

## ESTABILIZAÇÃO DE AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO COM LIGANTE ÁLCALI-ATIVADO ORIUNDO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ E CAL DE CASCA DE OVO

MARIA ALICE PIOVESAN<sup>1,2\*</sup>, CLAUDIO LUIZ POMPERMAIER<sup>2,3</sup>, PEDRO  
GABRIEL MASCHIO ZOTTI<sup>2,4</sup>, BRUNO MENEGOLLA<sup>2,5</sup>, EDUARDO PAVAN  
KORF<sup>2,6</sup>

### 1 Introdução

Dados do *Census of World Casting Production* (WFO, 2021) indicam que, no ano de 2019, foram produzidas 109 milhões de toneladas de metais fundidos. O Brasil ocupou a posição de 10º maior produtor, com 2,28 milhões de toneladas. A indústria da fundição é um segmento da economia caracterizado pela produção de bens intermediários, fornecendo peças fundidas para diversas outras indústrias. O processo produtivo consiste na fusão de ferro, aço ou ligas não-ferrosas visando obter as propriedades desejadas ao produto final. Dessa forma, os metais na forma líquida são vazados no interior de moldes de areia com o formato pretendido (Biolo, 2005).

Os moldes são frequentemente reutilizados durante o processo de fundição. No entanto, após o uso repetitivo, a areia utilizada perde qualidade e torna-se inadequada para esse fim, sendo descartada como resíduo (Kumar; Silori; Kumar Sethy, 2023). Para cada tonelada de metal fundido, é gerada cerca de 0,6 tonelada de areia descartada de fundição (ADF), totalizando cerca de 62,64 milhões de toneladas anuais em todo o mundo (Sandhu; Siddique, 2019). Devido ao grande passivo ambiental gerado pelo descarte da ADF, diversos estudos vêm buscando reutilizar o resíduo como material geotécnico ou de construção, por possuir propriedades semelhantes às da areia natural (Kumar; Silori; Kumar Sethy, 2023). A estabilização/solidificação (S/S) com cimento Portland é um método eficaz em termos de custo e tempo para a descontaminação da ADF. No entanto, a produção do cimento tradicional é responsável por até 8% das emissões globais de CO<sub>2</sub>, tornando a técnica insustentável do ponto de vista ambiental e necessária a busca por tecnologias inovadoras (Andrew, 2019).

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 Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental, UFFS, *campus* Erechim.

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

<sup>5</sup> Acadêmico do curso de Agronomia, UFFS, *campus* Erechim,

<sup>6</sup> Docente dos cursos de Engenharia Ambiental e Sanitária e Arquitetura e Urbanismo, UFFS, *campus* Erechim, **orientador**.

Os ligantes álcali-ativados vêm ganhando destaque como alternativa promissora ao cimento Portland. Esses aglomerantes são obtidos pela reação de um aluminossilicato sólido (denominado precursor) em condições alcalinas (induzidas por um ativador alcalino) (Provis, 2018). Resíduos agroindustriais vêm sendo utilizados no desenvolvimento desses produtos, resultando em vantagens industriais e econômicas (Secco *et al*, 2021). Exemplos de materiais que podem ser utilizados para tal são a cinza de casca de arroz (CCA, precursor) e cal de casca de ovo hidratada (CCOH, fonte de cálcio). Nesse sentido, este trabalho busca avaliar a viabilidade técnica da estabilização de areia descartada de fundição através de um ligante álcali-ativado, obtido a partir de cinza de casca de arroz, cal de casca de ovo hidratada e hidróxido de sódio.

## 2 Objetivos

Avaliar resistência à compressão simples, durabilidade, lixiviação de metais, mineralogia e microestrutura de misturas de areia descartada de fundição com ligante álcali-ativado oriundo de cinza de casca de arroz e cal de casca de ovo.

## 3 Metodologia

Os materiais utilizados foram areia descartada de fundição (ADF), cinza de casca de arroz (CCA) e cal de casca de ovo hidratada (CCOH). O ligante álcali-ativado (LAA) foi desenvolvido por Paixão (2022) e apresenta relação CCOH/CCA de 0,25 e concentração molar de solução ativadora (NaOH) de 1M. Para a estabilização da ADF foram avaliadas as razões ADF/LAA de 85/15, 80/20 e 75/25 baseadas em estudos da literatura (Bruschi *et al*, 2022; Ferrazzo *et al*, 2023).

