

## CIMENTO ÁLCALI-ATIVADO A PARTIR DE CINZA DE CASCA DE ARROZ E CAL DE CASCA DE OSTRAS

ESTELA PAGNONCELLI<sup>1,2\*</sup>, ARTHUR CESCO<sup>2,3</sup>, HENRIQUE MORETTE<sup>2,4</sup>,  
MARLON FRANCISCO FABIAN<sup>2,4</sup>, EDUARDO PAVAN KORF<sup>2,5</sup>

### 1. Introdução

A produção do cimento Portland é um dos maiores desafios ambientais da atualidade, respondendo por aproximadamente 5% a 8% das emissões globais de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Chen et al., 2022; Walkley e Provis, 2019). Esse impacto decorre principalmente do processo de calcinação do calcário e da queima de combustíveis fósseis em altas temperaturas, o que reforça a urgência por alternativas sustentáveis (Shukla et al., 2022). Neste contexto, os cimentos alcalinos (CA) surgem com solução promissora por incorporarem resíduos industriais como matéria-prima, diminuindo assim o impacto ambiental gerado pela construção civil.

Diante disso, este estudo concentra-se na valorização de dois resíduos: a cinza de casca de arroz (CCA) e a cal de casca de ostra hidratada (CCOH). A CCA é um subproduto oriundo da agroindústria resultado da queima das cascas como um biocombustível para o processo de parboilização do arroz ou para a geração de energia em termoeletricas (Kieling et al., 2020; Kumar Das et al., 2022). Na safra dos anos 2023, o Brasil encerrou como 11º maior produtor mundial de arroz (10,28 milhões de toneladas) (FAO, 2025). As cascas de arroz correspondem a cerca de 20% da totalidade e, após o processo de queima, restam 20%, ou seja, para cada 1000kg de arroz produzido, 200kg de CCA são obtidos. A combinação com CCOH, produzida por calcinação, apresenta vantagens técnicas e ambientais: enquanto a CCA oferece ±90% de sílica, a CCOH contribui como uma fonte suplementar de cálcio, e favorece a formação dos géis cimentantes. (Liu et al., 2022).

---

1Acadêmica do curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Fronteira Sul, **Bolsista**, *campus* Erechim – RS, contato: estelaantoniazzip@gmail.com

2Grupo de Pesquisa em Resíduos e Geotecnia Ambiental - REGEOAMB

3Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Erechim – RS

4Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Erechim – RS

5Doutor em Engenharia Civil/Geotecnia, docente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária e Arquitetura e Urbanismo, UFFS, *campus* Erechim-RS, Orientador.

Nesse sentido, este estudo avalia as melhores condições de dosagem destes resíduos, juntamente com o hidróxido de sódio (NaOH), que atua como ativador alcalino, para o desempenho mecânico no desenvolvimento de um CA, identificando a presença dos géis cimentantes.

## **2. Objetivos**

O objetivo do estudo é avaliar o desempenho mecânico de um ligante álcali-ativado produzido a partir de resíduos de CCA e CCOH.

## **3. Metodologia**

A pesquisa utilizou como precursor a cinza de casca de arroz (CCA), como fonte de cálcio a cal de casca de ostra hidratada (CCOH) e como ativador alcalino o hidróxido de sódio (NaOH). A CCA foi obtida através de uma indústria termoeletrica localizada no estado do Rio Grande do Sul, sendo que seu processo consiste na queima controlada, secagem e peneiramento para obtenção de partículas com granulometria de 75  $\mu\text{m}$ . A CCOH foi produzida em laboratório por calcinação das cascas de ostra a  $1000 \pm 50$   $^{\circ}\text{C}$ , seguida de hidratação, moagem manual e trituração em moinho de martelo, além do peneiramento com granulometria de 75  $\mu\text{m}$ . Como ativador alcalino, foi utilizado hidróxido de sódio (NaOH) com 98% de pureza, dissolvido em água destilada.

