

ESTABILIZAÇÃO DE REJEITO DA MINERAÇÃO DE FERRO COM LIGANTE ÁLCALI-ATIVADO ORIUNDO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ E CAL DE CASCA DE OVO

JONAS D. MOTA^{1,2}, CAROLINA MENEGOLLA^{2,3}, WILLIAM M. K. LEVANDOSKI^{2,4}, SUÉLLEN T. FERRAZZO^{2,5}, EDUARDO P. KORF^{2,6}

1 Introdução

As reservas mundiais de minério de ferro são da ordem de 170 bilhões de toneladas. Das 2,4 bilhões de toneladas do minério processadas em 2019, 36,7% correspondem ao maior produtor mundial, Austrália, seguido do Brasil com cerca de 18,9% da produção (DE JESUS; JOAQUIM, 2020). Todavia, as atividades do setor de mineração geram inúmeros impactos negativos. Diversos resíduos, como por exemplo os industriais e de mineração, são dispostos em aterros e barragens, gerando um risco de ruptura e contaminação do local.

Uma alternativa de valorização dos rejeitos da mineração pode ocorrer por meio da sua estabilização com adição de agentes cimentantes, como os ligantes álcali-ativados oriundos da ativação alcalina de inúmeros resíduos (fonte de aluminossilicatos) que vêm sendo estudados. Assim, resíduo agroindustriais que apresentam conteúdos de óxidos de cálcio e sílica, superior 70%, e óxido de alumínio, inferior à 20%, podem ser utilizados como precursores para produção de ligantes álcali-ativados (KRIVENKO, 2017). Potenciais materiais álcali-ativados são a cinza de casca de arroz e a cal de casca de ovo.

A cinza de casca de arroz (CCA) é um resíduo produzido em grandes quantidades em usinas termoelétricas que pode apresentar propriedades reativas como pozolanas naturais, com altos teores de sílica amorfa, o que confere elevada contribuição para propriedades mecânicas

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS, **Bolsista**, *campus* Erechim RS, contato: jonasduartemota@gmail.com

² Grupo de Pesquisa em Resíduos e Geotecnia Ambiental.

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

⁴ Mestrando em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, *campus* Erechim RS.

⁵ Doutora em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, *campus* Porto Alegre RS.

⁶ Doutor em Engenharia Civil, docente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária - UFFS, *campus* Erechim RS, **Orientador**, contato: eduardo.korf@uffs.edu.br

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). Além disso, a casca de ovo é um resíduo agroindustrial que pode ser utilizado 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.

A ativação alcalina vem sendo explorada como uma metodologia promissora para estabilização de rejeitos e fixação de metais pesados (OBENAUS-EMLER; FALAH; ILLIKAINEN, 2020). Sua aplicação na estabilização de rejeitos da mineração ainda é muito recente e corresponde a um vasto campo de pesquisa a ser explorado. Nesse sentido, o presente projeto de pesquisa visa investigar a estabilização de rejeito da mineração de ferro com um ligante álcali-ativado oriundo de cinza de casca de arroz e cal de casca de ovo.

2 Objetivos

Avaliar o comportamento mecânico de rejeito da mineração de ferro estabilizado por meio de ativação alcalina com cinza de casca de arroz, cal de casca de ovo e hidróxido de sódio.

3 Metodologia

O Rejeito de Minério de Ferro (RMF) foi fornecido por uma indústria da mineração de ferro, localizada no estado de Minas Gerais (MG), Brasil. O RMF foi secado com temperatura de 50°C por 48h.

A CCA é proveniente de uma termoelétrica do interior do Estado do Rio Grande do Sul, e foi preparada a partir do processo de secagem em estufa com temperatura de 50°C por 48h e peneirada em peneira malha 200 (75µm).

A CCO foi produzida em laboratório conforme descrita por Ngoya, Aransiola e Oyekola (2017), tendo o começo de sua linha de processo com a lavagem com água destilada, secagem em estufa ventilada, moagem em moinho de facas, calcinação a 1050°C, hidratação em água destilada por 48h, secagem em estufa ventilada com temperatura de 50°C por 48h e peneiramento em peneira malha 200 (75µm).

Os valores de massa específica para RMF, CCA e CCO são e 2,93 g/cm³, 2,17 g/cm³, 2,08 g/cm³, respectivamente. O RMF apresenta distribuição granulométrica corresponde predominantemente a 48,95% areia fina e 30,72% silte. A cinza é constituída principalmente por

partículas de tamanho de silte (90,13%). A CCO apresenta majoritariamente partículas de tamanho correspondente a silte (93,01%) (LEVANDOSKI, 2021).

O RMF é composto principalmente por óxidos de ferro (49,3%), silício (35,1%) e alumínio (8,48%). Por sua vez, a CCO corresponde a uma rica fonte de cálcio, equivalente a 72,9% de CaO (LEVANDOSKI, 2021). A CCA é composta principalmente por óxidos de silício (87,6%), óxidos de potássio (2,87%) e óxidos de cálcio (0,88%), dentre outros, mostrando-se uma boa fonte de sílica (REIS, 2021).

A mineralogia do RMF é composta por caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), goethita ($\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$), quartzo (SiO_2) e hematita (Fe_2O_3). Na composição mineralógica da CCA foi possível observar a formação de cristais de cristobalita (Si_4O_2), quartzo (Si_3O_6) e calcita (CaCO_3). A presença da sílica na forma destes minerais indica que a CCA é um resíduo com presença de fases cristalinas e amorfas (REIS, 2021). A composição mineralógica da CCO compreende portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) e calcita (CaCO_3) (CONSOLI *et al.*, 2020).

