

Síntese e caracterização de geopolímeros produzidos a partir de rejeitos de mineração

Luádiny V. L. Santos¹, Caroline D. Prates¹, Ana Paula C. Teixeira^{1*}

¹UFMG, Departamento de Química/Icex, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 31270-901

*e-mail: anapct@ufmg.br

Resumo/Abstract

RESUMO - Os geopolímeros são materiais inorgânicos obtidos pela ativação alcalina de aluminossilicatos, com aplicações na construção civil e como adsorventes. A utilização de rejeitos de mineração na sua produção reduz impactos ambientais e o consumo de matérias-primas naturais. Neste trabalho, rejeitos de mineração de ferro, nióbio e serpentinito foram testados como carga em substituição à areia na produção de geopolímeros. Os rejeitos, majoritariamente cristalinos e ricos em silício, foram caracterizados por DRX, FRX, TG, FTIR e MEV/EDS e utilizados em proporções de 25, 50 e 100%. Os melhores resultados de resistência mecânica à compressão foram obtidos com 50% de rejeito, superando o material sem adição de resíduos. Ensaios com cura de 3 a 28 dias mostraram estabilização da resistência antes de 14 dias, com valores acima de 38 MPa. O geopolímero com rejeito de ferro apresentou o melhor desempenho, atingindo 48 MPa em 14 dias, superando concretos convencionais (~25 MPa em 28 dias), demonstrando potencial para aplicações estruturais e ambientais.

Palavras-chave: Geopolímeros, Rejeitos de mineração, Adsorção, Captura de poluentes, Sustentabilidade

ABSTRACT - Geopolymers are inorganic materials obtained by the alkaline activation of aluminosilicates, with applications in civil construction and as adsorbents. The use of mining waste in their production reduces environmental impacts and the consumption of natural raw materials. In this work, iron, niobium, and serpentinite mining wastes were tested as fillers replacing sand in geopolymer production. The wastes, mostly crystalline and rich in silicon, were characterized by XRD, XRF, TG, FTIR, and SEM/EDS and used in proportions of 25, 50, and 100%. The best compressive strength results were obtained with 50% waste, surpassing the material without residues. Tests with curing times from 3 to 28 days showed strength stabilization before 14 days, with values above 38 MPa. The geopolymer with iron waste achieved the best performance, reaching 48 MPa at 14 days, outperforming conventional concrete (~25 MPa at 28 days), demonstrating potential for structural and environmental applications, including pollutant adsorption.

Keywords: Geopolymers, Mining waste, Adsorption, Pollutant capture, Sustainability

Introdução

Os geopolímeros podem ser definidos como polímeros inorgânicos obtidos pela ativação alcalina de aluminossilicatos e apresentam diversas aplicações, dentre elas a substituição do cimento na construção civil e a utilização como adsorvente para contaminantes (1). A utilização de rejeitos de mineração para produção desses materiais reduz a necessidade de extrair novas matérias-primas, além de diminuir a quantidade de resíduos gerados e os impactos causados pelo seu armazenamento (2). Neste trabalho três diferentes rejeitos de mineração foram testados para produção de geopolímeros: mineração de ferro, nióbio e serpentinito.

Experimental

Todos os rejeitos foram caracterizados pelas técnicas de difração de raios X (DRX), fluorescência de raios X (FRX), análise termogravimétrica (TG), espectroscopia na região do infravermelho (FTIR) e microscopia eletrônica de varredura (MEV/EDS).

Na produção dos geopolímeros, todos os rejeitos foram utilizados apenas como carga, e não como precursor, já que pelos resultados de caracterização foram observadas composições majoritariamente cristalinas, com alto teor de silício. Como fonte de aluminossilicato foi utilizado o metacaulim (Metacaulim do Brasil). A solução ativadora foi uma mistura de 25% de solução hidróxido de sódio 10 mol.L⁻¹ e 75% de solução de silicato de sódio comercial (Sulfal Química). Estudos preliminares indicam que uma composição geopolimérica com bons resultados de resistência é composta por 50% de matriz geopolimérica e 50% de carga. A carga geralmente utilizada é areia média, podendo ser substituída por outros materiais que não reagem com a matriz (2). Para os testes com os rejeitos em estudos, foi mantida a composição padrão de 50% de matriz e 50% de areia, e foram testadas substituições da areia por rejeito nas seguintes proporções: 25%, 50% e 100%.

No preparo dos materiais, inicialmente foram misturados os componentes sólidos e em seguida foi adicionada a solução ativadora. Os materiais foram misturados até completa homogeneização e foram adicionados em moldes

cilíndricos. Os materiais foram desmoldados após 24 horas de cura e passaram por testes de resistência mecânica à compressão após 7 dias de cura. Os testes foram realizados em triplicata.

Para cada rejeito, a composição que apresentou melhor resultados foi novamente produzida, porém dessa vez foram produzidos 12 corpos de prova por composição, para realização em triplicata de testes de resistência mecânica à compressão após cura de 3, 7, 14 e 28 dias.

