

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL ESTRUTURADO EM ZEÓLITA F, A PARTIR DE REJEITO DA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO DE BAUXITA DA AMAZÔNIA

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.8.25.V-007>

Cassio F de Araújo (*), Marcielly Victória Maciel de Araújo, Haynara Lahanna Monteiro Carrera, Renata de Sousa Nascimento, Bruno Apolo Miranda Figueira

* Programa de Pós-graduação em engenharia de materiais, IFPA, Belém, PA. cassio.fernandes.a@gmail.com

RESUMO

O presente estudo abordou a transformação de rejeitos de lavagem de bauxita da Amazônia em zeólita tipo F, demonstrando a viabilidade de reaproveitamento desse resíduo, através de tratamento hidrotermal para síntese do material zeolítico, sendo caracterizado por técnicas como DRX, FRX e MEV. Os resultados indicaram a presença significativa de alumínio e silício no rejeito, essenciais para formar estruturas zeolíticas, enquanto o ferro, um desafio inicial, foi eficientemente removido através de lixiviação por ácido oxálico. A zeólita F sintetizada apresentou morfologia prismática compatível com padrões cristalográficos e potencial de aplicação tecnológica. Assim, o trabalho destaca o elevado potencial de transformar rejeitos minerais em materiais de alto valor agregado, promovendo inovação e sustentabilidade na mineração.

PALAVRAS-CHAVE: zeólita F, rejeitos, síntese, Amazônia.

ABSTRACT

This study looked at the transformation of bauxite washing tailings from the Amazon, specifically from the Miltônia mine (Pará), into type F zeolite, demonstrating the feasibility of reusing this waste through hydrothermal treatment for the synthesis of zeolitic material, which was characterized using techniques such as XRD, XRF and SEM. The results indicated the significant presence of aluminum and silicon in the tailings, which are essential for forming zeolitic structures, while iron, an initial challenge, was efficiently removed by leaching with oxalic acid. The zeolite F synthesized showed prismatic morphology compatible with crystallographic patterns and potential for technological application. The work thus highlights the high potential for transforming mineral waste into materials with high added value, promoting innovation and sustainability in mining.

KEY WORDS: zeolite F, tailings, synthesis, Amazon Region.

INTRODUÇÃO

A exploração da bauxita gera rejeitos de granulometria fina, formando uma mistura viscosa com água, geralmente descartada em barragens de sedimentação. O Brasil possui 934 barragens de rejeitos, 39,6% localizadas na Amazônia, especialmente no Pará e Mato Grosso, com muitas classificadas como de alto risco. No Pará, municípios como Juruti, Porto Trombetas e Paragominas abrigam barragens de rejeitos de bauxita, enquanto Barcarena lida com lama vermelha do refino de alumina e Carajás enfrenta desafios de rejeitos minerais diversificados (AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO, 2024).

O aproveitamento de rejeitos minerais tem ganhado destaque por seu potencial econômico e ambiental. Estudos mostram sua síntese de zeólitas para adsorção de CO₂ e catalisadores seletivos. Exemplo disso é a conversão de rejeitos de bauxita e caulim em materiais de alto valor agregado, como zeólitas tipo X, essas iniciativas apontam soluções promissoras para o manejo sustentável de rejeitos minerais, reduzindo impactos ambientais e promovendo inovação tecnológica (Qiang et al., 2019).

OBJETIVO

Transformação de rejeitos de lavagem de bauxita da Amazonia da mina Miltônia (Pará) em zeólita F. Caracterização química e mineral o rejeito da argila de lavagem de bauxita por DRX e FRX; Síntese e caracterização de material zeolítico com estrutura zeólita F a partir de rejeitos de lavagem.

METODOLOGIA

A argila de lavagem de bauxita, rejeito da mineração em Paragominas-PA, foi submetida à o processo de secagem a 105 °C, pulverizada e utilizada para obtenção de aluminossilicatos. O processo envolveu lixiviação com ácido oxálico em proporção 1:1, seguido de tratamento hidrotermal (85 °C por 24 horas), adaptado de Cam & Turam (2023). Após filtração, o material foi seco, resultando em 6,5 g de argilominerais para cada 10 g inicial de rejeito utilizado. O material obtido foi calcinado a 700 °C por 2 horas para formar metacaulinita, conhecida como uma fase reativa, sendo a mesma utilizada na síntese da zeólita F, objetivo principal do estudo.