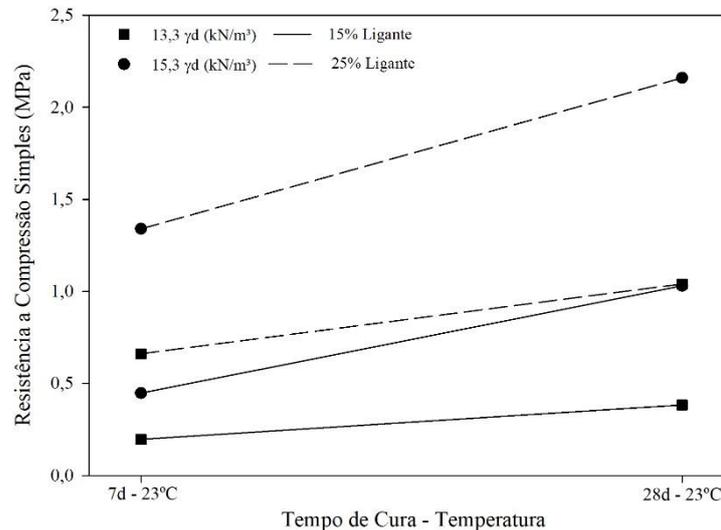
A relação de ligante (*binder*) foi definida em ensaio preliminar, sendo 80/20 (cinza/cal) a melhor relação encontrada. Além disso, foi definida a concentração do NaOH em 1M, visando a menor concentração sem prejudicar no efeito reativo do ligante. As demais variáveis também foram definidas previamente, sendo a umidade ótima em 22,8%, o peso específico em 13,3 kN/m^3 e 15,3 kN/m^3 e o teor de ligante em 15 e 25% (LEVANDOSKI, 2021).

Para avaliar o comportamento mecânico da mistura, foi realizado ensaio de Resistência à Compressão Simples (RCS). Os corpos de prova foram moldados em cilindros de 5cm de diâmetro por 10cm de altura e acondicionados em câmara com temperatura controlada em 23°C com tempos de cura de 7, 18 e 28 dias. Os corpos de prova foram rompidos em prensa hidráulica, conforme a NBR 12025 (ABNT, 2004).

4 Resultados e Discussão

Nos resultados médios de RCS (Figura 1) nota-se que, maiores teores de ligante, peso específico e tempo de cura resultaram em maiores resistências. O melhor tratamento de RMF-LAA (25% ligante, 22,8% ω e 15,3 kN/m^3 γ_d) atingiu uma RCS média de 2,16MPa em 28 dias a 23°C, representando um acréscimo de 61% comparado a de 7 dias a 23°C (1,34MPa).

Figura 1 – Resultado médio do ensaio de Resistência a Compressão Simples.



Em comparação com o outro estudo realizado pelo grupo de pesquisa, utilizando o RMF e ligante de Cinza de Bagaço de Cana-de-Açúcar (CBCA) com CCO, obtiveram os resultados de melhor RCS com teor de ligante em 25% e peso específico seco de 15,3kN/m³, atingindo uma RCS de 3,14 MPa em 7 dias a 23°C, sendo que para estas variáveis, o ligante CBCA+CCO é melhor para o aumento da RCS.

O aumento do teor de ligante nas misturas promoveu a precipitação de maior quantidade de produtos cimentantes, contribuindo diretamente para a maximização da RCS. Além disso, o aumento do peso específico aparente seco promoveu maiores pontos de contato entre as partículas, em função da menor porosidade, potencializando uma maior mobilização de atrito e intertravamento, contribuindo assim, para o aumento de resistência. E com o aumento do tempo de cura, a formação dos géis cimentantes foi mais eficaz, contribuindo também para o aumento de RCS.

5 Conclusão

A incorporação do ligante de CCA+CCO ao rejeito de mineração conferiu a uma mistura satisfatória com relação ao comportamento mecânico, sendo que maiores teor de ligante, peso específico e tempo de cura resultaram em maiores RCS. Assim, a mistura desenvolvida pode ser benéfica para uso em obras da engenharia como base, sub-base e/ou subleito de pavimentos substituindo um agente cimentante comercial.

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.

CONSOLI, N. C.; CAICEDO, A. M. L.; BECK SALDANHA, R.; FILHO, H. C. S.; ACOSTA, C. J. M. Eggshell Produced Limes: Innovative Materials for Soil Stabilization. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 32, n. 11, p. 06020018, 2020.

DE JESUS, C. A. G.; JOAQUIM, L. G. Sumário Brasileiro Mineral 2020: Ferro. **Agência Nacional de Mineração**, p. 1–3, 2020.

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.

LEVANDOSKI, W. M. K. **Resistência e Mineralogia de Rejeito de Mineração de Ferro Estabilizado com Ligante Álcali-Ativado Oriundo de Cinza de Bagaço de Cana-de-Açúcar e Cal de Casca de Ovo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, 2021.

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.

NGOYA, T.; ARANSIOLA, E. F.; OYEKOLA, O. Optimisation of Biodiesel Production from Waste Vegetable Oil and Eggshell Ash. **South African Journal of Chemical Engineering**, [s.i.], v. 23, n. 1, p. 1-156, jun. 2017.

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.

REIS, J. B. **Mistura compactada de solo residual argiloso e ligante de Cinza de casca de arroz e cal de casca de ovo: comportamento Reativo e mecânico mediante ataque ácido**. 2021. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, 2021.

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

Nº de Registro no sistema Prisma: PES 2022-0210

Financiamento

FAPERGS.