cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Zeólita Na-A sintetizada a partir de resíduos de beneficiamento de carvão para aplicação agronômica como agente de liberação lenta de amônio

Eduarda Fraga Olivo[1,2], Carlos Henrique Borgert[1,3], Mariana de Souza Pereira[1,2], Juliana Acordi[1], Raquel Cardoso Machado[4], Ricardo Bortoletto Santos[5], Manuel Joaquim Peixoto Marques Ribeiro[2], Caue Ribeiro[4], Jairo José Zocche[6] e Fabiano Raupp Pereira[1]

1 Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM), Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), 88806-000, Criciúma, SC, Brasil.
2 Programa de Mestrado Engenharia Mecânica, Energia e Materiais, Instituto Politécnico de Viana do Castelo (IPVC), Rua Escola Industrial e Comercial de Nun'Álvares, 4900-347, Viana do Castelo, Portugal.
3 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PósENQ), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil.
4 Laboratório Nacional de Nanotecnologia para o Agronegócio (LNNA), Embrapa Instrumentação, Rua 15 de Novembro 1452, Centro, São Carlos, SP 13560-970, Brasil.
5 Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental, Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP), 14096-900, Brasil.
6 Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), 88806-000, Criciúma, SC, Brasil.

Introdução

A baixa eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados na agricultura resulta em perdas significativas por volatilização e lixiviação. O desenvolvimento de fertilizantes de liberação controlada tem sido uma estratégia promissora para aumentar a eficiência do uso de nutrientes e reduzir impactos ambientais. A síntese de zeólitas a partir de frações residuais do beneficiamento do carvão, ricas em sílica e alumina, destaca-se como uma das potencialidades. As zeólitas possuem propriedades vantajosas, como alta capacidade de troca catiônica, retenção de água e adsorção, tornando-as úteis em diversas aplicações. A utilização de resíduos para a produção de zeólitas alinha-se ao conceito de economia circular, promovendo a simbiose industrial e prolongando o ciclo de vida dos materiais.

Objetivos

Desenvolver cerâmicos zeolíticos, a partir da valorização de de uma fração residual do beneficiamento de carvão mineral, da flotação (FRC-A), como agente funcional controlador da liberação lenta de nutrientes em fertilizantes agrícolas.

Metodologia

A fração residual FRC-A foi submetida à calcinação a 900 °C por 2 horas, originando o precursor FRT-A. Posteriormente, realizou-se a síntese hidrotérmica alcalina a 80 °C por 24 horas, obtendo-se a zeólita FRZ-A, caracterizada por técnicas como DRX, FRX/EDS, MEV e análise textural. Para a aplicação agronômica, a FRZ-A foi incorporada na proporção de 5% (m/m) a revestimentos de poliuretano à base de óleo de mamona, aplicados sobre grânulos de ureia. A volatilização de NH_3 foi avaliada em ensaios com solo durante 14 dias, utilizando formulações com diferentes proporções de revestimento polimérico.

Resultados e Discussão

A calcinação aumentou a reatividade do precursor, proporcionando 59,16% de fase amorfa na FRT-A. A síntese hidrotérmica resultou na formação da FRZ-A, composta por 51,45% de zeólita Na-A (LTA).

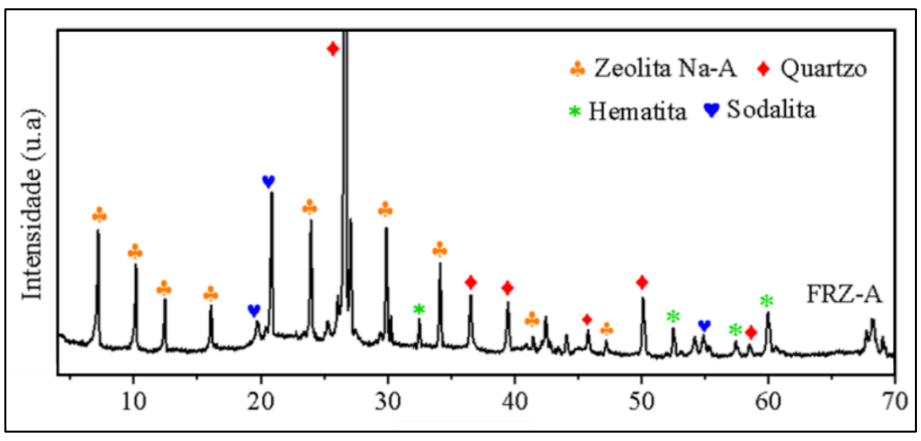


Figura 1. Identificação das fases mineralógicas obtida por meio de difração de raios X (DRX) da zeólita formada (FRZ-A).

