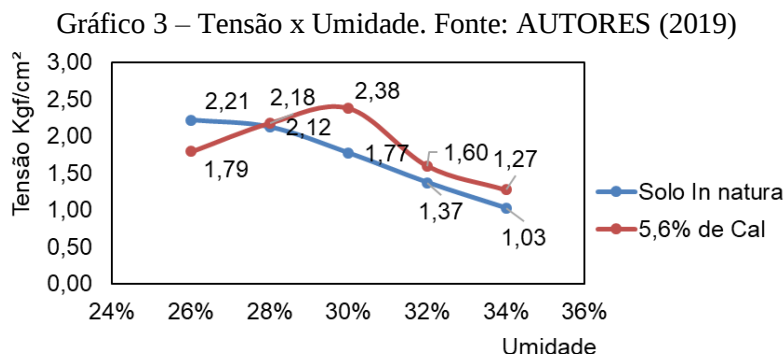


Observa-se um decréscimo no peso específico aparente seco da mistura solo-cal em relação ao solo in natura, demonstrando que a cal gera reações rapidamente após sua aplicação em solos argilosos, cimentando e preenchendo os espaços intercrystalinos do solo, tornando grãos de solo mais grossos, friáveis e permeáveis como era esperado de acordo com (GUIMARÃES, 2002; MALLELLA, QUINTUS e SMITH, 2004; NLA et al., 2006).

4.3 Ensaio de Compressão Não Confinada

O ensaio de compressão não confinada foi executado conforme descrito no item 3.1.9. Foram ensaiados 5 CPs para o solo in natura e 5 CPs com o teor ideal de cal (5,6%), cada corpo de prova foi moldado com um teor de umidade diferente.

No Gráfico 3 podemos analisar a mudança de comportamento para cada teor de umidade. Nota-se que para o solo in natura o aumento de umidade resulta em uma menor tensão de ruptura, já na mistura solo-cal a resistência cresce até um determinado teor de umidade a partir do qual começa a decrescer.



5 Considerações Finais

Nas análises realizadas no item 4, o solo se mostrou suscetível às reações com a cal hidratada, satisfazendo os critérios do método de pH com 5,60% de cal. Pôde-se verificar que a adição da cal ocasionou mudanças imediatas para o solo. Sendo perceptível o aumento da umidade ótima paralelo ao decréscimo no peso específico aparente seco.

No ensaio de compressão não confinada observou-se um ganho de resistência da mistura solo-cal em relação ao solo in natura, exceto no teor de umidade de 26%.

Desta maneira, pode-se constatar que o solo estabilizado com cal apresenta melhorias de resistência, tendo com potencial para aplicação de reforço de subleito, na sub-base e base, como camada constituinte de pavimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a instituição de ensino Centro Universitário Dinâmica das Cataratas por ceder o laboratório de solo para realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). NBR 7181. *Solo- Análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992). NBR 12770. *Solo Coesivo- Determinação da resistência à compressão não confinada*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6457. *Amostras de solo- Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro.
- Confederação Nacional do Transporte – CNT (2018). Anuário CNT do Transporte. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2018/> > Acesso: 15/01/2020.
- Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes (2006) *PUBL. IPR - 719: Manual de pavimentação*. 3 ed. Rio de Janeiro: DNIT: 274 p.
- Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias – EMBRAPA (2006) *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*, Rio de Janeiro, 306p.
- Gumarães, José Epitácio Passos (2002) *A Cal - Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil*. 2. Ed. São Paulo, Pini
- Ingles, O. G. and Metcalf, J.N (1972) *Soil stabilization: principles and practice*. 1972. Melbourne: Butterworths PTY, 372p.

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
 IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
 IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 15 a 18 de Setembro de 2020 – Campinas - SP



- Mallella, J.; Quintus, H.V.P.E.; Smith, K. L. (2004) *Consideration of Lime-Stabilized Layers in Mechanistic-Empirical Pavement Design*. Document submitted à National Lime Association. Champaign, Illinois, Estados Unidos de América.
- Thomé, A (1194) *Estudo do comportamento de um solo mole tratado com cal, visando seu uso em fundações superficiais*. Dissertação (Mestrado em Engenharia). CPGECE-UFRGS. Porto Alegre, 149 p.
- Villibor, Douglas Fadul et al (2009) *Pavimentos de baixo custo para vias urbanas: Bases alternativas com solos lateríticos, Gestão de manutenção de vias urbanas*. 2. Ed. São Paulo: Arte&Ciência, 196p.
- Nunez, W. P. (1991) *Estabilização físico-química de um solo residual de arenito Botucatu visando seu emprego na pavimentação*. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS. Porto Alegre, 145 p.