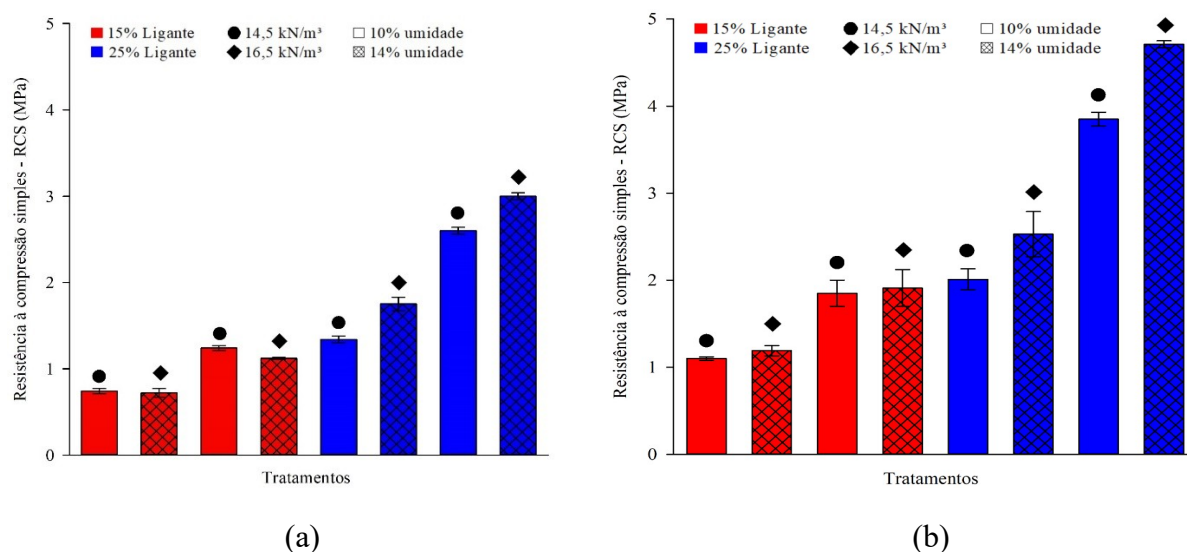
Com base em ensaio de Proctor para energia modificada, conforme D1557 (ASTM, 2012), foram estabelecidos os teores de umidade (10 e 14%) e pesos específicos (14,5 e 16,5 kN/m<sup>3</sup>) para a moldagem dos corpos de prova. Foram considerados os tempos de cura de 7 e 28 dias, em temperatura ambiente (23 °C). Para o ensaio de resistência à compressão simples (RCS), o material foi compactado estaticamente em três camadas de um corpo de prova cilíndrico (50 mm de diâmetro e 100 mm de altura). O ensaio seguiu a metodologia da ASTM C39 (ASTM, 2020). A durabilidade foi determinada conforme ASTM D559 (ASTM, 2015) para os tratamentos de melhor e pior desempenhado mecânico após 7 e 28 dias de cura. Para tal, foram produzidos corpos de prova de 100 mm de diâmetro e 127,3 mm de altura. O processo de moldagem foi o mesmo utilizado para os corpos de prova destinados ao ensaio de RCS.

A lixiviação de metais também foi avaliada para as misturas de melhor e pior desempenho mecânico para os diferentes tempos de cura. O ensaio foi realizado conforme NBR 10005 (ABNT, 2004). Adicionalmente, foram investigadas as características mineralógicas e microestruturais dos melhores tratamentos. A mineralogia e a microestrutura foram avaliadas por Difractometria de Raios X (DRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), respectivamente.

#### 4 Resultados e Discussão

A Figura 1 exibe os resultados de RCS para os diferentes tratamentos. O melhor tratamento (25% LAA, 16,5 kN.m<sup>-3</sup> e 14% w) atingiu uma RCS de 4,71 MPa aos 28 dias de cura, enquanto o pior (15% LAA, 14,5 kN.m<sup>-3</sup> e 10%w) atingiu 1,10 MPa. Aos 7 dias de cura, a RCS variou de 0,72 a 3,00 MPa. Verifica-se que o aumento dos fatores controláveis, como maior teor de ligante, peso específico e umidade, resulta em maior resistência. O ligante adicional promove a precipitação de maior quantidade de produtos cimentícios, enquanto o aumento do peso específico intensifica os pontos de contato entre as partículas, melhorando a resistência. A umidade favorece as reações de polimerização e condensação, essenciais para a dissolução de aluminossilicatos. Além disso, o tempo de cura prolongado permite o contínuo desenvolvimento dos produtos de reação, aumentando ainda mais a RCS (Ferrazzo *et al*, 2023).

Figura 1: Resultados de RCS aos 7 (a) e 28 (b) dias de cura.



