Investigação das metodologias de digestão e fusão alcalina na síntese de zeólita A desde resíduo mineral: perspectivas para o escalonamento.

Emanuel Bruno C. D. Elias 1\*a, Ana Letícia P. T. Bezerra 1, Mariele I. S. de Mello 1, Leonardo L. dos Santos 1\*b, Sibele B. C. Pergher 1

1 Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Laboratório de Peneiras Moleculares (LABPEMOL) – IQ 2, Av, Senador Salgado Filho 3000, 59078-970 Natal/RN – Brasil.

\*aemanuel.bruno.125@ufrn.edu.br, \*b leo.leandro25@gmail.com

Resumo/Abstract

RESUMO: A atual pesquisa assume um papel crucial ao prosseguir com os estudos anteriores que buscam otimizar a cadeia produtiva do lítio no contexto da síntese de zeólitas. A extração em grande escala do lítio a partir do mineral beta-espodumênio, embora proveitosa, contribui para a produção considerável de resíduos silicoaluminosos, o que demanda uma abordagem inovadora e sustentável. A presente investigação destaca a aplicação de dois subprodutos resultantes do processamento de lítio como matéria-prima alternativa para a síntese de materiais zeolíticos. Através de análises de DRX, foi atestado o êxito na obtenção de zeólita A de alta cristalinidade, via digestão e fusão alcalina. Esses resultados, além de demonstrarem o potencial viável para a produção em larga escala de materiais zeolíticos, exploram duas abordagens estudadas com a finalidade de otimizar tal processo, alinhando-se perfeitamente com as metas e princípios da Agenda 2030 da ONU, cujos objetivos incluem a promoção da eficiência energética, o uso sustentável dos recursos naturais e a redução do impacto ambiental da indústria.

*Palavras-chave: Resíduo Mineral, Digestão alcalina, Fusão alcalina, Zeólita A, Agenda 2030 ONU.*

ABSTRACT: The current research assumes a crucial role in advancing previous studies aimed at optimizing the lithium production chain within the context of zeolite synthesis. The large-scale extraction of lithium from beta-spodumene mineral, while advantageous, contributes to a significant production of silicoaluminous waste, necessitating an innovative and sustainable approach. The present investigation highlights the application of two byproducts resulting from lithium processing as alternative raw materials for zeolite material synthesis. Through XRD analyses, the successful attainment of highly crystalline zeolite A via alkaline digestion and fusion is confirmed. These findings not only demonstrate the viable potential for large-scale zeolite material production but also explore two approaches studied to optimize such a process, aligning seamlessly with the goals and principles of the UN's 2030 Agenda, which include promoting energy efficiency, sustainable use of natural resources, and reducing the environmental impact of the industry.

*Keywords: Mineral Residue, Alkaline Digestion, Alkaline Fusion, Zeolite A, UN 2030 Agenda.*

## Introdução

A crescente geração de rejeitos minerais na atualidade representa um dos desafios mais prementes no âmbito da preservação ambiental global. Nesse cenário, surge a necessidade imperativa de incentivar alternativas ecologicamente sustentáveis, capazes de reduzir os custos operacionais e ao mesmo tempo promover o desenvolvimento comercial (1-2).

Em processos químicos convencionais, a cada tonelada de composto de lítio extraído de pegmatitos litiníferos, obtém-se aproximadamente 10 toneladas de subprodutos, incluindo "rejeitos silicoaluminosos" e escória de lítio. Contudo, apenas uma fração desse volume apresenta viabilidade como matéria-prima em outras operações, resultando no armazenamento desses resíduos em barragens de rejeitos de mineração (3). Enfrentando essa problemática, a proposta de sintetizar peneiras moleculares simultaneamente ao processo mineral torna-se promissora, principalmente ao se considerar a busca por fontes economicamente acessíveis de silício e alumínio.

Alicerçado em estudos que empregaram minerais contendo lítio (7-9), a síntese de zeólitas dos tipos X, A, NaP, sodalita e EDI a partir de subprodutos de espodumênio (LiAlSi2O6) tem sido explorada com sucesso. A obtenção de zeólitas, mesmo com estruturas multifásicas, utilizando um meio alcalino, resulta em produtos com boa cristalinidade e propriedades vantajosas.