A síntese da zeólita F foi realizada utilizando 3,1 g de ALB calcinado, 1 g de silicato de sódio, 6,06 g de hidróxido de potássio e 18 ml de água deionizada, com agitação constante por 30 minutos, sendo o mesmo submetido a tratamento hidrotermal a 110 °C por 24 horas. Após esse período, o material foi filtrado, lavado com água deionizada até atingir pH neutro (7-8), sendo submetida a secagem em estufa a 100 °C por 24 horas, pulverizado e armazenado.

TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DA PENEIRA MOLECULAR E CORPOS CERÂMICOS

Difratometria de Raios-x

A técnica de difração de raios X (DRX), método do pó, foi utilizada para identificação das fases minerais presentes nas amostras utilizadas neste trabalho. Dessa forma, foi empregado um difratômetro de bancada D2Phaser (Bruker), disponível no Laboratório de Mineralogia, Geoquímica e Aplicações (LAMIGA) do Instituto de Engenharia e Geociências (UFPA).

A preparação de amostras seguiu o método do encoste (backloading). O equipamento possui um goniômetro de varredura vertical e um tubo de cobre (CuK α = 1.5406 Å) de 400 W de potência, com uma geometria de Bragg-Brentano no modo contínuo, velocidade de varredura de 0,25°/min, tendo como sistema de detecção um detector rápido modelo LynxEye. A tensão foi de 30 kV e 10mA, respectivamente. A identificação das fases foi feita pelo software HighScore X'pert Plus.

Fluorescência de raios X - FRX

A composição química dos rejeitos será obtida em espectrômetro de Fluorescência de raios-X Bruker, pertencente ao Laboratório de Caracterização de Materiais - IFPA. O resultado da perda ao fogo será obtido por calcinação de 1g de amostra, em mufla a 1000 °C por 2h.

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A análise no MEV foi realizada a fim de estudar a morfologia e topografia da superfície do material zeolítico obtido, tal como também dos corpos cerâmicos após o rompimento em ensaios mecânicos, assim como também a

homogeneidade das fases formadas. Para os estudos de microscopia eletrônica de varredura as amostras serão pulverizadas e dispersas em suportes impregnados com grafite e metalizadas com ouro (Ag). O instrumento utilizado será um microscópio da marca LEO-Zeiss, 430 Vp, em condições de análise utilizando imagens secundárias obtidas a 20 KV, com distância de trabalho de 11 mm.

RESULTADOS OBTIDOS

CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL DE PARTIDA – REJEITO: ARGILA DE LAVAGEM DE BAUXITA E OBTENÇÃO DE MATERIAL ESTRUTURADO EM ZEÓLITA F.

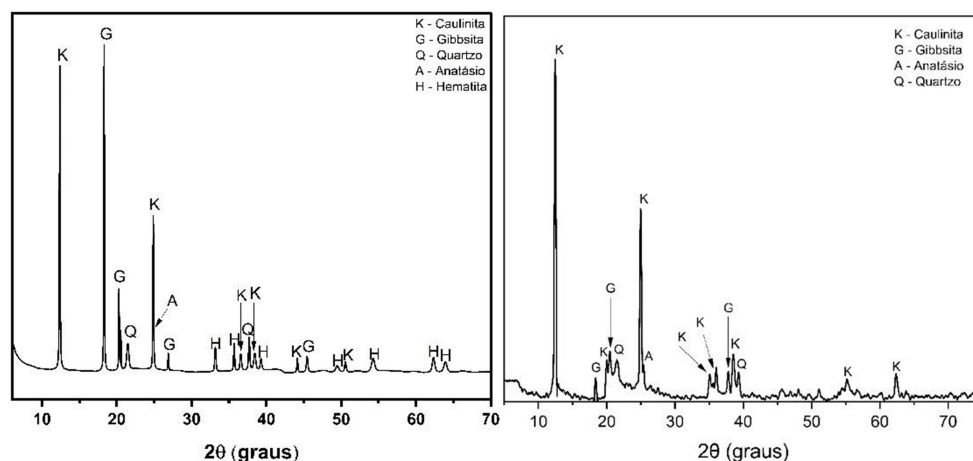
De acordo com Barreto e Costa (2022), a utilização da argila de lavagem de bauxita como componente em materiais geopoliméricos revelou a presença de fases minerais como caulinita, gibbsita, hematita, quartzo e anatásio. A análise por fluorescência de raios X, conforme apresentado na Tabela 1, confirmou a presença de óxidos associados a essas fases minerais, corroborada pelo difratograma de raios X (Figura 1a).

