



## ESTABILIZAÇÃO DE REJEITO DA MINERAÇÃO DE FERRO COM LIGANTE ÁLCALI-ATIVADO ORIUNDO DE CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR E CAL DE CASCA DE OVO

MARIA ALICE PIOVESAN<sup>1,2\*</sup>, WILLIAM MATEUS KUBIAKI LEVANDOSKI<sup>2,3</sup>,  
CAROLINA MENEGOLLA<sup>2,4</sup>, SUÉLLEN TONATTO FERRAZZO<sup>2,5</sup>, EDUARDO  
PAVAN KORF<sup>2,6</sup>

### 1 Introdução

No quarto trimestre de 2021, a quantidade do minério de ferro informada no preenchimento da guia de recolhimento da Compensação Financeira pela Exploração dos Recursos Minerais (CFEM) foi de cerca de 107 milhões de toneladas (ANM, 2022). No Brasil em 2014, cerca de 275,5 milhões de toneladas de rejeito de minério de ferro foram utilizadas como material de aterro e armazenadas em barragens (DAUCE et al., 2018).

Diante deste cenário, a preocupação com a questão ambiental tem levado à busca pelo reaproveitamento dos rejeitos de mineração. Uma possibilidade para a valorização dos rejeitos de mineração é a estabilização química dos mesmos a partir da adição de agentes cimentantes. O principal representante desse grupo é o cimento Portland, cuja cadeia produtiva é responsável pela superexploração de recursos naturais, consumo energético elevado e emissão de gases causadores de efeito estufa (OBENAUSS-EMLER; FALAH; ILLIKAINEN, 2020).

Como alternativa para substituir o cimento Portland, vêm sendo estudados ligantes alternativos álcali-ativados provenientes da ativação alcalina de resíduos que funcionam como fontes de aluminossilicatos, de forma que resíduos industriais que apresentam composição de

---

1 Acadêmica do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, UFFS, *campus* Erechim, **bolsista**, contato: maria.piovesan@estudante.uffs.edu.br

2 Grupo de Pesquisa em Resíduos e Geotecnia Ambiental.

3 Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, UFFS, *campus* Erechim.

4 Acadêmica do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, UFFS, *campus* Erechim.

5 Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Escola de Engenharia.

6 Docente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, UFFS, *campus* Erechim, **orientador**.



óxidos de cálcio e sílica, superior à 70%, e óxidos de alumínio, inferior à 20%, podem ser utilizados como precursores para produção de ligantes álcali-ativados (KRIVENKO, 2017). Possíveis materiais a serem álcali-ativados são a cinza de bagaço de cana-de-açúcar e a cal de casca de ovo. A cinza de bagaço de cana-de-açúcar é considerada um material pozolânico, apresentando conteúdos de óxidos de sílica, alumínio e ferro superiores a 70% (BERENGUER *et al.*, 2020). Já a cal de casca de ovo é constituída por elevada quantidade de óxido de cálcio, podendo variar de 85% a 92% (BENSAIFI *et al.*, 2019). A aplicação de tais pozolanas naturais em ligantes minimiza a quantidade de resíduos depositados em aterros, juntamente com os impactos decorrentes, além de reduzir a extração de recursos naturais para produção do cimento Portland.

No entanto, sua aplicação na estabilização de rejeitos de mineração ainda é recente, o que abre espaço para diversas novas pesquisas. Nesse sentido, o presente trabalho tem em vista realizar ensaios de resistência à compressão simples (RCS) a fim de verificar a possibilidade da utilização de um ligante álcali-ativado (LLA) para estabilização do rejeito da mineração de ferro.

## 2 Objetivos

Avaliar a resistência à compressão simples (RCS) de misturas rejeito-ligante álcali-ativado sob diferentes teores de ligante e pesos específicos.

## 3 Metodologia

Os materiais utilizados nesta pesquisa e respectivas abreviações foram: rejeito de minério de ferro (RMF); cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) e cal de casca de ovo hidratada (CCOH). Para estabilização do RMF, foram avaliadas as razões RMF/LAA de 85/15 e 75/25, com base em estudos anteriores referente a estabilização de solos argilosos com ligantes álcali-ativados (BRUSCHI *et al.*, 2021). Desenvolvido em estudo do grupo de pesquisa, o LAA é composto por uma relação CBCA/CCOH de 80/20, com concentração molar de solução ativadora (NaOH) de 1M.

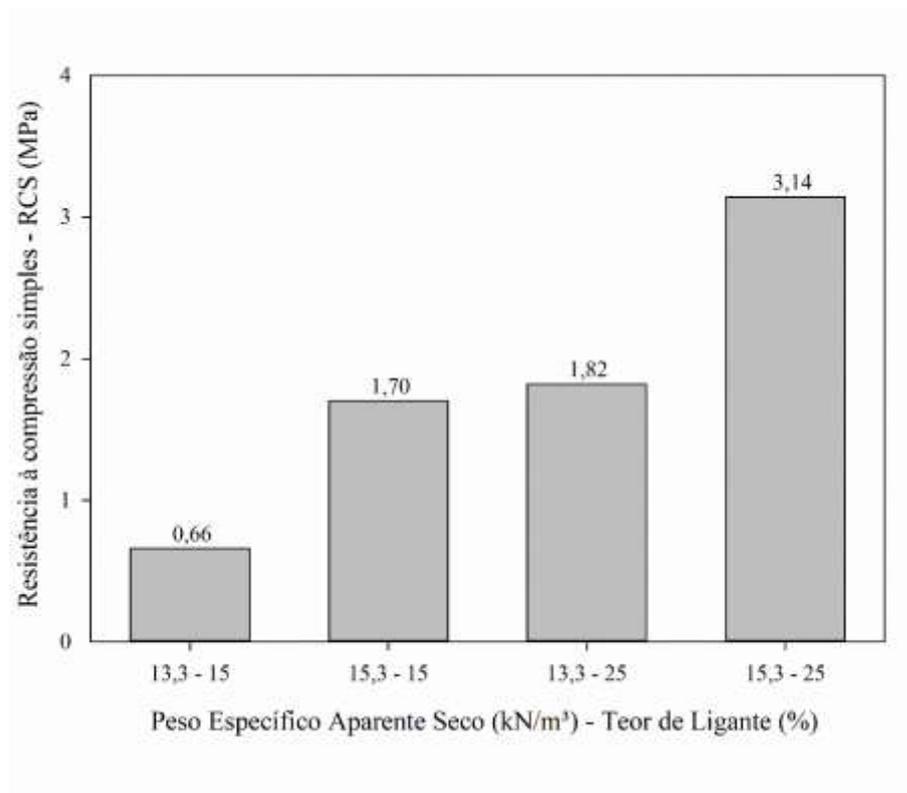
Com base em estudos anteriores realizados, estabeleceu-se as variáveis fixas de umidade de moldagem dos corpos de prova (22,8%), tempo de cura (7 dias) e temperatura de cura (23°C), variando o teor de ligante (15 e 25%) e o peso específico (13,3 e 15, 3kN.m<sup>-3</sup> γd). A moldagem