Resultados e Discussão

Os resultados dos testes de caracterização indicaram que todos os rejeitos são compostos majoritariamente por fases cristalinas ricas em silício, sendo que no rejeito de ferro observa-se majoritariamente quartzo, no rejeito de nióbio fases de quartzo, clinoclóro e hidrobiotita e no serpentinito as fases de antigorita e talco. Sabendo-se que materiais cristalinos geralmente são pouco reativos na reação de formação de geopolímeros, os rejeitos foram utilizados apenas como carga.

Os geopolímeros produzidos passaram por testes de resistência mecânica à compressão e os resultados são observados na Figura 1. Os geopolímeros produzidos com 100% de rejeito de nióbio quebraram no momento da desmoldagem, portanto não foram testados. Observa-se que para os geopolímeros com rejeito de ferro e serpentinito, os melhores resultados de resistência foram obtidos com a utilização de 50% de rejeito, e os valores ficaram superiores aos do material sem adição de rejeitos, indicando a eficiência na substituição de parte da areia por rejeito. Na utilização do rejeito de nióbio, a adição de 25 ou 50% de rejeito mostrou valores de resistência muito próximos, de tal forma que definiu-se que os testes posteriores seriam realizados com 50% de rejeito, já que o objetivo principal é adicionar a maior quantidade de rejeito possível, sem prejudicar a performance do material.

Considerando que os melhores resultados foram obtidos utilizando substituição de 50% da carga por rejeito, foram produzidos novos geopolímeros todos com composição de 50% de cada rejeito como carga, e dessa vez foram produzidos 12 corpos de prova de cada composição para realização de testes de resistência (em triplicata) após 3, 7, 14 e 28 dias de cura.

Os resultados dos testes de resistência são mostrados na Figura 2. Observa-se que não há alteração considerável de resistência de 14 para 28 dias, indicando que o material se estabiliza com tempo inferior a 14 dias de cura. Todos os materiais produzidos apresentaram resultados de resistência muito bons após 14 dias de cura (acima de 38 MPa). A composição que apresentou melhor resultado de resistência foi com a utilização do rejeito de ferro, com resultados de resistência mecânica à compressão de 48 MPa com 14 dias de cura.

Figura 1. Resultados dos testes de resistência mecânica à compressão dos geopolímeros com substituições de 0, 25, 50 e 100% de carga por rejeitos de ferro, nióbio e serpentinito

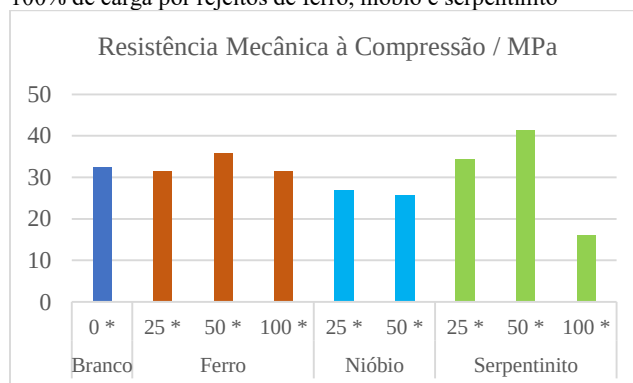
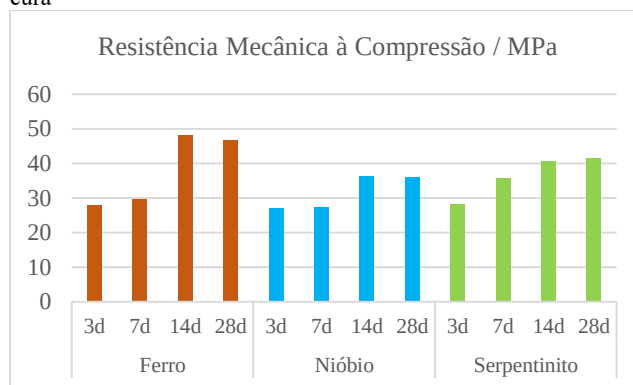


Figura 2. Resultados dos testes de resistência mecânica à compressão dos geopolímeros com substituições 50% de carga por rejeitos de ferro, nióbio e serpentinito após 3, 7, 14 e 28 dias de cura



Conclusões

Os resultados obtidos são muito positivos tendo em vista que são muito superiores aos encontrados em geral com corpos de concreto convencionais que, em sua maioria, são postos a prova apenas após 28 dias de cura e apresentam valores de resistência em torno de 25 MPa, indicando que os materiais produzidos apresentam potencial para serem utilizados na construção civil e em processos de adsorção e catálise

Agradecimentos

Fapemig, CNPq e Capes.

Referências

1. PRATES, C. D. et al., *J. Braz. Chem. Soc.*, 34(6), 809-818, 2023.
2. FERREIRA, I. C. et al., *J. Mater. Res. Technol.*, 18, 4194-4200, 2022.