

COMPORTAMENTO DE MISTURAS SOLO-CINZA-CAL PARA APLICAÇÃO EM BARREIRAS IMPERMEÁVEIS DE ATERROS PARA CONTENÇÃO DE LIXIVIADOS ÁCIDOS

JOICE B. REIS ^{1,2*}, JONAS D. MOTA ^{3,2}, EDUARDO P. KORF ^{4,2}

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos representam uma importante fonte de poluição, a qual tem se intensificado devido à crescente geração e falta de gerenciamento adequado, para as mais distintas atividades geradoras. Diversos resíduos, como por exemplo os industriais e de mineração, podem gerar durante a sua disposição final, em aterros ou barragens de rejeitos, contaminantes ácidos com altos níveis de toxicidade (KORF, 2014) e altas concentrações de metais dissolvidos e ácido sulfúrico, o que lhe confere acidez elevada (SOARES, TRINDADE, 2003; BLODAU, 2006; GUEVARA, 2007). Isso pode ser motivo de contaminação do solo e águas subterrâneas, pois podem promover ataque ácido à barreiras impermeáveis (*liners*) projetadas com materiais geotécnicos tradicionais, como solo compactado.

Neste contexto, nota-se uma carência de estudos relativos à melhoria do comportamento das barreiras impermeáveis para contenção de lixiviados ácidos. Alguns estudos recentes têm avaliado a adição de agentes reativos para estabilização de barreiras e atenuação de contaminantes. Estes agentes reativos podem ser produzidos a partir de resíduos que possuem propriedades neutralizantes, quando em mistura com barreiras compactadas, além de estabilizar o seu comportamento mecânico e hidráulico.

A cinza de casca de arroz (CCA) é produzida de forma contínua em usinas termelétricas. Este resíduo pode apresentar propriedades reativas como pozolanas naturais, com altos teores de sílica amorfa, o que confere elevada contribuição para propriedades mecânicas e reativas de materiais geotécnicos, como a durabilidade, sendo de grande interesse para a construção civil e novos materiais (MOSABERPANAH, UMAR, 2019; MOAYEDI et al., 2019). Assim

1 Engenheira Ambiental e Sanitarista, UFFS, *campus Erechim*, **BOLSISTA**, contato: joice_reis.cpv@hotmail.com

2 Grupo de Pesquisa em Resíduos e Geotecnia Ambiental.

3 Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus Erechim RS*.

4 Doutor em Engenharia Civil, docente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, UFFS, *campus Erechim*, **Orientador**, contato: eduardo.korf@uffs.edu.br

como, a incorporação deste resíduo apresenta outro grande benefício, a redução da permeabilidade do material (CORDEIRO, 2006).

Na literatura encontram-se diversos estudos de aplicação do resíduo de CCA em múltiplas destinações, entretanto nota-se uma carência de estudos de aplicabilidade na área geotécnica, como por exemplo, na constituição de barreiras impermeáveis reativas para contenção de lixiviados ácidos.

Além disso, outro resíduo produzido em larga escala no setor alimentício é a casca de ovo, a qual pode ser utilizada para produção de cal de casca de ovo (CCO) e ser utilizada juntamente com a CCA como fonte de cal em reações pozolânicas para estabilização geotécnica, como observado por Consoli et al. (2020).

Neste estudo, pretende-se, desta forma, estudar uma mistura produzida a partir de CCA e CCO adicionada à barreiras de solo compactado para o melhoramento das propriedades de solos argilosos aplicados em *liners*, com o objetivo de desenvolver barreiras impermeáveis eficientes e ao mesmo tempo reativas para a contenção e tamponamento de lixiviados ácidos utilizando-se ambos resíduos como matéria prima.

2 OBJETIVOS

Estudar o comportamento geotécnico de barreiras impermeabilizantes de contenção de lixiviados ácidos em misturas de resíduos de cinza de casca de arroz e cal de casca de ovo em solo argiloso compactado visando aplicação em aterros de resíduos e rejeitos.

3 METODOLOGIA

A CCA é proveniente de uma termoeletrica do interior do Estado do Rio Grande do Sul, e foi utilizada sem o processo de moagem e peneiramento, de forma a potencializar a viabilidade de ampliação de escala da pesquisa. A CCO foi produzida em laboratório a partir da calcinação e hidratação de resíduo de casca de ovo moída, a uma temperatura de 1200°C por um período de 6 horas, conforme descrito por Ngoya, Aransiola e Oyekola (2017). O solo residual de basalto utilizado foi coletado na área experimental do Campus Erechim da Universidade Federal da Fronteira Sul.

