

ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS EXPANSIVOS COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) E CIMENTO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA POR MEIO DO MÉTODO EXPEDITO DAS PASTILHAS

LAIÊ RODRIGUES PORTO FERREIRA¹; GUSTAVO LUÍS CALEGARO²;
EZEQUIEL SILVA TINS³; LUIZA BEATRIZ GAMBOA ARAÚJO MORSELLI⁴;
ROBSON ANDREAZZA⁵.

¹Universidade Federal de Pelotas – laierodrigues01@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – gustavoccalegaro@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – luiza_morselli@hotmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – ezequiel2tins@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – robsonandreaazza@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

O solo é o elemento fundamental que sustenta a grande maioria das obras da engenharia civil, atuando como base para receber e distribuir os esforços transmitidos pelas estruturas. Sua capacidade de suportar cargas sem sofrer deformações excessivas é essencial para garantir a segurança e durabilidade das construções (PAIVA, 2016).

Entre os principais desafios geotécnicos, destacam-se os solos expansivos, como aqueles ricos em esmectitas, que apresentam alta sensibilidade à variação de umidade, sofrendo expansão e contração significativas. Esse comportamento pode levar a trincas, recalques diferenciais e instabilidade, exigindo técnicas de estabilização para viabilizar sua utilização em obras de infraestrutura. Além disso, solos muito friáveis ou suscetíveis à erosão também demandam tratamentos específicos para garantir sua resistência e capacidade de suporte (VARELA, 2021).

Diversas técnicas têm sido empregadas para o aprimoramento das propriedades do solo, destacando-se o método tradicional, que utiliza agentes estabilizantes como o cimento e a cal. A compactação adequada, o reforço com geossintéticos e o controle de umidade também são estratégias importantes para assegurar a estabilidade do terreno. A escolha do método mais adequado depende das características do solo, das condições ambientais e dos requisitos técnicos da obra, sempre buscando equilibrar eficiência, custo e sustentabilidade (GUEDES, 2022).

A incorporação de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em solos surge como uma solução tecnicamente viável e ambientalmente estratégica, alinhando-se aos princípios da economia circular. Essa prática reduz a demanda por aterros sanitários e mitiga impactos ambientais, além de poder aprimorar características geotécnicas do solo. Dessa forma, o RCD transforma-se de passivo ambiental em recurso valorizável, contribuindo para obras mais eficientes e sustentáveis (UJILE, ABBEY, 2022).

Este trabalho objetivou a investigação do potencial de estabilização de um solo expansivo de Pelotas/RS por meio da incorporação de RCD e cimento. A análise foi conduzida com base nos resultados da quinta aproximação do método expedito das pastilhas, avaliando-se a expansibilidade e a melhoria das propriedades hidráulicas a partir do referido ensaio.

2. METODOLOGIA

O solo empregado nesta pesquisa foi nomeado como “solódico do Quartier” pelo fato de ter sido coletado no referido bairro, localizado no município de Pelotas/RS. A partir da análise dos resultados provenientes do ensaio expedito das

pastilhas, realizou-se a classificação da amostra controle com base nas medições de contração diametral e penetração da agulha após reabsorção. Dessa forma, conforme FORTES et. al (2002), o solo foi categorizado como “solo argiloso não laterítico”. Também foi constatado que o este solo é conhecido por ser expansivo na presença d’água e por possuir frações finas predominantemente constituídas por argilominerais do grupo das esmectitas. Esses minerais apresentam uma estrutura atômica do tipo 2:1, caracterizando-se por seu comportamento expansivo, elevada susceptibilidade à erosão e reduzida resistência mecânica em condições de saturação hídrica (D’ÁVILA et al., 2008).

Para a avaliação da mudança de comportamento do fino do solo, foi utilizado o que é passante na peneira #200 (0,075 mm), previamente seca a 60°C. Foi homogeneizada a seco uma triplicata para cada dois teores (3% e 6%) de RDC retirado corpos de prova (CP’s) que foram feitos com cimento, areia e brita do laboratório de engenharia civil do Centro de Engenharias (CEng) da UFPEL e cimento do tipo CP-IV 32 RS. O RDC foi moído, seco e peneirado, sendo utilizada a fração passante na peneira #100 (0,15mm). Depois as amostras foram hidratadas e submetida a um processo de preparo por espatulação até que a penetração de uma agulha padrão atingisse a profundidade de 1 mm, conforme critério de consistência estabelecido. Em seguida, cada triplicata das pastilhas foi moldada em anel de PVC com dimensões padronizadas (21 mm de diâmetro e 5 mm de altura) e secas por pelo menos 24h ao ar em temperatura ambiente (20 °C) e depois em estufa 60°C por um período de no mínimo 4 h. Após a secagem, foram medidas a contração diametral em três direções da pastilha e, posteriormente, as pastilhas foram submetidas ao ensaio de reabsorção de água, no qual foi analisada a penetração da agulha padrão (FORTES et al., 2002).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estágio de reabsorção em água das pastilhas realizado para avaliação da estabilização do solo em questão, verificou-se que o material RDC apresentou desempenho insatisfatório, registrando uma penetração de 5 mm já nos primeiros 5 minutos, o que indica baixa resistência à deformação e pouca eficácia no reforço da estrutura do solo.

