

GEOPOLÍMEROS OBTIDOS A PARTIR DE CINZAS DE CARVÃO MINERAL**Eduardo Sitta Blissari,¹ Luis Philipe Spricigo, Viviana Conte, Edison Uggioni, Adriano Michael Bernardin**Grupo de Materiais Cerâmicos e Vítreos, PPGCEM, Unesc
¹eduardo.blissari@hotmail.com**Palavras-Chave:** Resíduos, Geopolimerização, Cinzas, Carvão Mineral, Reciclagem.**INTRODUÇÃO**

Mais de 6,6% da eletricidade produzida no Brasil é gerada a partir do carvão. Quando o carvão é queimado em uma termelétrica, sobram cinzas como resíduos e parte se deposita no fundo das caldeiras (cinzas pesadas) e outra parte é transportada pelos gases quentes (cinzas volantes). A combustão do carvão no Brasil gera mais de 820 mil toneladas de produtos de combustão a cada ano. Essa quantidade tende a aumentar com o maior consumo de carvão utilizado para gerar eletricidade (CIOFFI et al., 2003). Como as cinzas contêm elementos tóxicos, os aterros devem ser monitorados com relação a um excessivo acúmulo de metais pesados, sais e alcalinidade. Atualmente, as cinzas volantes são estabilizadas integrando-as em materiais à base de cimento. Nos casos em que as cinzas contêm alta concentração de cloretos alcalinos, é difícil aplicar as técnicas à base de cimento, pois os cloretos alcalinos podem inibir a hidratação do cimento, e a matriz de cimento não pode ser totalmente solidificada ou estabilizada (COMRIE et al., 1988). Similarmente ao processo geológico de transformação de algumas rochas vulcânicas em zeólitas que ocorre a baixas pressões e temperaturas durante a formação de rochas sedimentares, a geopolimerização pode ser modelada e conduzida em sistemas cimentícios. A síntese direta de aluminossilicatos alcalinos na composição de fase de tais sistemas cimentícios pode assegurar excelente durabilidade de rochas artificiais formadas com novas propriedades, pois as estruturas e propriedades das zeólitas variam muito. Esses sistemas cimentícios de aluminossilicatos alcalinos foram denominados primeiramente de "solossilicatos". Em 1972, Davidovits denominou "geopolímeros" os aluminossilicatos tridimensionais formados rapidamente à baixa temperatura por aluminossilicatos de ocorrência natural. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi reaproveitar cinzas de carvão mineral para obtenção de geopolímeros com intuito de inerteização dos resíduos e obtenção de produtos cerâmicos com alto valor agregado (DAVIDOVITS e ORLINSKI, 1988; DAVIDOVITS, 1988a; DAVIDOVITS, 1988b).

METODOLOGIA

Cinzas pesadas da empresa Tractebel Energia (Capivari de Baixo, Brasil) foram caracterizadas por espectroscopia de fluorescência de raios X (FRX, Philips PW2400, amostra fundida). Onze formulações com três fatores em dois níveis foram formadas segundo um planejamento estatístico fatorial. O tipo de hidróxido (sódio e potássio), além de sua concentração (10 e 20 M) e temperatura (50 e 80°C) foram os fatores do experimento. As cinzas foram secas e moídas (#325 ABNT) e o hidróxido foi adicionado segundo seu tipo e concentração, segundo o planejamento experimental. Os geopolímeros obtidos foram vertidos em moldes cilíndricos ($\Phi=50$ mm e $h=100$ mm) e mantidos em estufa na temperatura do

experimento até cura total em 30 dias. Após cura as amostras de cada experimento foram submetidas a teste de compressão (1 MPa/s).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise química das cinzas de carvão mineral mostra que estas são compostas majoritariamente por sílica e alumina, além de pequena quantidade de óxidos alcalinos e alcalino-terrosos, tendo como principal contaminação os óxidos de ferro e titânio. A perda ao fogo da cinza mostra que a combustão não foi completa. Como a razão estequiométrica entre sílica e alumina é próxima à indicada na literatura ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2,5$), a cinza foi utilizada como única fonte de aluminossilicato. Após moagem a cinza apresenta-se bem fina, adequada para a síntese de geopolímero, com diâmetro médio de 7,6 μm , $D_{50}=3,7$ μm , e $D_{90}=21$ μm . Pela análise dos resultados para a resistência à compressão das amostras em função do tipo de base, teor de base e temperatura de síntese (tabela 1), a análise de variância do sistema mostra que os fatores mais importantes para a resistência à compressão são primeiramente a temperatura e em seguida o percentual de hidróxido utilizado, com grande confiabilidade para ambos os resultados ($\alpha=0,01$ e 0,02, respectivamente, significando uma confiabilidade de 99% e 98%). O tipo de base utilizada teve baixa significância.

Tabela 1 – Análise de variância para a resistência à compressão

Fator	SQ	gL	MQ	F	p
Base (tipo)	0,245	1	0,245	49	0,090
Base (%)	8,405	1	8,405	1681	0,016
Temp. (°C)	17,405	1	17,405	3481	0,011
Tipox%	0,320	1	0,320	64	0,079
Tipox°C	3,380	1	3,380	676	0,024
%x°C	3,920	1	3,920	784	0,023
Erro	0,005	1	0,005		
Total	33,680	7			

Onde: SQ= soma quadrática; gL= grau de liberdade; MQ= média quadrática; F= teste de Fischer; p= confiabilidade.