A fluorescência de raios X destacou altos teores de óxido de alumínio (34,93%) e óxido de silício (25,44%), indicando grande potencial para a síntese de materiais zeolíticos, dada a elevada concentração de alumínio e silício, essenciais para a formação de zeólitas de estruturas do tipo F. Contudo, o teor significativo de óxido de ferro (17,18%) representa um desafio, pois sua alta reatividade pode comprometer a pureza e a preservação das fases mineralógicas.

A metodologia de Cam e Turan (2023), que emprega ácido oxálico para remover óxidos de ferro na forma de hematita, resultou na obtenção de um material enriquecido em aluminossilicato e isento de óxidos de ferro, conforme evidenciado na ausência de picos cristalográficos de hematita na Figura 1b. Após o processo de lixiviação, observou-se a presença de fases cristalinas como caulinita, gibbsita, anatásio e quartzo, tornando o material adequado como fonte de aluminossilicatos para a síntese de materiais zeolíticos.

Tabela 1 – Fluorescência de Raio-x - composição química em óxidos da amostra de argila de lavagem de bauxita.
 Fonte: Autor, 2025.

Componente	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Outros	PF	Total
% em Peso	34,93%	25,44%	2,72%	17,18%	1,29	18,44%	100%



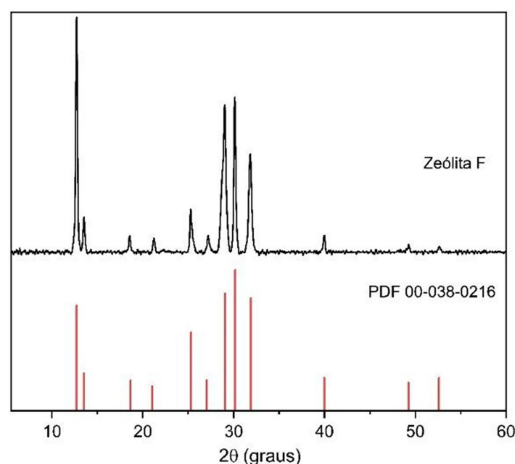
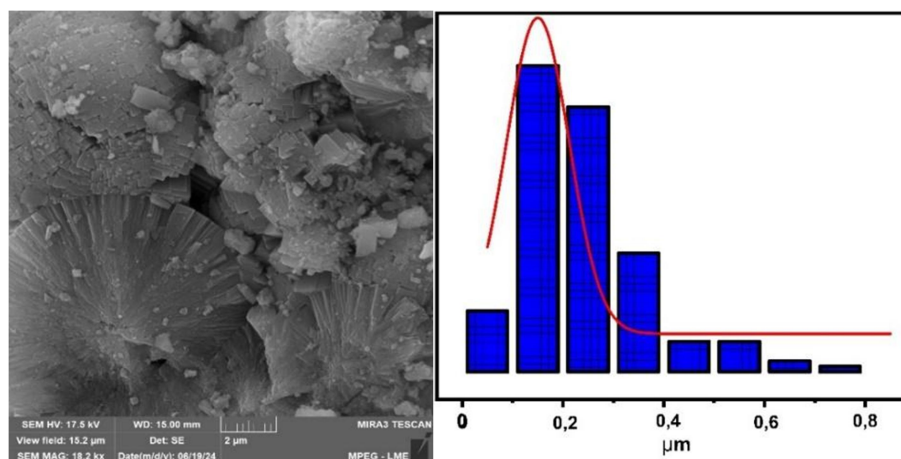


Figura 1 – a) Padrão de Drx da amostra de rejeito da indústria de alumínio. b) Padrão cristalográfico de amostra de rejeito após lixiviação. c) Padrão cristalográfico de material zeolítico estruturado em zeólita F, a partir de rejeito da indústria de alumínio da Amazônia.

Fonte: Autor, 2025.