O delineamento experimental investigou a influência da concentração de NaOH (1, 3, 5, 7 e 9 M), do tempo de cura (7, 14, 28, 63 e 91 dias) e da razão CCA/CCOH (90/10(9); 80/20(4); 70/30(2,3) e 60/40(1,5)). As misturas foram moldadas em corpos cilindros de PVC (37mm diâmetro X 74mm altura), anteriormente vedados com plástico no fundo, e então golpes foram aplicados até que se notasse a falta de bolhas de ar. Após o período de cura controlada ( $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ), os corpos de prova foram submetidos a ensaios de resistência à compressão não confinada, conforme a norma ASTM C39/C39M (ASTM, 2020), e os melhores resultados foram submetidos a análises de Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), para identificação de géis cimentantes formados.

Com relação às classificações ambientais da CCA e da CCOH, em acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004), ambos os resíduos são não perigosos e não inertes, o que evidencia o potencial de aplicação como matéria-prima de cimentos alcalinos (CA).

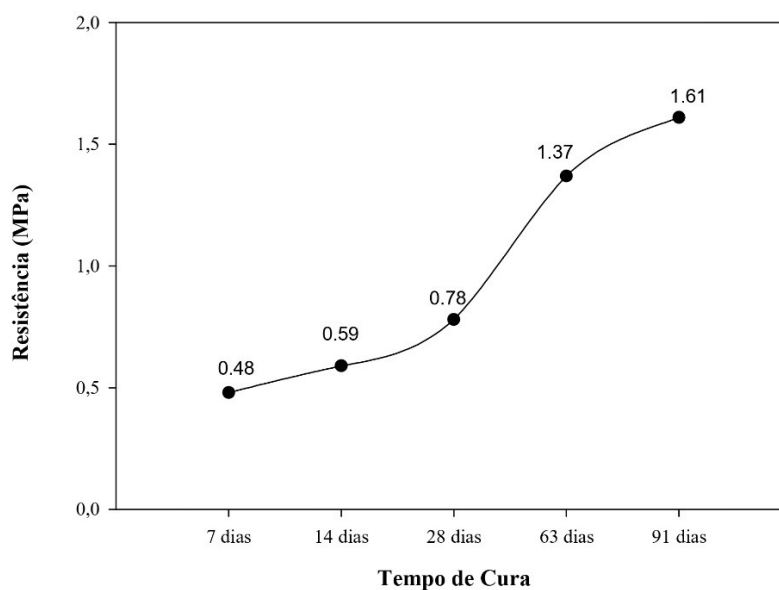
## 4. Resultados e Discussões

### 4.1 Resistência à compressão não confinada (UCS)

Os resultados demonstram que o ligante álcali-ativado produzido a partir da CCA e CCOH apresentou evolução de resistência mecânica média ao longo do período de cura (Gráfico 1). A resistência média variou entre 0,48 MPa aos 7 dias e 1,61 MPa aos 91 dias, indicando o desenvolvimento progressivo da matriz cimentante. Observou-se uma fase inicial de desenvolvimento aos 7 e 14 dias de cura, passando de 0,48 MPa para 0,59 MPa, resultado atribuído ao avanço das reações de ativação alcalina e à formação inicial dos produtos cimentantes.

Aos 28 dias ocorreu um aumento significativo das UCS, passando de 0,78 MPa para 1,37 MPa, aos 63 dias. Esse comportamento pode estar ligado à reorganização da microestrutura durante o processo de cura. Aos 91 dias de cura foi obtida a maior resistência (1,61 MPa), indicando que o sistema continuou desenvolvendo produtos cimentantes ao longo do tempo. Esse comportamento é característico de ligantes álcali-ativados ricos em sílica e cálcio, nos quais a formação e o rearranjo dos géis cimentantes ocorrem de maneira gradual, promovendo a densificação da matriz e, consequentemente, da resistência (García Lodeiro et al., 2011).