Em contraste, o cimento Portland demonstrou resultados significativamente superiores, com penetrações de apenas 2 e 3 mm em 6%, e 4 mm em 3% após 2 h de cura, evidenciando uma estabilização progressiva e eficiente. Tais valores atestam que foi perceptível uma ligeira melhoria da matriz do solo proporcionando uma melhor propriedade hidráulica na fração fina.

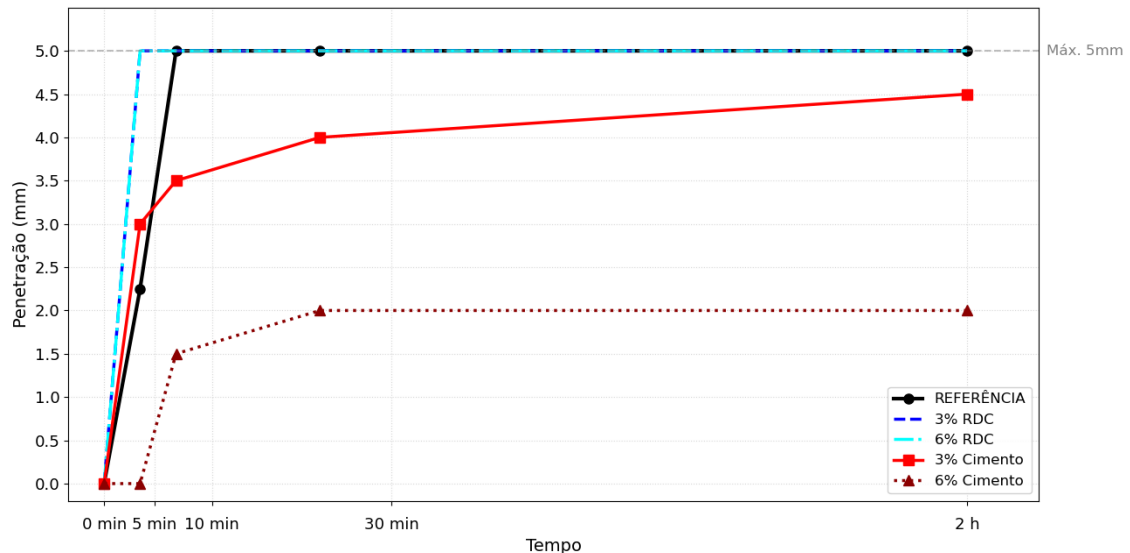
Figura 1 – Pastilhas após 2 horas com 3% de cimento.



Fonte: Os autores.

A Figura 2 apresenta um gráfico com as respectivas penetrações em função do tempo de reabsorção de cada mistura.

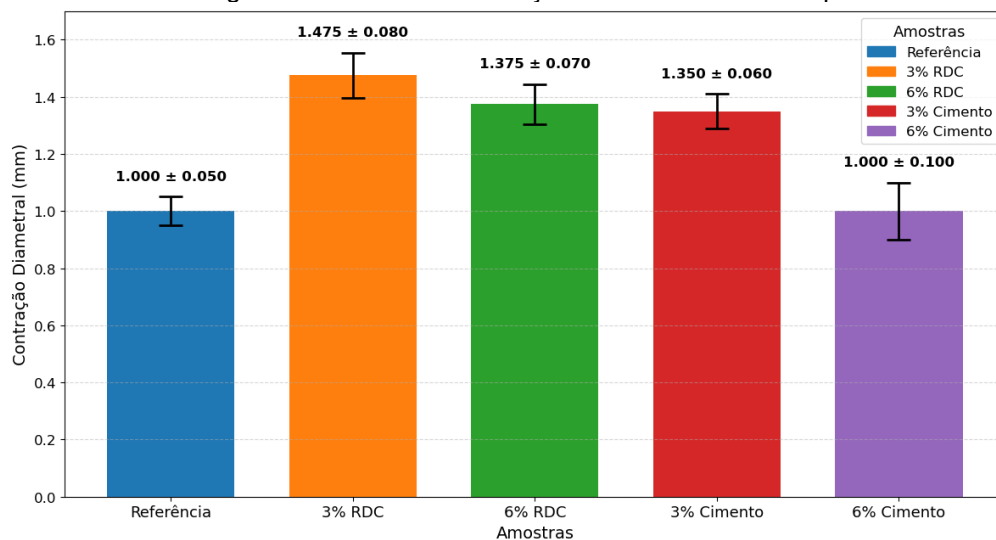
Figura 2 - Gráfico de penetração em função do tempo.



