

## LIGANTE ÁLCALI-ATIVADO COM UTILIZAÇÃO DE SILICATO DE SÓDIO ADVINDO DA CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

JONAS DUARTE MOTA<sup>1,2</sup>, RAFAELA POLLON<sup>2,3</sup>, GIOVANI JORDI BRUSCHI<sup>2,4</sup>,  
WILLIAM MATEUS KUBIAKI LEVANDOSKI<sup>2,5</sup>, EDUARDO PAVAN KORF<sup>2,6</sup>

### 1 Introdução

A produção de cimento Portland mundial é de aproximadamente 3,5 bilhões de toneladas anualmente, e durante o processo de produção do cimento Portland, para cada tonelada processada, é emitido cerca de uma tonelada de CO<sub>2</sub> na atmosfera, representando 7% da emissão global (Fennell; Davis; Mohammed, 2021). No Brasil foram geradas cerca de 66,5 milhões de toneladas de cimento Portland no ano de 2023 (SNIC, 2023), gerando um grande impacto na emissão de dióxido de carbono. Para diminuir os impactos causados, a busca por cimentos alternativos tem aumentado cada vez mais (Provis, 2018).

Uma alternativa para o uso do cimento Portland são os Ligantes álcali-ativados (LAA) também chamados de cimentos alcalinos, que são produzidos pela ativação alcalina de materiais precursores ricos em aluminossilicatos (Provis, 2018), em conjunto com uma fonte de cálcio, podendo gerar silicato de sódio e géis cimentantes. Esta alternativa pode reduzir até 64% nas emissões de gases do efeito estufa (McLellan *et al.*, 2011). Dois resíduos precursores para uso em LAA são a cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA), com um alto teor de sílica amorfa (Ferrazzo *et al.*, 2023), e a cal de carbureto (CC), uma rica fonte de cálcio (Consoli *et al.*, 2021).

No Brasil, são geradas 5,1 toneladas de CBCA anualmente, sendo a maior parte descartada em aterros industriais. A CBCA é uma importante fonte de aluminossilicatos, favorecendo seu uso em LAA's (Ferrazzo *et al.*, 2023) para produção de silicato de sódio alternativo. Já a CC, é subproduto da produção de gás acetileno, com altos teores de CaO (71,10%), o que favorece a reação e diminui a concentração de ativador alcalino utilizado (Consoli *et al.*, 2021). O desenvolvimento deste ligante favorece para a redução das emissões

<sup>1</sup> Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, bolsista, campus Erechim RS, contato: jonasduartemota@gmail.com

<sup>2</sup> Grupo de Pesquisa em Resíduos e Geotecnia Ambiental (REGEOAMB).

<sup>3</sup> Mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, campus Erechim RS.

<sup>4</sup> Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, campus Porto Alegre RS.

<sup>5</sup> Doutorando em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, campus Erechim RS.

<sup>6</sup> Doutor em Engenharia Civil, docente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária - UFFS, campus Erechim RS, orientador, contato: eduardo.korf@uffs.edu.br

de carbono, além de gerar uma valorização dos resíduos agroindustriais utilizados. Portanto, o presente trabalho busca otimizar as condições para o desenvolvimento de um LAA, a partir de CBCA e CC, usando NaOH como ativador alcalino.

## 2 Objetivos

Avaliar o comportamento mecânico de um ligante álcali-ativado, composto por cinza de bagaço de cana-de-açúcar e cal de carbureto, com ativador de hidróxido de sódio, buscando as melhores condições para uma melhor resistência.

## 3 Metodologia

A CBCA advém de uma indústria sucroalcooleira da cidade de Porto Xavier-RS e a cal de carbureto provém da cidade de Sapucaia do Sul-RS, de uma planta de produção de gás acetileno. O hidróxido de sódio foi utilizado como ativador dos aluminossilicatos e possui pureza mínima de 99%. A massa específica da CBCA é de  $2,08 \text{ g/cm}^3$ , com uma área superficial de  $125,15 \text{ m}^2/\text{g}$  (Levandoski *et al.*, 2023). Já para a cal de carbureto tem-se uma massa específica de  $2,32 \text{ g/cm}^3$  e a área superficial é de  $26,20 \text{ m}^2/\text{g}$  (Pelisser *et al.*, 2023). A distribuição granulométrica da CBCA e da cal de carbureto é predominantemente de silte, com 90,13% e 88,67% respectivamente (Levandoski *et al.*, 2023; Pelisser *et al.*, 2023). A composição química feita através de Espectrometria por Fluorescência de Raios-X (FRX), apresenta que a CBCA contém  $\text{SiO}_2$  como predominante com 60,62%, seguido por  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  com 13,87% (Levandoski *et al.*, 2023). E a CC contém CaO como predominância, com 71,10% (Pelisser *et al.*, 2023).

