

Solo Melhorado com Cal Para Utilização como Camada de Aterro Sanitário de Pequeno Porte

PALMA, J. V. M.⁴³; SILVA, F. K.⁴⁴, PRIM, E. C. C.⁴⁵, SCHUCH, F. S.⁴⁶.

Palavras-Chave: Condutibilidade hidráulica de solo; adensamento do solo; resíduos sólidos urbanos; mistura solo-cal.

Introdução

Pautas ambientais norteiam o dia a dia da sociedade moderna, sobretudo, quanto à qualidade de vida; no Brasil, entretanto, sendo um país com extensão continental, de grande população e alta atividade econômica, essas pautas podem ser ofuscadas, muitas vezes, pela atividade industrial e seu natural fomento ao consumo. Assim, aqui e no mundo, faz-se necessária a gestão adequada de resíduos sólidos urbanos (RSU), sendo o resultado dessa realidade, um desafio persistente, no meio da caminhada até o desenvolvimento sustentável. Conforme o panorama concebido pela Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, das mais de 77.000.000 toneladas de RSU produzidas no Brasil, cerca de 92% são recolhidas anualmente e pouco mais de 61% têm destinação adequada (ABREMA, 2023). A construção e operação de aterros sanitários são práticas amplamente utilizadas para a disposição final desses resíduos, sendo essencial garantir que esses aterros atendam às normativas técnicas e ambientais rigorosas e prevenir a contaminação do solo e das águas subterrâneas (MONDELLI, 2016). Sob este viés, a segurança e a sustentabilidade em projetos de aterros sanitários dependem fortemente da adoção rigorosa das normas técnicas da ABNT e das resoluções do CONAMA, que fornecem estrutura para validar desejáveis resultados laboratoriais.

A permeabilidade é uma propriedade do solo que, conforme explica Caputo (1988), expressa o quanto o solo permite o escoamento da água através de seus poros, sendo o grau de permeabilidade do solo expresso numericamente pelo “coeficiente de permeabilidade” (k), em potência de 10. Ou seja, diferentes tipos de solo terão diferentes valores deste coeficiente e, portanto, diferentes capacidades de permitir

⁴³ Aluno do Departamento Acadêmico da Construção Civil (DACC) - Câmpus Florianópolis

⁴⁴ Professor do Departamento Acadêmico da Construção Civil (DACC) - Câmpus Florianópolis

⁴⁵ Aluna do Departamento Acadêmico da Construção Civil (DACC) - Câmpus Florianópolis

⁴⁶ Professora do Departamento Acadêmico da Construção Civil (DACC) - Câmpus Florianópolis

que a água permeie os seus vazios. Solos com alta permeabilidade podem levar a infiltrações indesejadas e problemas de estabilidade, enquanto solos com baixa permeabilidade podem acumular água, aumentando a pressão interna e o risco de rupturas (NOGUEIRA, 2020). Logo, ensaios de permeabilidade, como os realizados em laboratório, com permeâmetro de carga constante e variável, são cruciais para o planejamento adequado de sistemas de drenagem e controle de água, garantindo que as estruturas sejam projetadas para gerenciar eficientemente o fluxo de água.

Nesta pesquisa, buscou-se analisar um solo argiloso coletado no município de Biguaçu/SC, na mesma região em que o aterro sanitário do município de Florianópolis/SC está localizado, e compreender as propriedades da condutibilidade hidráulica deste solo, verificando a possibilidade de utilizá-lo como camada de base, ou intermediária, em aterros sanitários.

Visando, ainda, produzir melhoria no solo, pela variação do coeficiente de condutibilidade hidráulica (K_p), adicionou-se cal ao solo avaliando-o após 7 dias de cura. A interação da cal com o solo, conforme descreve Santos (2022), provoca reações de troca catiônica e floculação das partículas finas, o que pode aumentar a permeabilidade devido à formação de uma estrutura mais porosa. No entanto, o impacto da cal na permeabilidade pode ser variável, com estudos mostrando tanto aumentos quanto diminuições dependendo da quantidade de cal e da densidade da mistura. Segundo o autor, ainda, por outro lado, a adição de cal pode também aumentar a rigidez do solo, melhorando a resistência e a estabilidade estrutural.

Abaixo segue descrito o método da pesquisa e, na sequência, os resultados obtidos até o momento.

Método

A partir de uma pesquisa bibliográfica inicial (a qual evoluiu ao longo de todo o período de estudos), determinou-se a coleta, amostragem e caracterização do solo, para aferir sua composição. Em seguida, foram feitos ensaios de compactação, moldagem dos corpos de prova e cura (quando com cal), e, por fim, determinação do coeficiente de permeabilidade (K_p).

Dos ensaios de caracterização se obteve que: o solo possui cerca de 53% de argila em sua composição granulométrica, tem características plásticas e elevada capacidade de retenção de água (Tabela 1).