A distribuição granulométrica de partículas das misturas e do solo foi realizada por meio de ensaios de granulometria a laser e por sedimentação, NBR 7181 (ABNT, 2016), respectivamente. As condições de queima da CCA foram de temperatura de 1020° C por 2 horas, com detecção de 0,1% e normalização a 100%. O teor de cal foi adotado segundo o

método ICL – *Initial Consumption of Lime*, enquanto o teor de cinza foi fixado em de 30% em relação à massa de solo, de forma a maximizar o uso do resíduo. A composição das misturas se deu nas seguintes proporções: 30% CCA, 6% de CCO em relação à massa de solo.

Os ensaios de compactação foram realizados para duas misturas, a mistura 1, que é constituída de Solo, CCA e CCO, a mistura 2, que é constituída de Solo, CCA e Cal Comercial (CC), e uma amostra de solo sem incremento de cinza e cal. As amostras foram preparadas segundo a NBR 6457 (ABNT, 1986) para execução do ensaio de compactação, que se deu de acordo com a NBR 7182 (ABNT, 1986), adotando a energia de Proctor normal. As amostras foram secas em estufa por um período de 24 horas a 105°C, e posteriormente o ensaio foi realizado.

O comportamento mecânico das misturas 1 e 2 foi avaliado por meio de ensaios de Resistência à Compressão Simples (RCS). A moldagem dos corpos de prova para a realização do ensaio se deu diretamente nos cilindros de compactação com 10 cm de diâmetro. Os corpos de prova foram rompidos em prensa hidráulica, conforme a NBR 5739 (ABNT, 1994) após o tempo de cura que foi de 7, 14 e 28 dias, sendo que o processo ocorreu em câmara úmida com temperatura constante de aproximadamente 23°C.

O desempenho ambiental da mistura foi avaliado por meio da análise do contaminante ácido (solução de ácido sulfúrico, pH 4) após contato com a mistura em ensaio de batelada, de acordo com uma adaptação da norma D 4646-03 (ASTM, 2008). Após 24 h de ensaio, a amostra foi filtrada e a composição química do extrato foi analisada em equipamento de Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma (ICP), e posteriormente comparada com a resolução CONAMA nº460 (BRASIL, 2013), que dispõe sobre os limites e padrões para a qualidade do solo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição granulométrica da CCA possui característica granulométrica com diâmetro médio de 45 µm, com distribuição de granulométrica de partículas uniforme. As misturas do solo e da CCA com cal, possibilitaram a formação de um solo com partículas bem distribuídas de silte, argila e areia, com comportamento semelhante para a cal comercial (CC) e cal de casca de ovo (CCO) estudadas.

Com base no ICL e no teor máximo de CCA estabilizado no ensaio de pozolanicidade, as duas misturas utilizadas na pesquisa foram compostas por 30% de CCA e 6% de cal, com

relação à massa de solo, sendo adotado o mesmo teor para ambas as cales para fins de comparação.

De acordo com a curva de compactação do solo e das misturas, pode-se observar que a incorporação de CCA aumenta de forma relevante a umidade do solo. Os parâmetros de compactação foram: peso específico seco máximo de 14,5 kN/m³ e teor de umidade ótima de 30%, para o solo, peso específico seco máximo de 11,9 kN/m³ e teor de umidade ótima de 39%, para a mistura 1, e peso específico seco máximo de 12,25 kN/m³ e teor de umidade ótima de 38%, para a mistura 2. As misturas com adição de CC e CCO se comportaram de forma semelhante, contudo as misturas com cal residual obtiveram menores densidades e maior umidade, quando comparado as misturas com adição de cal comercial.

Com relação aos ensaios de resistência à compressão simples, o melhor resultado foi obtido para a Mistura 1, com um tempo de cura de 28 dias (226 kPa), maior que o obtido para a Mistura 2 (<150 kPa) nas mesmas condições. Isso se deve ao fato da CCO ter apresentado maiores quantidades de óxido de cálcio (92,02%) disponíveis para as reações pozolânicas (BENSAIFI et al., 2019), conferindo as melhores reações. Mesmo com 28 dias de cura não houve resistências elevadas para ambas as amostras. Entretanto, os valores obtidos para a Mistura 1 possibilitam a aplicação das misturas por exemplo em barreiras impermeáveis de aterros, em que a resistência mínima é de 200 kPa (LUKIANCHUKI, 2007), o que demonstra possibilidade de aplicação.