**Gráfico 1. Efeito da molaridade e tempo de cura na resistência à compressão não-confinada (UCS) média**



## 4.2 FTIR

A análise por Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) permitiu identificar as principais alterações químicas promovidas pelo processo de ativação alcalina da mistura composta por cinza de casca de arroz (CCA) e cal hidratada de casca de ostra (CCOH). Os espectros apresentaram bandas características das ligações Si–O–Si e Si–O–Al, indicando a reorganização estrutural da sílica e a formação dos produtos cimentantes responsáveis pelo endurecimento do material. Também foram observadas bandas relacionadas aos grupos hidroxila (O–H), associadas à água presente nos compostos hidratados formados durante o processo de cura.

Os resultados obtidos corroboram o desenvolvimento das reações de ativação alcalina e estão em concordância com o comportamento observado nos ensaios de resistência à compressão, evidenciando a formação gradual da matriz cimentante ao longo da cura. Resultados semelhantes foram descritos por García-Lodeiro (2015), que relatam a formação de géis do tipo C-(A)-S-H que constitui o principal mecanismo responsável pelo ganho de resistência em ligantes álcali-ativados em sílica e cálcio.

## 5. Conclusão

Considerando os níveis de resistência obtidos, conclui-se que o ligante álcali-ativado formulado a partir de cinza de casca de arroz, cal de casca de ostra hidratada e hidróxido de sódio (NaOH), pode ser considerado para aplicações não estruturais, como argamassas, blocos de vedação e estabilização de solos, desde que seja submetido a avaliações complementares específicas para cada aplicação.

## Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004:2004: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM C39/C39M-20: standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020. Disponível em: [https://www.astm.org/c0039\\_c0039m-21.html](https://www.astm.org/c0039_c0039m-21.html). Acesso em: jul. 2026.

CHEN, P.; SHI, W.; LIU, Y.; CAO, X. Déficit de taxa de deslizamento particionado por sistema de dobramento de falhas na zona de falha ativa de Haiyuan, Planalto Tibetano

Nordeste. *Journal of Structural Geology*, v. 155, art. 104516, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2022.104516>. Acesso em: jul. 2026.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). FAOSTAT: Crops and livestock products (código QCL). Rome: FAO, 2025. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso em: jul. 2026.

GARCÍA-LODEIRO, I.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A.; PALOMO, A.; MACPHEE, D. E. Effect of calcium additions on N–A–S–H cementitious gels. *Cement and Concrete Research*, v. 41, n. 3, p. 292–303, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.11.001>. Acesso em: jul. 2026.

KIELING, A. G.; BREHM, F. A.; KULAKOWSKI, M. P.; MORAES, C. A. M. Influência do processo de combustão nas características das cinzas de cascas de arroz. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 3, n. 3, p. 2106–2116, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34188/bjaerv3n3-122>. Acesso em: jul. 2026.

KUMAR DAS, S.; ADEDIRAN, A.; RODRIGUE, C.; MOHAMMED, S.; LEKLOU, N. Production, characteristics, and utilization of rice husk ash in alkali-activated materials: an overview of fresh and hardened state properties. *Construction and Building Materials*, v. 345, art. 128341, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128341>. Acesso em: jul. 2026.

LIU, S. *et al.* Sustainable use of waste oyster shells in cementitious materials. *Materials*, v. 15, n. 14, art. 4886, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma15144886>. Acesso em: jul. 2026.

SHUKLA, P. R. *et al.* Mudanças climáticas 2022: mitigação das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho III para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Resumo para Formuladores de Políticas. [S. l.]: IPCC, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>. Acesso em: jul. 2026.

WALKLEY, B.; PROVIS, J. L. Solid-state nuclear magnetic resonance spectroscopy of cements. *Materials Today Advances*, v. 1, art. 100007, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mtadv.2019.100007>. Acesso em: jul. 2026.

**Palavras-chave:** álcali-ativação; resíduos sólidos; resistência à compressão não-confinada

**Nº de Registro no sistema Prisma:** PES-2025-0233

**Financiamento – PROBIC-FAPERGS**