



## SÍNTESE DE SODALITA POR FUSÃO ALCALINA E TRATAMENTO HIDROTERMAL DE ARGILA DE LAVAGEM DE BAUXITA

Gerlana Vidal<sup>1</sup>; Bruno A. M. Figueira<sup>1</sup>; Alcy F. Ribeiro<sup>1</sup>, Gildson R. Carmo<sup>2</sup>, Fernando B. Aracati<sup>1</sup>, Cleide S. T. Mescouto<sup>1</sup>, Patricia T. S. da Luz<sup>3</sup>.

*1Universidade Federal do Pará, Ananindeua, Pará, Brasil*

*2Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, Pará, Brasil*

*3Instituto Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil*

**Palavras-Chave:** sodalita, morfologia cristalina, rejeitos minerais

### **Introdução**

Sodalita é um aluminossilicato microporoso de estrutura do tipo SOD, constituído por uma rede tridimensional de tetraedros de  $\text{SiO}_4$  e  $\text{AlO}_4$  que delimita cavidades  $\beta$  interligadas por janelas estreitas. A compensação da carga negativa do arcabouço por cátions e ânions extraestruturais confere ao material propriedades de troca iônica, adsorção, separação, catálise e imobilização de espécies químicas [1]. Entretanto, a aplicação da sodalita não é determinada apenas pela topologia cristalina. O tamanho, a forma, o grau de agregação e a organização dos cristais também controlam a área externa acessível, a resistência à difusão, a dispersão de fases ativas, a densidade aparente e o comportamento de processamento do sólido [2].

Em materiais zeolíticos, a morfologia resulta do balanço entre nucleação, crescimento cristalino e agregação de partículas. Por isso, ela pode variar de acordo com a fonte de silício e alumínio e com a rota sintética empregada. Precursores minerais, como caulim e rejeitos aluminossilicatados, apresentam diferenças de cristalinidade, impurezas, razão Si/Al e reatividade, enquanto reagentes sintéticos permitem maior controle da composição inicial. Além disso, a concentração de NaOH, a alcalinidade, o teor de água, a temperatura e o tempo de cristalização, o envelhecimento do gel, a agitação e o uso de agentes direcionadores de estrutura modificam a solubilização das espécies, a supersaturação e os mecanismos de crescimento [2-4]. Assim, sob condições distintas, a sodalita pode formar cristais com hábito rombododecaédrico, partículas esféricas ou lepisféricas, agregados de nanobastões e outras arquiteturas hierárquicas.

Essa relação entre rota e morfologia possui consequências práticas. Em estudo com caulim submetido à fusão alcalina, o envelhecimento em diferentes condições produziu tanto cristais rombododecaédricos quanto agregados do tipo “bola de lã”, constituídos por nanobastões; a segunda arquitetura apresentou maior capacidade de sorção de nitrogênio e área superficial específica superior à do material convencional [3]. De modo semelhante, a síntese com a mesma composição de gel, mas em diferentes temperaturas, levou a partículas esféricas formadas por pequenos cristalitos ou a partículas lepisféricas maiores. O aumento da razão  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  favoreceu nanocristais menores e agregados mais volumosos, enquanto a alcalinidade excessiva promoveu fases zeolíticas secundárias [2]. Esses resultados mostram que a morfologia é simultaneamente uma resposta às condições de síntese e uma variável de projeto para adequar o sólido à aplicação pretendida.



Este trabalho teve como objetivo sintetizar e caracterizar sodalita com morfologia em avelã a partir de rejeitos de bauxita da Amazônia, relacionando a origem do precursor e as condições da rota sintética com a formação da fase cristalina e a arquitetura das partículas. A pesquisa justifica-se pela valorização de um resíduo mineral regional da Amazonia e pela possibilidade de produzir um material microporoso com morfologia controlada, contribuindo para o desenvolvimento de alternativas mais sustentáveis para aplicações em adsorção, troca iônica e processos catalíticos.

### **Material e Métodos**

A argila de lavagem de bauxita (ALB) foi utilizada como precursor para a síntese de sodalita por uma rota composta por fusão alcalina, tratamento hidrotermal e posterior recuperação do produto a partir do licor hidrotermal. Inicialmente, 25 g de ALB foram misturados a 50 g de hidróxido de sódio (NaOH), na forma de lentilhas, correspondendo à razão mássica ALB:NaOH de 1:2. A mistura foi homogeneizada em moinho de bolas durante 60 min, empregando velocidade de rotação de 600 rpm. Após a homogeneização, a mistura foi submetida a tratamento hidrotérmico a 80 °C durante 12 h. O sólido obtido nessa etapa foi misturado com água deionizada e submetido a tratamento hidrotermal a 110 °C durante 24 h. Ao término do processo, o licor hidrotermal foi separado e transferido para um recipiente adequado, e submetido à secagem lenta até a formação de um sólido branco. O material formado foi separado, seco e armazenado para posterior caracterização mineralógica, química e morfológica. A identificação da fase cristalina foi realizada por DRX. A morfologia foi investigada por MEV, utilizando imagens obtidas com ampliações de 4,00 kx e 5,00 kx, ambas com barra de escala de 10 µm. A composição elementar foi determinada por EDS em análise de mapa/espectro de soma.