A Figura 1c ilustra a formação da fase cristalina da zeólita tipo F, sintetizada a partir da ALB lixiviada utilizando hidróxido de potássio (KOH) como ativador alcalino, em um processo realizado a 110 °C por 24 horas. Esse método demonstrou a viabilidade de transformar um resíduo considerado estéril na mineração de bauxita do Pará em um material com fases cristalinas bem definidas.

Segundo a ficha cristalográfica PDF 00-038-0216, foram identificados treze picos cristalinos característicos da zeólita F (K). As imagens de microscopia eletrônica de varredura (Figura 2) mostram que o material apresenta morfologia de prismas retangulares alongados sobrepostos, com média de tamanho de material em 0,2 μm , condizendo com a estrutura tetragonal descrita na ficha cristalográfica e na literatura (Matsumoto et al., 2006; Miyaji et al., 2009; Taylor et al., 2020).



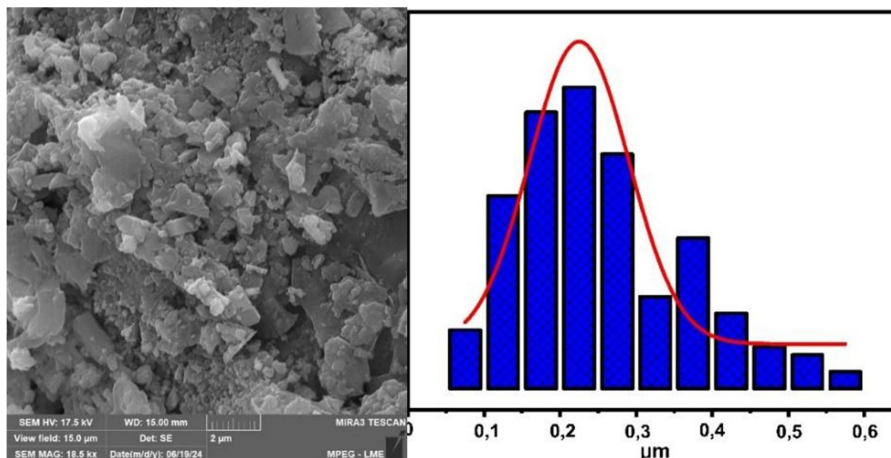


Figura 2 – Morfologia do material estruturado em zeólita F e média de tamanho do material obtido de rejeito da indústria da mineração da Amazônia.

Fonte: Autor, 2025.

CONCLUSÃO

Portanto, a utilização da argila de lavagem de bauxita (ALB) demonstrou elevado potencial para a síntese de materiais zeolíticos, especialmente zeólita tipo F, após processos de lixiviação com ácido oxálico para a remoção de óxidos de ferro e ativação alcalina com KOH. A caracterização revelou estruturas cristalinas bem definidas, e morfologia compatível com a literatura, destacando a viabilidade de transformar resíduos da mineração em materiais de alto valor agregado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPESPA, IFPA, UFPA e Hydro pelo suporte financeiro e técnico científico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARRETO, I. A. ; DA COSTA, M. L. Synthesis of geopolymer with KOH by two kaolinitic clays from the Amazon: Influence of different synthesis parameters on the compressive strength. *MATERIALS CHEMISTRY AND PHYSICS* , v. 287, p. 126330, 2022.
2. CAM, A., TURAN, M.D. Iron Removal from Bauxite by Oxalic Acid and Further Al Extraction by High-Pressure Alkali Leaching. *J. Sustain. Metall.* **9**, 710–722 (2023). <https://doi.org/10.1007/s40831-023-00680-7>
3. MATSUMOTO, T; MIYAZAKI, T; GOTO, Y. Synthesis and characterization of Li-type EDI zeolite. *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 26, pp. 455–458. 2006.
4. MIYAJI, F; MURAKAMI, T; SUYAMA, Y. Formation of linde F zeolite by KOH treatment of coal fly ash. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, vol. 117, nº 5, pp. 619-622. 2009.
5. QIANG, Zhiqin, et al. “A Simple Hydrothermal Synthesis of Zeolite X from Bauxite Tailings for Highly Efficient Adsorbing CO2 at Room Temperature.” *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 287, 31 May 2019, pp. 77–84, <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2019.05.062>. Accessed 8 Oct. 2024.
6. TAYLOR, J. H. et al. Synthesis of feldspathoids and zeolite K–F from waste amber container glass. *Materials Chemistry and Physics*, v. 246, p. 122805, maio 2020.