

Geopolímeros Derivados de Resíduo de Vidro: Síntese e Caracterização

Caroline D. Prates¹, Wladimir T. Silva¹, Ana Gabriela D. Santana¹, Luádiny V. L. Santos¹, Ana Paula C. Teixeira^{1*}

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

*e-mail: anapct@ufmg.br

Resumo/Abstract (Helvética, tam. 12)

RESUMO – Neste trabalho foram produzidos geopolímeros com substituição parcial de matérias-primas convencionais por resíduos de vidro sodo-cálcico (VSC) e borossilicato (VBS), visando redução de custos, valorização de resíduos e avaliação de potencial para aplicações ambientais. Os vidros, oriundos de garrafas e vidrarias quebradas, foram moídos (<120 mesh) e caracterizados por DRX, FRX e FTIR, apresentando estrutura predominantemente amorfa e alto teor de silício, indicativos de boa reatividade geopolimérica. Três composições foram obtidas: matriz convencional e geopolímeros com 10,4% de VBS ou 12,3% de VSC. Após 7 dias de cura, as resistências à compressão atingiram 31 MPa (VBS) e 29 MPa (VSC), superiores aos valores típicos de concretos convencionais. As análises estruturais evidenciaram bandas típicas de ligações Si-O-Al, indicando a formação efetiva de redes geopoliméricas. Essas características, aliadas à estabilidade química dos materiais, sugerem potencial promissor para uso como adsorventes de poluentes em efluentes aquosos, além da substituição do cimento Portland em aplicações de baixa agressividade.

Palavras-chave: Geopolímeros, Resíduos de vidro, Adsorção de poluentes

ABSTRACT - In this work, geopolymers were produced with partial replacement of conventional raw materials by soda-lime glass (VSC) and borosilicate glass (VBS) waste, aiming at cost reduction, waste valorization, and assessment of potential for environmental applications. The glass wastes, obtained from bottles and broken laboratory glassware, were ground (<120 mesh) and characterized by XRD, XRF, and FTIR, showing predominantly amorphous structure and high silicon content, indicating good geopolymeric reactivity. Three compositions were obtained: a conventional matrix and geopolymers with 10.4% VBS or 12.3% VSC. After 7 days of curing, compressive strengths reached 31 MPa (VBS) and 29 MPa (VSC), higher than typical values for conventional concretes. Structural analyses revealed characteristic Si-O-Al bands, confirming the effective formation of geopolymeric networks. These features, combined with the chemical stability of the materials, suggest promising potential for use as pollutant adsorbents in wastewater, in addition to replacing Portland cement in low-aggressiveness applications.

Keywords: Geopolymers, Glass waste, Pollutant adsorption

Introdução

A crescente demanda por materiais sustentáveis e a necessidade de reduzir a geração de resíduos sólidos impulsionam o desenvolvimento de ligantes alternativos ao cimento Portland. Entre eles, os geopolímeros destacam-se por apresentarem elevadas resistências mecânicas, durabilidade e menor impacto ambiental, além de possibilitarem a incorporação de resíduos industriais como precursores (1, 2). O vidro, composto majoritariamente por sílica amorfa e, em alguns casos, por alumina e sódio, é um resíduo amplamente disponível e pouco reaproveitado em aplicações de maior valor agregado. Sua elevada reatividade em meio alcalino o torna um potencial substituto parcial de precursores convencionais, como o silicato de sódio, reduzindo custos e promovendo a valorização de resíduos (3). Além das aplicações estruturais, geopolímeros ricos em sílica e com estrutura amorfa apresentam potencial para usos ambientais, como adsorção de poluentes em efluentes, devido à alta área superficial e à presença de grupos funcionais reativos (4). Nesse contexto, este trabalho avalia

a síntese e caracterização de geopolímeros produzidos com resíduos de vidro sodo-cálcico e borossilicato, visando compreender seu desempenho mecânico e estrutural e discutir sua aplicabilidade em soluções sustentáveis.

Experimental

O vidro borossilicato (VBS) foi obtido de vidrarias quebradas do Departamento de Química da UFMG, e o vidro sodo-cálcico foi obtido a partir de garrafas de cerveja velhas. Ambas as amostras de vidro foram pulverizadas em moinho de bolas até granulometria menor que 120 mesh. Os vidros foram caracterizados pelas técnicas de difração de raios X (DRX), fluorescência de raios X (FRX), espectroscopia na região do infravermelho (FTIR) e microscopia eletrônica de varredura (MEV/EDS).

Uma matriz convencional sem adição de vidro foi produzida, e de acordo com os teores dos elementos do vidro, foram calculadas proporções teóricas ideais de substituição das matérias primas convencionais pelos

resíduos de vidro, no intuito de manter os teores de sílica, alumínio e sódio próximos para todas as composições. As composições dos geopolímeros com vidro produzidos estão indicadas na Tabela 1. Os materiais foram misturados até completa homogeneização e foram colocados em moldes cilíndricos pequenos. Os geopolímeros foram desmoldados após 24 horas de cura e passaram por testes de resistência mecânica à compressão após 7 dias de cura. Além disso, foram caracterizados pelas técnicas de DRX, FRX, FTIR e MEV/EDS.