Fonte: Os autores.

A contração diametral é uma medida simples e rápida que, combinada com outros parâmetros do método das pastilhas, como a penetração, permite diferenciar solos tropicais de forma expedita, avaliando a composição granulométrica do fino do solo em si. Ou seja, os valores de penetração reduzidos podem ser interpretados como indicativos de estabilização do material. Na Figura 3, apresentam-se as contrações diametraís obtidas no ensaio e seus respectivos desvios padrões.

Figura 3 - Gráfico de contração diametral de cada réplica.



Fonte: Os autores.

O RDC em 3% apresentou um valor maior de contração diametral, um dos motivos relacionados a isso pode ser pelo fato de que diferentemente do cimento, que atua como agente ligante e estabilizador, o RDC não possui propriedade aglomerantes. Isso resulta em uma estrutura menos coesa, mais suscetível à contração quando submetida à perda de umidade.

4. CONCLUSÕES

A partir desse trabalho verificou-se a viabilidade técnica da utilização de cimento Portland como agente estabilizante para solos expansivos da região de Pelotas/RS, em contraste com a baixa eficácia observada no uso de RCD nas proporções testadas (3% e 6%). A metodologia empregada, baseada no método expedito das pastilhas, permitiu quantificar de forma precisa a melhoria das propriedades hidráulicas do solo tratado com cimento, evidenciando sua capacidade de formar uma matriz coesa e resistente, com penetrações significativamente menores (2 a 4 mm após 2 h) em comparação ao RCD (5 mm em apenas 5 min). Nos 3% a penetração diminuiu cerca de 10%, já nos 6% ela diminuiu 60%.

A principal inovação deste estudo reside na tentativa da aplicação de uma abordagem sustentável para a estabilização de solos problemáticos, por exemplo ocasionando rachaduras em pavimentos, fundações e edificações. Alinhando-se aos princípios de economia circular ao testar o RCD como alternativa. Embora os resultados tenham indicado limitações no desempenho do RCD nas condições avaliadas, a pesquisa contribui para o avanço do conhecimento sobre técnicas de estabilização, reforçando a importância de investigações futuras que explorem proporções otimizadas ou combinações sinérgicas entre RCD e ligantes tradicionais.

Por fim, os resultados obtidos reforçam a relevância de soluções baseadas em evidências para o manejo de solos expansivos, oferecendo subsídios para projetos de engenharia que demandem estabilização eficiente e sustentável. A continuidade deste trabalho pode incluir ensaios de longa duração, análises microestruturais, ativação alcalina e avaliações custo-benefício, ampliando o potencial de aplicação tanto do cimento quanto de resíduos em contextos geotécnicos diversificados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- D'ÁVILA, A. M., HAX, S. E FREITAS, P.C. Especificação Expedita de Materiais para Vias Não Pavimentadas - 4ª Aproximação. In: **XI CONGRESSO NACIONAL DE GEOTECNIA E IV CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA**, 2008, Coimbra, Portugal.
- FORTES, M.R, MERIGHI, J.V. e ZUPPOLINI Neto, A. Método das Pastilhas para Identificação Expedita de Solos Tropicais. In: **2º Congresso Rodoviário Português. Lisboa, Portugal**, 18 a 22/novembro, 2002.
- PAIVA, Sergio Carvalho de et al. Propriedades geotécnicas de um solo expansivo tratado com cal. **Matéria**, Rio de Janeiro v. 21, n. 02, p. 437-449, 2016.
- GUEDES, João Pedro Camelo et al. Previsão da resistência à compressão simples de um solo expansivo estabilizado com cimento através do índice porosidade/teor volumétrico de cimento. **Revista Principia**, v. 59, n. 2, p. 547–561, 2022.
- VARELA, G. G. T. et al. Solos expansivos no Brasil: uma revisão sistemática. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso.
- UJILE, M. & ABBEY, S. The use of fine portions from construction and demolition waste for expansive soil stabilization: A review. **Frontiers of Structural and Civil Engineering**. v. 16, p. 803-816, 2022.