A análise por DRX, associada ao refinamento de Rietveld, confirmou a formação da zeólita Na-A (LTA), que correspondeu a 51,45% da composição mineralógica da FRZ-A. Também foram identificadas fases secundárias, como quartzo (42,90%), hematita (2,90%) e sodalita (2,75%).

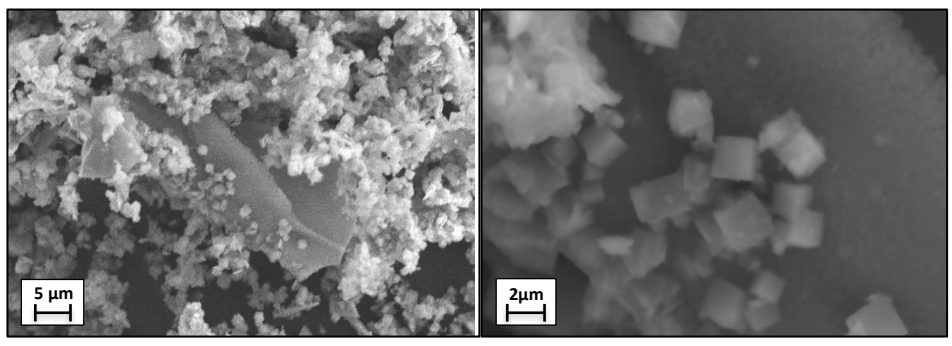


Figura 2. Imagens de microscópio eletrônico de varredura (MEV) da zeólita sintetizada (FRZ-A).

As análises por MEV evidenciaram a presença de cristais com morfologia predominantemente cúbica e dimensões micrométricas. A FRZ-A apresentou área superficial específica de 6,53 m²/g e ponto de carga zero próximo de 4,7, evidenciando características superficiais relevantes para a aplicação. Nos ensaios agronômicos, a ureia convencional apresentou 54,3% de volatilização acumulada de NH_3 durante os 14 dias de avaliação. O revestimento com poliuretano reduziu significativamente essas perdas, com valores de 11,4% e 1,3% para as formulações contendo 4% e 6% de polímero, respectivamente.

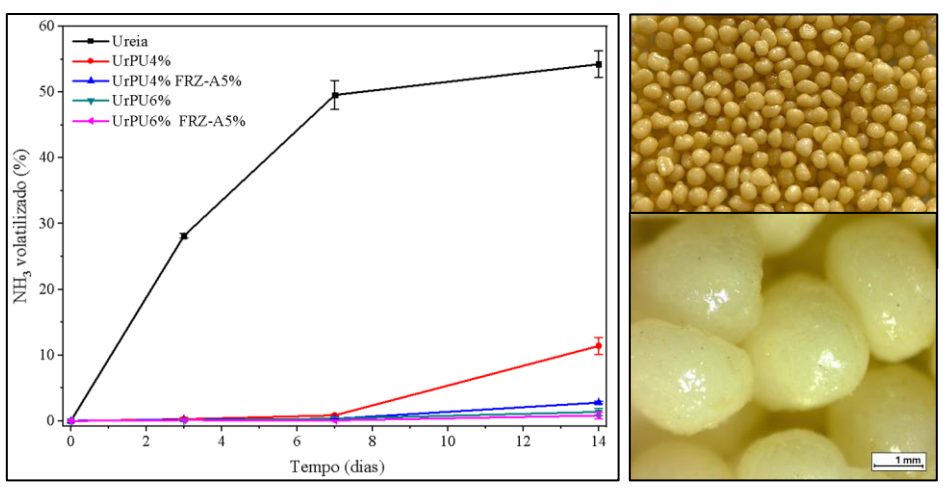


Figura 3. Volatilização acumulada de NH3 proveniente da aplicação de ureia ao longo de 14 dias de incubação em solo.

A incorporação de 5% de FRZ-A aos revestimentos resultou em perdas de 2,8% para a formulação com 4% de poliuretano e de apenas 0,8% para aquela com 6% de poliuretano. A formulação PU 6% + FRZ-A 5% apresentou o melhor desempenho experimental, correspondendo a uma redução de aproximadamente 98,5% na volatilização de amônia em comparação à ureia convencional.

Conclusões

O estudo contribui para o desenvolvimento de soluções tecnológicas alinhadas aos princípios da economia circular, associando a valorização de resíduos minerais à produção de materiais funcionais para a agricultura. Estudos futuros em condições de campo são necessários para avaliar o comportamento dos fertilizantes ao longo do ciclo das culturas e seus efeitos sobre a produtividade agrícola.

Referências e Agradecimentos

QUEROL, X. et al. Synthesis of zeolites from coal fly ash: an overview. International Journal of Coal Geology, v. 50, p. 413–423, 2002.
BERNARDI, A. C. et al. Potencial de uso de zeólitas na agropecuária. São Carlos: Embrapa, 2008.

unesc
PPGCEM
fapesc
CNPq
CAPES