As zeólitas se destacam como aluminossilicatos cristalinos hidratados contendo metais alcalinos ou alcalino-terrosos. Sua estrutura tridimensional consiste em redes cristalinas formadas por tetraedros de AlO4 e SiO4, unidos por átomos de oxigênio (8-10). Essa arquitetura confere às zeólitas cavidades interconectadas de dimensões moleculares, que proporcionam notáveis propriedades como alta capacidade de troca iônica, retenção de água nos canais e eficiente captura de íons, tornando-as materiais de grande interesse para aplicações em processos ambientais (4).

O objetivo deste estudo é aprimorar a cadeia produtiva do lítio, por meio da síntese e caracterização de materiais zeolíticos a partir de resíduos sílico-aluminosos, através de metodologias de digestão e fusão alcalinas a fim de identificar qual viabilidade não apenas promove o aproveitamento de resíduos minerais, mas também se alinha com os princípios da Agenda 2030 da ONU, abordando questões críticas como a gestão de rejeitos e a eficiência energética na indústria.

## Parte experimental

Duas amostras provenientes do processamento do lítio pela Companhia Brasileira de Lítio, CBL, foram submetidos a DRX para identificação das fases presentes no material.

Após as caracterizações dos materiais, foram realizadas sínteses como descrito no tópico 2 de (5), para identificar o comportamento do resíduo em condições padrões de síntese. O resíduo então foi submetido a dois procedimentos pré-síntese, de digestão alcalina e fusão alcalina para avaliar a dissolução das fases constituintes dos resíduos.

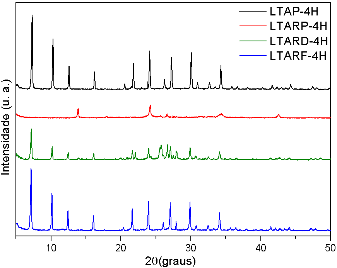
## Resultados e Discussão

Na caracterização dos materiais de partida, o resultado do difratograma (Fig. 1.1) dos resíduos A e D mostra que a fase de β-espodumênio de interesse está presente no material de forma significativa. O interesse nessa fase se dá pela sua instabilidade, diante da estabilidade do quartzo, também presente em quantidade relevante.

A síntese da zeólita A à partir do resíduo utilizando a síntese padrão (LTARP-4H) gerou o difratograma da (Figura 1.2). De acordo com o difratograma, não foi possível obter-se a fase zeolítica de interesse no tempo de cristalização submetido, devido a não dissolução da fase de quartzo presente nos resíduos.

Aplicando a metodologia da digestão alcalina (LTARD-4H) foi possível obter-se a fase de interesse da zeólita NaA com boa cristalinidade e com os picos característico do material de interesse, com alguns picos remanescentes de fases presentes no resíduo de partida. O procedimento utilizando a fusão alcalina (LTARF-4H) funcionou de forma eficaz para obtenção da zeólita NaA com uma maior cristalinidade e com a presença mínima de fases remanescentes do resíduo de partida.

|  |  |
| --- | --- |
| 1 | 2 |

**Figura 1**. Difratograma dos resíduos tipo A e Tipo D (1) e Difratograma dos materiais obtidos utilizando a síntese padrão, digestão alcalina e fusão alcalina (2).

## Conclusões

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que os métodos de digestão e fusão alcalina se mostram eficientes na dissolução do resíduo silicoaluminoso. A confirmação, através da técnica de DRX, da obtenção de um material zeolítico com um alto grau de cristalinidade obtida por meio do tratamento hidrotermal para o gel de síntese via digestão e fusão alcalina demonstra o potencial de transformar os resíduos silicoaluminosos em materiais de valor agregado.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (407801/2022-7) pelo apoio financeiro destinado a este trabalho e a Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN.

## Referências

1. P. Vinaches. et al. Materials Letters, v. 159, p. 4, 2015. ISSN 0167-577X.
2. L. L. D. Santos, et al. Natal: EDUFRN: 161 p. 2020.
3. G. Martin, et al. Energy Storage Materials, v. 6, p. 171-179, 2017. ISSN 2405-8297.
4. M. S. M. Oliveira; NASCIMENTO, R. M.; S. B. C. Pergher, Perspectiva, v. 42, n. 159, p. 8, 2018.
5. R W. Thompson, M. J. Huber, J. Cryst. Gr. 56 (1982) 711