



Uso de materiais geopoliméricos para a remoção de metais em meio aquoso.

Gabriela D. Marques (G),^{1*} Cecília V. S. Rocha (G),¹ Flávia C. C. Moura (PQ).¹

¹Departamento de Química, Universidade Federal de Minas Gerais

gabidornelasmarques@gmail.com*

RESUMO

Metais potencialmente tóxicos como níquel, chumbo e cobalto, estão presentes em muitos lugares do meio ambiente, sobretudo devido a ações e atividades humanas, como a produção de ligas metálicas em diferentes indústrias. Quando acumulados no solo ou na água, podem prejudicar a biodiversidade, degradar a qualidade da água em rios, lagos e represas, além de colocar em risco a segurança alimentar de comunidades locais (1).

Em resposta a esse problema, várias soluções vêm sendo estudadas para a remoção desses metais de meios aquosos. Entre essas abordagens está o uso de adsorventes.

Neste trabalho desenvolvemos geopolímeros expandidos (GPs) — materiais constituídos por aluminossilicatos com propriedades adsorventes, caracterizados por um processo de síntese sustentável — (2). O material demonstrou uma capacidade de adsorção promissora, atingindo uma remoção de até 99% para o chumbo e médias superiores a 70% para cobalto e o níquel nos testes de adsorção realizados.

Palavras-chave: Geopolímero; Adsorção; Metais pesados.

Introdução

A presença de metais potencialmente tóxicos no meio ambiente ocorre, principalmente, devido a atividades humanas relacionadas à produção industrial de ligas metálicas. Sua dispersão em corpos d'água pode causar sérios danos ambientais e comprometer a qualidade de vida e a saúde de comunidades adjacentes a esses afluentes (3).

A exposição em longo prazo a metais potencialmente tóxicos, como o chumbo, o cobalto e os níquel, tem sido associada ao desenvolvimento de diversas doenças em humanos, incluindo distúrbios neurológicos, respiratórios e cardiovasculares. O chumbo é um metal estudado por sua toxicidade cumulativa, sendo capaz de afetar o sistema nervoso central, especialmente em crianças, nas quais pode provocar déficits cognitivos e comprometimento no desenvolvimento neurológico. Em adultos, a exposição crônica ao chumbo está associada à disfunção renal, hipertensão arterial, imunossupressão, além de ser prejudicial às funções cardíacas (3). A contaminação ambiental por níquel e cobalto, a longo prazo, pode ter sérios efeitos sobre o meio ambiente e na qualidade de vida de plantas, animais e seres humanos (4,5). Em grandes quantidades, a exposição pode prejudicar as atividades metabólicas das plantas, inibindo atividades enzimáticas e fotossintéticas (4), afetar processos de nitrificação do solo (5) e, em contato prolongado com seres humanos, provocar alergias, doenças respiratórias e ter efeitos carcinogênicos (6).

Com o intuito de mitigar os efeitos dessas contaminações, diversos materiais vêm sendo estudados para a remoção de metais do meio aquoso. Dentre as alternativas, destacam-se os geopolímeros, materiais à base de aluminossilicatos que possuem propriedades adsorventes. Considerados uma solução sustentável, geopolímeros apresentam capacidade de interação com íons metálicos, estabilidade química e potencial para utilização em processos de tratamento de efluentes, contribuindo para a redução dos impactos ambientais causados pela presença de metais em meio aquoso (2).

Experimental

Síntese do Geopolímero:

O geopolímero utilizado foi sintetizado a partir do precursor metacaulim como fonte de aluminossilicatos sólidos, com razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de 3,0 e incorporação de 1% de H_2O_2 durante a síntese. O metacaulim foi obtido por meio da calcinação do caulim a 700°C durante 4 h em um forno tubular. A síntese do GP foi realizada misturando o metacaulim a uma solução ativadora composta por água deionizada, Na_2SiO_2 e NaOH e H_2O_2 . Após a mistura, o material resultante foi colocado em processo de cura em temperatura ambiente por 7 dias, sendo interrompida com a adição de acetona ao término desse período.

Caracterização do Geopolímero:

O geopolímero resultante foi caracterizado a partir de técnicas físico-químicas de análise a fim de investigar suas propriedades. Os métodos utilizados foram a análise termogravimétrica, difração de raios X, fississorção de N_2 , e espectrofotometria na região do infravermelho.

Testes de adsorção:

Foram realizados testes de contato e de cinética com soluções dos metais Pb^{2+} , Co^{2+} e Ni^{2+} em concentrações de 250 ppm. O geopolímero foi adicionado à diferentes soluções dos metais, que permaneceu em agitação constante em um agitador orbital por períodos entre 15 minutos e 24 horas. A remoção dos metais foi analisada a partir da comparação das concentrações iniciais e finais das soluções obtidas a partir de análise de espectrometria de absorção atômica.

Resultados e Discussão

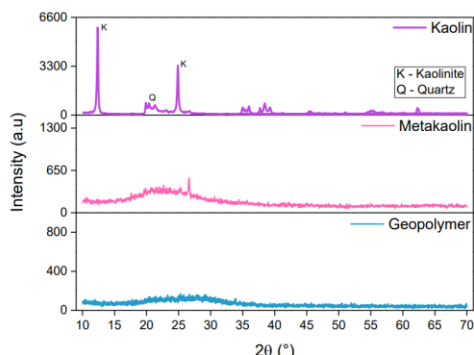


Figura 1. Difratomogramas de Raios X de Caulim, Metacaulim e Geopolímero.