Tabela 1- Resultados da Caracterização do solo

Propriedade	Valor	Unidade
Massa específica dos grãos	2,61	g/cm ³
Limite de Liquidez	52	%
Limite de Plasticidade	38	%
Índice de Plasticidade (LL-LP)	14	-
Umidade Ótima	24,4	%
Massa específica seca máxima	1,59	g/cm ³

Fonte: Palma et al, 2023.

Em seguida, foram determinadas as curvas de compactação do solo puro e com adição de 3% de cal, de modo a se obter a densidade seca máxima e a respectiva umidade ótima, características imprescindíveis para se conseguir moldar os corpos de prova de solo. Então, foram confeccionados corpos de prova (CP) em cilindros de Proctor pequenos e, o corpo de prova com cal, foi submetido a uma cura hermética por 7 dias.

Os CPs, previamente saturados, foram submetidos ao ensaio de permeabilidade. Por serem de matriz argilosa, fez-se necessário utilizar um método de ensaio com carga de água variável, em função do característico lento fluxo de água. Dessa forma, utilizou-se a NBR 14545:2021, que trata do método de ensaio de laboratório para determinação do coeficiente de permeabilidade dos solos argilosos à carga variável, como mostrado na Figura 1.

Figura 1: Montagem do experimento de permeabilidade



Fonte: Palma et al, 2023

A sequência de fotos da Figura 1 mostra: vedação do corpo de prova com bentonita (A); Bentonita utilizada na vedação do permeâmetro (B); Corpo de prova no permeâmetro (C); Vedação do corpo de prova com bentonita (D); Colocação de geotêxtil e pedrisco (E); Carga de água variável em bureta (F).

Resultados

Para o solo argiloso analisado, verificou-se que, a adição de 3% de cal provocou uma diminuição do valor do coeficiente de condutibilidade hidráulica, ou permeabilidade (k_p), após 7 dias de cura (Tabela 2).

Tabela 2: Coeficientes de Permeabilidade medidos

Medições	Solo puro	Solo melhorado com cal – 7 dias
k_p (cm/s)	$3,15 \times 10^{-7}$	$2,29 \times 10^{-7}$

Fonte: Autores, 2024.

Esta diminuição foi da ordem de 27%. Observa-se que para atingir tal resultado o solo foi compactado na umidade ótima obtida no ensaio de compactação.

O valor obtido no ensaio mostra que o solo da jazida analisada é apto para ser utilizado como camada de solo de cobertura, conforme prevê a NBR 13896:2017, pois possui um valor de k_p inferior a 5×10^{-5} cm/s. Tanto o solo puro quanto o solo melhorado com cal estão propícios à utilização em aterro sanitário quando se analisa na perspectiva das normativas da ABNT, sendo a principal melhoria pela adição da cal, o controle do fluxo de água e não saturação imediata do aterro instalado.

Considerações Finais

O ensaio de permeabilidade mostrou que, sob esta perspectiva, o solo analisado pode ser utilizado como camada em aterro sanitário. Porém, as normas tanto da ABNT quanto ambientais, salientam outras características do material não analisadas nesta pesquisa e, portanto, ainda necessita-se aprofundar os estudos, nestes aspectos.

Agradecimentos

Agradecemos ao Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), ao Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACC) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico (CNPq), pelo financiamento de suas pesquisas. Também aos familiares e amigos queridos, que nos impulsionam na busca por novas conquistas e crescimento.

Referências

- [1] Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABREMA). "Panorama." ABREMA, 2024. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>.
- [2] MONDELLI, Giulliana; GIACHETI, Heraldo Luiz; HAMADA, Jorge. Avaliação da contaminação no entorno de um aterro de resíduos sólidos urbanos com base em resultados de poços de monitoramento. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, p. 169-182, 2016.
- [3] CAPUTO, H. P. Mecânica dos solos e suas aplicações. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. I. 1988.
- [4] NOGUEIRA, Gabriel Dos Santos; SANTOS, Itamar Alves; DE SOUSA BORGES, Rodolfo Rodrigues. Estudo de permeabilidade de solo estabilizado com cal. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 5, p. 25646-25662, 2020.
- [5] SANTOS, J. A.; OLIVEIRA, M. C.; SILVA, R. F. Título do artigo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DE SOLOS E ENG. GEOTÉCNICA, 2022, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: COBRAMSEG, 2022.
- [6] PINTO, C. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.
- [7] PALMA, João Victor Machado da; SANTOS, Leticia Francelina dos; SILVA, Ana Karolyna Silveira da; SILVA, Fábio Krueger da; SCHUCH, Fernanda Simoni. Aproveitamento de Fibra PET Reciclada Adicionada em Solo Argiloso Alcalino. In: XIII SIMPÓSIO DE PRÁTICAS DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DA REGIÃO SUL - GEOSUL 2023. ©ABMS, 2023.