A Mistura 1 apresentou os melhores resultados no ensaio de desempenho ambiental, pode-se observar que apenas dois elementos químicos foram detectados no extrato de contaminante ácido ensaiado, sendo eles o alumínio e o sódio. No entanto, observa-se a adequação em relação às normativas CONAMA n°460 (BRASIL, 2013), e anexo G da NBR 10004 (ABNT, 2004).

5 CONCLUSÃO

A incorporação do ligante de CCA junto a CCO ao solo residual argiloso conferiu a uma mistura satisfatória com relação ao comportamento mecânico e reativo. O presente estudo possibilitou a comprovação da viabilidade ambiental da utilização de CCA e CCO para a correção de solos submetidos a ataque ácido, contudo indica-se para estudos futuros a análise de processos de moagem do resíduo para melhores resultados de resistência com o consequente aumento dos teores de fase amorfa. Ainda, se propõe a avaliação de maiores tempos de cura, visto que reação pozolânica com adição de cal é lenta. Além disso, sugere-se

o estudo de aplicação das misturas para utilização em barreiras impermeáveis de aterros, com avaliação da condutividade hidráulica e ensaios de percolação ácida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira no. 6457. **Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**, 1986.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira no. 7181. **Solo - Análise granulométrica**, 1984.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira no. 7182. **Solo - Ensaio de compactação**, 1986.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira no. 5739. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**, 1994.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira no. 10004. **Resíduos sólidos - Classificação**, 2004.

American Society for Testing and Materials. D4646-03. **Standard Test Method for 24-h Batch-Type Measurement of Contaminant Sorption by Soils and Sediments**.

Pennsylvania, 2008.

BENSAIFI, E.; BOUTELDJA, F.; NOUAOURIA, M. S.; BREUL, P. *Influence of crushed granulated blast furnace slag and calcined eggshell waste on mechanical properties of a compacted marl*. **Transportation Geotechnics**, [s.i.], v. 100244, n. 20, p. 1-9, maio 2019.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2019.100244>. Acesso em: 05 mar. 2020.

BLODAU, C. **A Review of acidity generation and consumption in acidic coal mine lakes and their watersheds**. **Science of the Total Environment**, v. 369, 2006. p. 307-332.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº460**, de 30 de dezembro de 2013. Altera a Resolução no 420, de 28 de dezembro de 2009, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

CONSOLI, N. C.; CAICEDO, A. M. L.; SALDANHA, R. B.; FILHO, H. C. S.; ACOSTA, C. J. M. Eggshell Produced Limes: Innovative Materials for Soil Stabilization. **Journal**

Material Civil Engineering, v. 32, n. 11, 2020. Disponível em:

[https://10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003418](https://10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003418). Acesso em: 29 de abril. 2021.

CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**. Tese de Doutorado,

PEC/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2006.

GUEVARA, L. R. Z. **Predição do potencial de drenagem ácida de minas utilizando o**

método cinético da coluna de lixiviação. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Programa de Pós-Graduação do Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2007.

KORF, E. P. **Comportamento Macro e Microestrutural de Barreiras Compactadas para Contenção de Lixiviados Ácidos de Resíduos Industriais e de Mineração.** 2014. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

LUKIANCHUKI, J. A. **Influência do teor de bentonita na condutividade hidráulica e resistência ao cisalhamento de um solo arenoso utilizado como barreira impermeabilizante.** 150 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de engenharia de São Carlos, Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, 2007.

MOAYEDI, H., AGHEL, B., ABDULLAHI, M. M., NGUYEN, H., SAFUAN A RASHID, A. *Applications of rice husk ash as green and sustainable biomass.* **Journal of Cleaner Production**, 237, 2019.

MOSABERPANAH, M. A., & UMAR, S. A. *Utilizing Rice Husk Ash as Supplement to Cementitious Materials on Performance of Ultra High Performance Concrete: – A review.* **Materials Today Sustainability**, p. 7–8, 2019. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2019.100030>. Acesso em: 01 mar. 2020.

SOARES, P. S. M., TRINDADE, R. de B. E. **Sistema passivos abióticos para o tratamento de drenagens ácidas de mina (DAM).** In: SEMINÁRIO BRASIL-CANADÁ DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE ÁREAS MINERADAS, 1.. Anais... Seminário Brasil: Florianópolis – SC, 2003.

Palavras-chave: Resíduos, *Liners*, Valoração, Reaproveitamento.

Nº de Registro no sistema Prisma: PES-2020-0454.

Financiamento FAPERGS.