dos corpos de provas seguiu os procedimentos de subcompactação: material compactado estaticamente em três camadas em um corpo de prova cilíndrico (50 mm de diâmetro e 100 mm de altura) para cada peso específico seco alvo. O ensaio de resistência à compressão simples (RCS) seguiu a metodologia da NBR 12025 (ABNT, 2012) e foi realizado em uma prensa automática de capacidade de 100 t (marca Engetotus).

#### 4 Resultados e Discussão

A figura 1 apresenta os resultados de RCS para RMF com diferentes teores de LAA e peso específico. De forma geral, nota-se que, maiores teores de ligante e peso específico resultaram em maiores resistências. O melhor tratamento de RMF-LAA (25% LAA e  $15,3 \text{ kN.m}^{-3} \gamma_d$ ) atingiu uma RCS de 3,14 MPa em 7 dias a  $23^\circ\text{C}$ , representando um acréscimo de 380% comparado ao pior tratamento de RMF-LAA (15% LAA e  $13,3 \text{ kN.m}^{-3} \gamma_d$ ) o qual atingiu uma RCS de 0,66 MPa.

Figura 1. Resultados de RCS para misturas RMF-LAA com 7 dias de cura a  $23^\circ\text{C}$  e 22,8% de umidade





O aumento do teor de ligante nas misturas RMF-LAA promoveu a precipitação de maior quantidade de produtos cimentantes, contribuindo diretamente para a maximização da RCS. Nesse sentido, o aumento peso específico aparente seco promoveu maiores pontos de contato entre as partículas das misturas RMF-LAA, em função da menor porosidade, potencializando uma maior mobilização de atrito e intertravamento, contribuindo assim, para o aumento de resistência. Tal observação é corroborada por resultados de trabalhos em estabilização de rejeitos de mineração com uso de ligantes álcali-ativados (BRUSCHI *et al.*, 2021; DOS SANTOS, 2021).

## 5 Conclusão

A partir dos ensaios de RCS, apresentam-se as seguintes considerações finais:

Misturas de RMF-LAA com o maior teor de ligante e peso específico estudado resultou em maior RCS (3,14 MPa), resultando um aumento de cerca de 380% em comparação a mistura de RMF-LAA com o menor teor de ligante e peso específico. Misturas de RMF-LAA com combinações de valores máximos e mínimos de teor de ligante e peso específico resultaram em RCS semelhantes.

## Referências Bibliográficas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12025**: Solo-cimento — Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2004.

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**, v. 20, n. May, 2019.

BERENGUER, R. A.; CAPRARO, A. P. B.; DE MEDEIROS, M. H. F.; CARNEIRO, A. M. P.; DE OLIVEIRA, R. A. Sugar cane bagasse ash as a partial substitute of Portland cement: Effect on mechanical properties and emission of carbon dioxide. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, n. 2, p. 103655, 2020.

BRUSCHI, G. J.; DOS SANTOS, C. P.; TONINI DE ARAÚJO, M.; FERRAZZO, S. T.; MARQUES, S. F. V.; CONSOLI, N. C. Green Stabilization of Bauxite Tailings: Mechanical Study on Alkali-Activated Materials. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 33, n. 11, p. 06021007, 2021.



DAUCE, P. D.; CASTRO, G. B. DE; LIMA, M. M. F.; LIMA, R. M. F. Characterisation and magnetic concentration of an iron ore tailings. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 8, n. 1, p. 1052–1059, 2018.

DOS SANTOS, C. P. **Estabilização de rejeito de mineração de ouro por meio da álcali-ativação de cal de carbureto e cinza do bagaço de cana-de-açúcar**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2021.

KRIVENKO, P. Why alkaline activation - 60 years of the theory and practice of alkali-activated materials. **Journal of Ceramic Science and Technology**, v. 8, n. 3, p. 323–333, 2017.

NETO, A. A. A. Informe Mineral- 4º Semestre de 2021. **Agência Nacional de Mineração**. Brasília, p. 1-17, maio 2022.

OBENAU-EMLER, R.; FALAH, M.; ILLIKAINEN, M. Assessment of mine tailings as precursors for alkali-activated materials for on-site applications. **Construction and Building Materials**, v. 246, p. 118470, 2020.

**Palavras-chave:** Resíduos industriais e de mineração; Ativação alcalina; Resistência.

**Nº de Registro no sistema Prisma:** PES-2021-0361

## **Financiamento**

Pibic CNPq