Tabela 1. Composição dos geopolímeros produzidos com resíduo de vidro

Vidro utilizado	Vidro / %	Metacaulim / %	Silicato de sódio / %	Hidróxido de sódio / %	Água / %
Sem vidro (Matriz)	-	50,0	37,5	5,0	-
Vidro sodo-cálcico (VSC)	12,3	50,5	18,4	6,6	12,2
Vidro borossilicato (VBS)	10,4	50,8	18,3	8,1	12,5

Resultados e Discussão

Os resultados de caracterização de ambas as amostras de vidro indicaram composições com altos teores de em silício em forma amorfa, o que sugere se tratar de um bom precursor de silício para produção de geopolímeros.

Os valores de resistência obtidos nos testes com os geopolímeros produzidos foram de 31 e 29 MPa para os geopolímeros produzidos com os resíduos de vidro borossilicato e sodo-cálcico, respectivamente. Apesar de serem valores inferiores ao da matriz sem vidro (46 MPa), já são resultados considerados muito positivos tendo em vista que são 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 em média em torno de 25 MPa, enquanto os aqui produzidos foram testados com 7 dias de cura. Além disso, a substituição das matérias primas tradicionais por resíduos faz com que o custo do material seja muito mais baixo, além do benefício ambiental de diminuir a geração de resíduos não aproveitados.

As análises de FRX confirmaram teores elevados de SiO₂ nos geopolímeros com vidro, aumentando a razão Si/Al em comparação à matriz convencional. O DRX indicou a presença majoritária de material amorfo, característica típica de geopolímeros. No FTIR, observou-se banda intensa em torno de 1000 cm⁻¹, atribuída ao estiramento assimétrico Si-O-T (T = Si ou Al), além de bandas em ~750 cm⁻¹ relacionadas ao quartzo residual. Importante destacar que, em comparação aos precursores (vidros e

metacaulim), houve deslocamento da banda principal para números de onda menores, evidenciando a reorganização estrutural dos tetraedros e a formação de redes geopoliméricas. Bandas em ~1450 cm⁻¹ indicaram eflorescência por carbonatação superficial, enquanto bandas em ~3400 e 1650 cm⁻¹ confirmaram água adsorvida. Esses resultados comprovam a efetiva geopolimerização dos materiais com vidro, que, além do bom desempenho mecânico, apresentam potencial para aplicações ambientais.

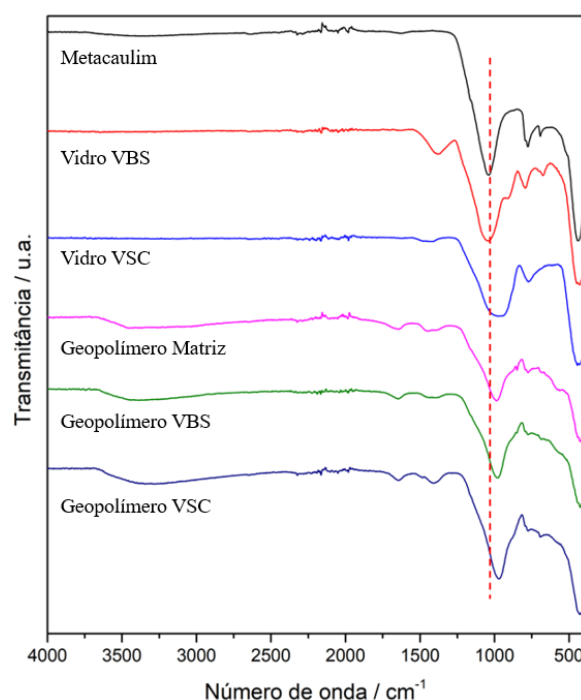


Figura 1. Espectros FTIR dos precursores utilizados e dos geopolímeros produzidos

Conclusões

Os geopolímeros produzidos com resíduos de vidro apresentaram boa resistência mecânica e formação de redes geopoliméricas, demonstrando potencial para aplicações estruturais de baixa agressividade e como adsorventes de poluentes, aliando desempenho e sustentabilidade.

Agradecimentos

Fapemig, CNPq e Capes.

Referências

- PRATES, C. D. et al., *J. Braz. Chem. Soc.*, 34(6), 809-818, 2023.
- FERREIRA, I. C. et al., *J. Mater. Res. Technol.*, 18, 4194-4200, 2022.
- GRILLO, F.; MATOSKI, A.; ALBERTI, M. E. *Braz. J. Dev.*, 7(6), 60707-60725, 2021
- PEREIRA, Y. S.; LAMEIRAS, F. S.; SANTOS, A. M. M. *ACS Omega*, 8, 45735-45749, 2023.