O difratograma de raios X do caulim, um sólido cristalino, exibe picos característicos de caulinita e quartzo. Após o tratamento térmico, apresenta-se uma fase amorfa e um aumento de intensidade entre 15° e 35°. O que também pode ser observado para o geopolímero (Figura 1).

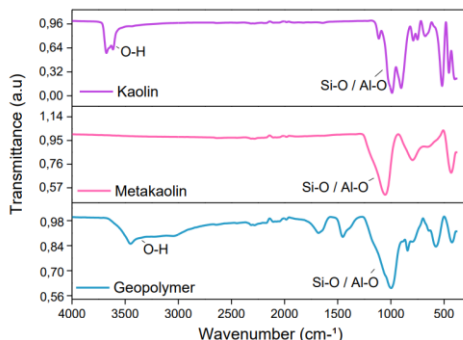


Figura 2. Espectroscopia de infravermelho ATR de caulim, metacaulim e geopolímero.

A análise por espectroscopia na região do infravermelho apresenta bandas atribuídas às vibrações de Si-O e Al-O em todos os três materiais. As bandas associadas aos grupos O-H são observadas no caulim e no geopolímero, enquanto o metacaulim não apresenta essa absorção devido à eliminação da água durante o tratamento térmico (Figura 2).

A análise termogravimétrica do geopolímero apresentou perda de massa de aproximadamente 8,5% até 220°C, o que indica a perda de água. Após as caracterizações, foram realizados ensaios de adsorção para avaliar a capacidade de remoção após 24 horas de contato, e a cinética de adsorção em diferentes tempos.

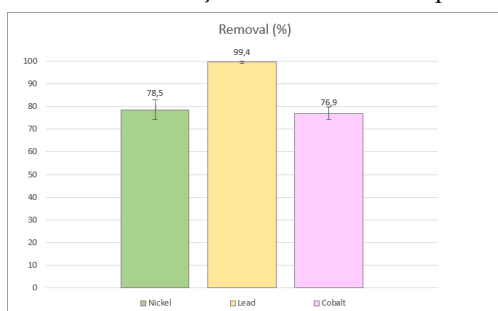


Figura 3. Porcentagem de remoção após 24 horas de contato.

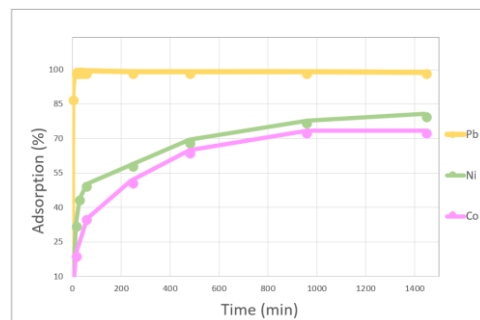


Figura 4. Porcentagem de remoção em função do tempo de contato.

Após 24 horas de contato, foi observada a remoção de 99% de Pb, 77% de Co e 79% de Ni pelo geopolímero (Figura 3). Através do ensaio cinético pôde-se analisar a relação de adsorção em função do tempo de contato (Figura 4). Na tabela 1 observa-se os parâmetros cinéticos obtidos utilizando os modelos de pseudo-primeira ordem (PFO), pseudo-segunda ordem (PSO) e interação intrapartícula (IP). Observa-se um melhor ajuste ao modelo de pseudo-segunda ordem o que sugere uma velocidade de reação dependente dos sítios ativos presentes no geopolímero e da concentração do metal em solução $V = k[Ads] [M^{2+}]$.

Tabela 1. Ajuste dos dados de adsorção aos modelos cinéticos.

	PFO			PSO			IP Difusion		
	k_1	R^2	q_e	k_2	R^2	q_e	k_i	R^2	c
Co	0,01099	0,87663	41,4	$3,24 \times 10^{-4}$	0,9644	45,6	0,95	0,86526	13,57
Pb	2,0458	0,8157	45,1	0,1388	0,8699	45,37	0,3955	0,4845	41,52
Ni	0,03291	0,7244	54,09	$7,9 \times 10^{-4}$	0,8792	58,04	1,2276	0,9142	26,9

Conclusões

O geopolímero com propriedades adsorventes demonstrou um desempenho promissor na adsorção de metais pesados de meio aquoso. A pesquisa está em desenvolvimento, com o objetivo de investigar a capacidade de adsorção para outros metais e contaminantes emergentes como corantes, antibióticos e antirretrovirais.

Agradecimentos

À Fapemig, CNPq e a Rede Mineral/Fapemig pelo fomento.

Referências

- V. Singh; et al. Heavy metal ion contamination in waters and its reduction by eco-friendly methods. *Sci. Rep.* **2024**, *14*, 7595.
- P. Cong; Y. Cheng. Advances in geopolymer materials: a review. *J. Traffic Transp. Eng.* **2021**, *8*(3), 283–314.
- W. Ahmad; et al. Toxic and heavy metals contamination assessment in soil and water. *Sci. Rep.* **2021**, *11*(1), 1–16.
- G. Genchi; et al. Nickel: human health and environmental toxicology. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*(3).
- M. Kosiorek; M. Wyszowski. Effect of cobalt on environment and organisms – a review. *Appl. Ecol. Environ. Res.* **2019**, *17*(5), 11419–11449.
- P. Harasim; T. Filipek. Nickel in the environment. *J. Elementol.* **2015**, *20*(2), 525–534.