Com a análise de Difratometria de Raios-X (DRX), a composição mineralógica de cada material revela que a CBCA contém quartzo e hematita (Levandoski *et al.*, 2023), e a cal de carbureto portlandita e calcita (Pelisser *et al.*, 2023). As amostras foram avaliadas em dois métodos diferentes, o *one part*, que consiste em misturar todos os materiais sólidos (CC+CBCA+NaOH) previamente e após adicionar água para que ocorra a reação de álcali-ativação, e o método *two part*, que junta a cinza e a cal como sendo a parte dos sólidos, e após adiciona a solução de NaOH para efetivar a mistura. O tempo de cura foi fixado em 7d. As relações CBCA/CC estudadas foram de 90/10, 80/20, 70/30 e 60/40, com molaridades de ativador alcalino de 1,0M, 1,5M, 2,0M e 2,5M. O teor de líquido/sólido foi fixado em 1,40.

Para avaliar o comportamento mecânico do ligante, foi realizado ensaio de Resistência à Compressão Simples (RCS) (ASTM, 2010), a partir de misturas álcali-ativadas com os

métodos *two part* e *one part*. Os corpos de prova foram moldados em cilindros de PVC de 74 mm de altura por 37 mm de diâmetro e acondicionados em câmara com temperatura controlada em 23°C para o tempo de cura de 7 dias (ASTM, 2021).

#### 4 Resultados e Discussão

Conforme mostrado na Figura 1 e 2, os melhores resultados de resistência foram para a relação de 80/20 com 1,5M de ativador (3,86% de álcalis), para ambos os métodos. Percebe-se também que o método *two part* se mostrou mais eficiente para o aumento da resistência do material no tempo de cura de 7 dias.

Em comparação ao ligante usado por Bruschi *et al.* (2021) e por Pereira dos Santos *et al.* (2022), que encontrou uma melhor relação de CBCA/CC em 70/30, com o mesmo teor de álcalis deste estudo (3,86%), percebe-se que a RCS ficou próxima de 540 kPa para o método *two part*, e 450 kPa para o método *one part*. Além disso, nota-se que para maiores molaridades de ativador adicionado, a resistência diminui. Isso acontece, pois para maiores molaridades de ativador, é necessário uma maior quantidade de CC para manter uma boa resistência (Bruschi *et al.*, 2021).

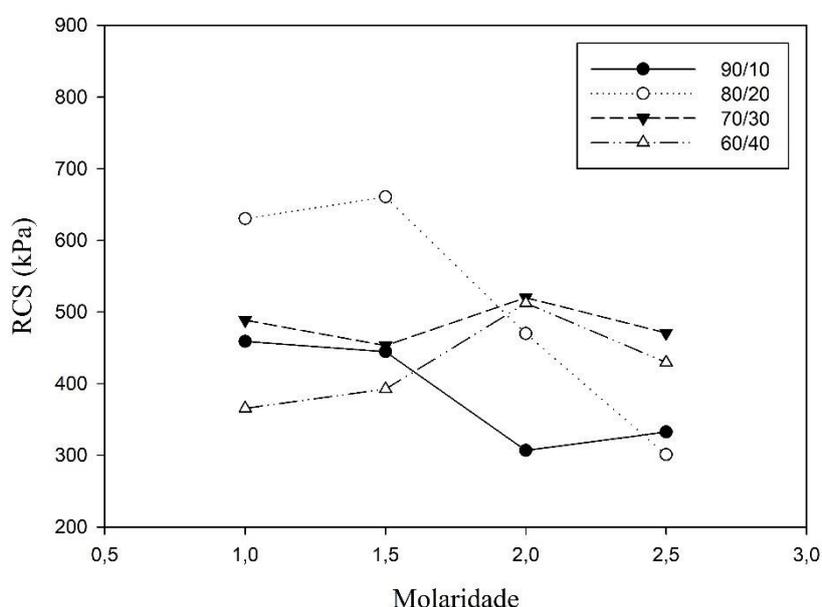


Figura 1. Resultado de RCS pelo método *one part*.