A análise da curva de contorno para a interação entre o tipo de base e a temperatura de síntese, Figura 1, mostra o forte efeito da temperatura, pois os maiores valores de resistência à compressão são obtidos para os menores valores de temperatura, e para o uso de KOH como base na síntese. Quando analisada a interação entre o percentual de hidróxido e a temperatura, figura 2, novamente percebe-se que os maiores valores para a resistência mecânica à compressão das amostras ocorrem para a combinação entre a menor temperatura de síntese e o menor teor de hidróxido. A análise dos resultados mostra que o tipo de base utilizada, KOH ou NaOH, não interfere na resistência à compressão. Apesar de a literatura indicar temperaturas da ordem de 120°C para a síntese dos geopolímeros, os resultados obtidos neste estudo mostram exatamente o oposto: quanto maior a temperatura de síntese (80°C), menor a resistência à

compressão dos sistemas obtidos. Outro resultado importante foi quanto ao teor da solução alcalina utilizada: quanto maior a molaridade utilizada, menor a resistência obtida. Esses efeitos estão diretamente relacionados à formação da estrutura geopolimérica nas amostras, pois a síntese alcalina age no sentido de unir os tetraedros de sílica e alumina através de íons dissolvidos no gel geopolimérico, neste caso Na^+ e K^+ . Outra possibilidade da menor necessidade da solução alcalina seria a própria constituição química das cinzas utilizadas, que contém pequena quantidade de Na_2O e K_2O em sua composição.

Figura 1 – Curva de nível para a interação entre o tipo de base e a temperatura

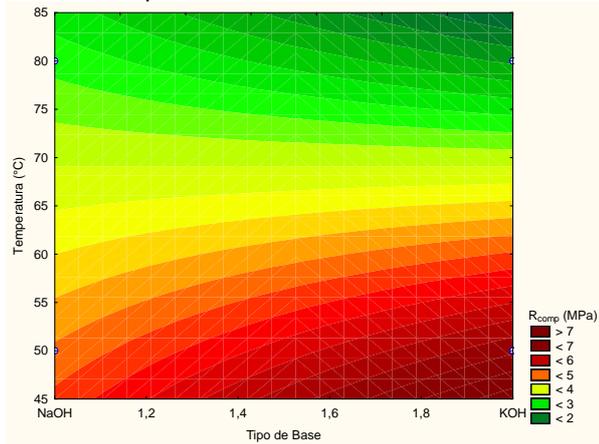
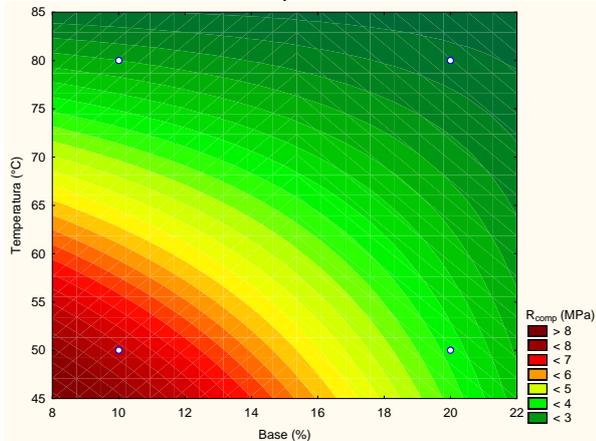


Figura 2 – Curva de nível para a interação entre o percentual de base e a temperatura



CONCLUSÃO

É possível obter geopolímeros a partir de cinzas pesadas da queima de carvão mineral. O único tratamento necessário no resíduo é a diminuição do tamanho das partículas. A partir dos resultados obtidos foi possível perceber que o tipo de solução alcalina não altera a resistência à compressão do sistema; porém, a molaridade da solução, e, principalmente, a temperatura de síntese alteram fortemente essa propriedade. Os resultados de resistência à compressão obtidos são superiores aos das natas de argamassa feitas com cimento Portland tipo II, que apresentam resistência à compressão próximos a 2 MPa sem a adição de agregados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e à Fucri pela concessão das bolsas de estudo e do auxílio financeiro que tornaram possível a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

CIOFFI, R., MAFFUCCI, L., SANTORO, L. **Resources Conservation and Recycling** 40 (1), 27–38, 2003.

COMRIE, D.C., PATERSON, J.H., RITCEY, D.J. In: DAVIDOVITS, J., ORLINSKI, J. (Eds.), **Proceedings of the 1st International Conference on Geopolymer '88**, vol. 1. Compiègne, France, 1–3 June, pp. 107–123, 1988.

DAVIDOVITS, J. In: DAVIDOVITS, J., ORLINSKI, J. (Eds.), **Proceedings of the 1st International Conference on Geopolymer '88**, vol. 1, Compiègne, France, 1–3 June, pp. 19–23, 1988a.

DAVIDOVITS, J. In: DAVIDOVITS, J., ORLINSKI, J. (Eds.), **Proceedings of the 1st International Conference on Geopolymer '88**, vol. 1, Compiègne, France, 1–3 June, pp. 25–48, 1988b.