Fonte: Os autores

Em relação à durabilidade, as amostras com maior teor de ligante e peso específico (A) apresentaram as menores perdas de massa, com resultados similares aos 7 e 28 dias de cura. Já as amostras com menor teor de ligante e peso específico (B) apresentaram as maiores perdas de massa, com valores mais elevados aos 7 dias de cura. As razões que tornam as primeiras (A) mais duráveis são semelhantes às que conferem maior RCS aos tratamentos. Nenhuma das amostras apresentou lixiviação de metais em concentrações acima dos limites estabelecidos pelo Anexo F da NBR 10004 (ABNT, 2004), o que indica que não possuem toxicidade.

As amostras A-7 e A-28 apresentam diferença mineralógica: a primeira é constituída por cristobalita, hematita e portlandita, enquanto a segunda é composta por cristobalita, hematita e fucalita. A portlandita foi consumida ao longo do tempo, sugerindo a formação de produtos cimentantes (Ferrazzo *et al*, 2023). Além disso, a presença de fucalita pode indicar a geração de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) (Richardson, 2008). As imagens obtidas através de MEV revelaram uma microestrutura mais porosa aos 7 dias de cura, com a maioria dos grãos de ADF envolvidos parcialmente pelos produtos cimentícios. Aos 28 dias, é observada microestrutura menos porosa, com maior quantidade de géis cimentantes envolvendo a ADF. Isso proporciona uma matriz mais densa, que colabora com o melhor comportamento mecânico.

## 5 Conclusão

Neste estudo, verificou-se que o maior teor de ligante e peso específico influenciam de forma positiva nos valores de RCS e durabilidade das misturas ADF-LAA. Nenhum dos tratamentos testados apresentou toxicidade. Os melhores tratamentos aos 7 e 28 dias de cura apresentaram diferenças mineralógicas e microestruturais entre si, indicando a formação de produtos cimentícios.

## Referências Bibliográficas

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- \_\_\_\_\_. **NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- ANDREW, R. M. Global CO<sub>2</sub> emissions from cement production, 1928-2018. **Earth System Science Data**, v. 11, p. 1675–1710, 2019.
- ASTM – American Society for Testing and Materials. **C39/C39M-20**: Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. Pennsylvania, 2020.

\_\_\_\_\_. **D559/D559M-15**: Standart Test Methods for Wetting and Dryng Compacted Soil-Cement Mixtures. Pennsylvania, 2015.

\_\_\_\_\_. **D1557-12e1**: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2,700 kN-m/ m<sup>3</sup>)). Pennsylvania, 2012.

BIOLO, S. M. **Reuso do resíduo de fundição areia verde na produção de blocos cerâmicos**. 2005. 162 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

BRUSCHI, G. J. *et al.* Leaching assessment of cemented bauxite tailings through wetting and drying cycles of durability test. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 0123456789, p. 59247-59262, 2022.

FERRAZZO, S. T. *et al.* Mechanical and environmental behavior of waste foundry sand stabilized with alkali-activated sugar cane bagasse ash-eggshell lime binder. **Construction and Building Materials**, v. 383, n. 131313, p. 1-18, 2023.

KUMAR, S.; SILORI, R.; KUMAR SETHY, S. Insight into the perspectives of waste foundry sand as a partial or full replacement of fine aggregate in concrete. **Total Environment Research Themes**, v. 6, n. 100048, p. 1-11, 2023.

PAIXÃO, J. K. **Ligante álcali-ativado de cinza de casca de arroz e cal de casca de ovo aplicado no melhoramento de solo residual de basalto**. 2022. 19 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, 2022.

PROVIS, J. L. Alkali-activated materials. **Cement and Concrete Research**, v. 114, p. 40–48, 2018.

RICHARDSON, I. G. The calcium silicate hydrates. **Cement and Concrete Research**, v. 38, n. 2, p. 137–158, 2008.

SANDHU, R. K.; SIDDIQUE, R. Strength properties and microstructural analysis of self-compacting concrete incorporating waste foundry sand. **Construction and Building Materials**, v. 225, p. 371–383, 2019.

SECCO, M. P. *et al.* Live-Scale Testing of Granular Materials Stabilized with Alkali-Activated Waste Glass and Carbide Lime. **Applied Sciences**, v. 11, n. 11286, p. 1-21, 2021.

WFO. Census of World Casting Production - Total Casting Tons Dip in 2019. **Modern Casting**, p. 28-30, 2021. Disponível em: 51.pdf (thewfo.com). Acesso em: 26 jan. 2024.

**Palavras-chave:** Ativação alcalina, Indústria metalúrgica, Lixiviação, Resíduos industriais, Resistência.

**Nº de Registro no sistema Prisma:** PES-2023-0070

**Financiamento:** FAPERGS