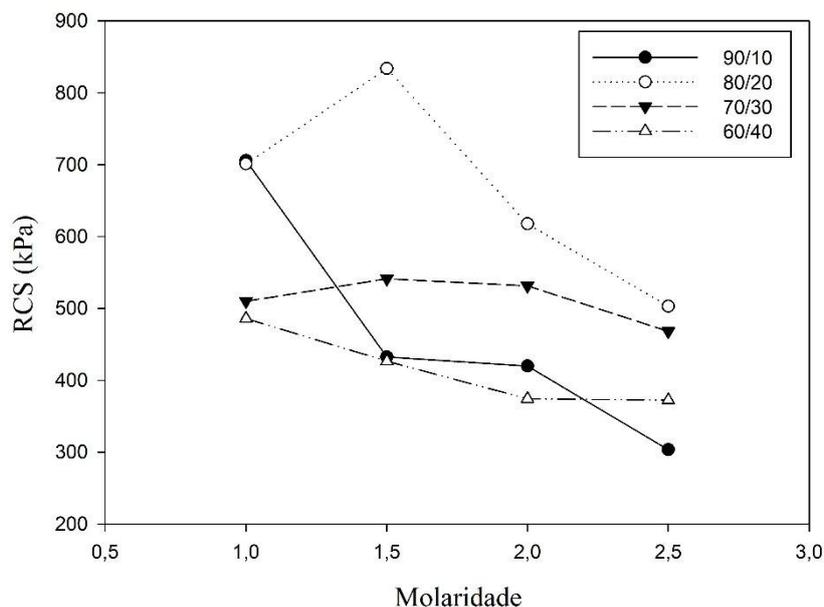


Figura 2. Resultado de RCS pelo método *two part*.

## 5 Conclusão

Conforme os resultados apresentados, conclui-se que o LAA desenvolvido apresenta uma melhor resistência mecânica na relação de CBCA/CC de 80/20 com molaridade de ativador em 1,5M em sistema *two part* e para tempo de cura de 7 dias. Este resultado pode ser maior, quando estudado para maiores tempo de cura, mas satisfatório para aplicação em solos residuais ou rejeitos para estabilização.

## Referências Bibliográficas

ASTM. **C39**. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. Pennsylvania, 2023.

ASTM. **C511**. Standard Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes. Pennsylvania, 2021.

BRUSCHI, Giovani Jordi *et al.* Green Stabilization of Bauxite Tailings: Mechanical Study on Alkali-Activated Materials. **Journal of Materials in Civil Engineering**, [s. l.], v. 33, n. 11, 2021.

CONSOLI, Nilo Cesar *et al.* Ground waste glass-carbide lime as a sustainable binder stabilising three different silica sands. **Géotechnique**, [s. l.], v. 71, n. 6, p. 480–493, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1680/jgeot.18.P.099>.

FENNELL, Paul S; DAVIS, Steven J; MOHAMMED, Aseel. Decarbonizing cement production. **Joule**, [s. l.], v. 5, n. 6, p. 1305–1311, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435121001975>.

FERRAZZO, Suéllen Tonatto *et al.* Metal encapsulation of waste foundry sand stabilized with alkali-activated binder: Batch and column leaching tests. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 348, 2023.

LEVANDOSKI, William Mateus Kubiaki *et al.* Mechanical and microstructural properties of iron mining tailings stabilized with alkali-activated binder produced from agro-industrial wastes. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 13, n. 1, 2023.

MCLELLAN, Benjamin C *et al.* Costs and carbon emissions for geopolymer pastes in comparison to ordinary portland cement. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 19, n. 9, p. 1080–1090, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652611000680>.

PELISSER, Giovana *et al.* Rice husk ash-carbide lime as an alternative binder for waste foundry sand stabilization. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 30, n. 14, p. 42176–42191, 2023.

PEREIRA DOS SANTOS, Carolina *et al.* Stabilization of gold mining tailings with alkali-activated carbide lime and sugarcane bagasse ash. **Transportation Geotechnics**, [s. l.], v. 32, p. 100704, 2022. Disponível em: Acesso em: 16 ago. 2024.

PROVIS, John L. **Alkali-activated materials**. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2018.

**Palavras-chave:** Agentes cimentantes; Ativação alcalina; Cal de carbureto; Resistência.

**Nº de Registro no sistema Prisma: PES 2023 - 0069**

#### **Financiamento**

CNPq