### **Resultados e Discussão**

O difratograma da ALB utilizada como precursor apresentou reflexões atribuídas à caulinita, gibbsita, anatásio e hematita, conforme indicado na Fig. 1. Esse conjunto de fases é compatível com a natureza mineralógica de argilas associadas à lavagem de bauxita e evidencia a presença de fontes de alumínio e silício necessárias à formação de aluminossilicatos. Após a fusão alcalina e o tratamento hidrotermal, o difratograma do sólido recuperado a partir do licor apresentou coincidência visual entre os principais picos experimentais e as reflexões do padrão de sodalita utilizado na comparação. Essa correspondência indica a formação de uma fase cristalina compatível com sodalita e demonstra que a combinação entre NaOH, ativação térmica e tratamento hidrotermal foi capaz de promover a reorganização dos constituintes do precursor. Pequenas diferenças entre as intensidades experimental e de referência podem estar relacionadas à orientação preferencial, ao grau de cristalinidade, à presença de material amorfo ou à coexistência de fases minoritárias. Como a figura apresentada não contém quantificação de fases, não é possível afirmar que o produto seja monofásico apenas com base no difratograma.

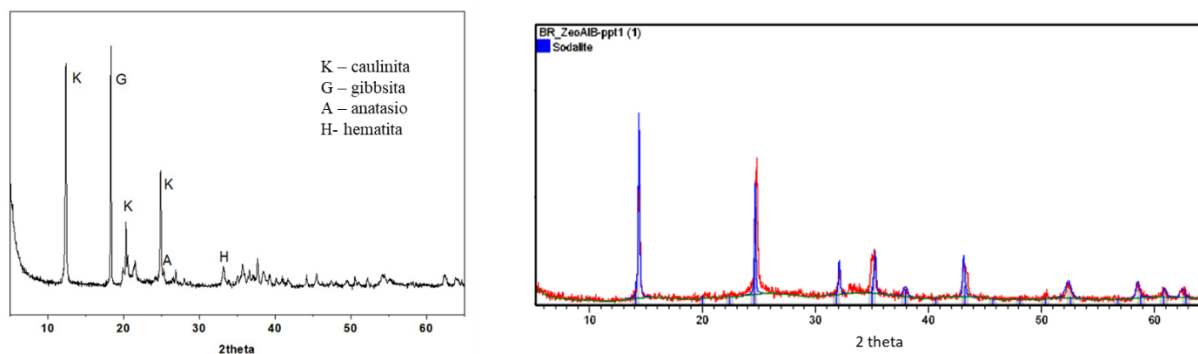


Fig. 1: Padrões DRX das amostras de rejeitos de bauxita (esquerdo) e Na-sodalita (direito).

O espectro de FTIR do produto, identificado no gráfico como Na-sod, apresentou banda larga em aproximadamente  $3460\text{ cm}^{-1}$ , associada ao estiramento de grupos O–H e à água adsorvida, e banda em torno de  $1678\text{ cm}^{-1}$ , relacionada à deformação angular da água molecular. A absorção próxima de  $970\text{ cm}^{-1}$  pode ser associada às vibrações de estiramento das ligações Si–O e Al–O do arcabouço aluminossilicatado. As bandas observadas em aproximadamente  $850$ ,  $568$ ,  $450$  e  $422\text{ cm}^{-1}$  situam-se na região característica das vibrações de deformação e flexão da rede tetraédrica. Em conjunto, o espectro é consistente com a presença de um aluminossilicato hidratado do tipo sodalita e complementa a identificação estrutural indicada pelo DRX. A interpretação das bandas deve ser considerada em conjunto com a composição química e os padrões de referência, pois algumas absorções podem sofrer deslocamentos em função da hidratação e de substituições no arcabouço.

As micrografias eletrônicas de varredura revelaram morfologia heterogênea, com agregados irregulares constituídos por partículas alongadas, de hábito prismático ou acicular, associadas a material particulado fino e rugoso (Fig. 2). Em maior magnificação, também foram observadas regiões com agregados esferoidais formados pela organização de unidades alongadas, conferindo aspecto semelhante a uma avelã. Essa heterogeneidade pode refletir a ocorrência de diferentes domínios de nucleação, crescimento e agregação durante a conversão do precursor. A presença de partículas alongadas e de material fino aderido aos agregados indica que o produto recuperado do licor não é constituído por uma população morfológica uniforme. A morfologia observada não permite, isoladamente, identificar a fase cristalina; entretanto, quando analisada em conjunto com o DRX e o FTIR, demonstra que a rota produziu um sólido compatível com sodalita e com arquitetura particulada hierárquica.

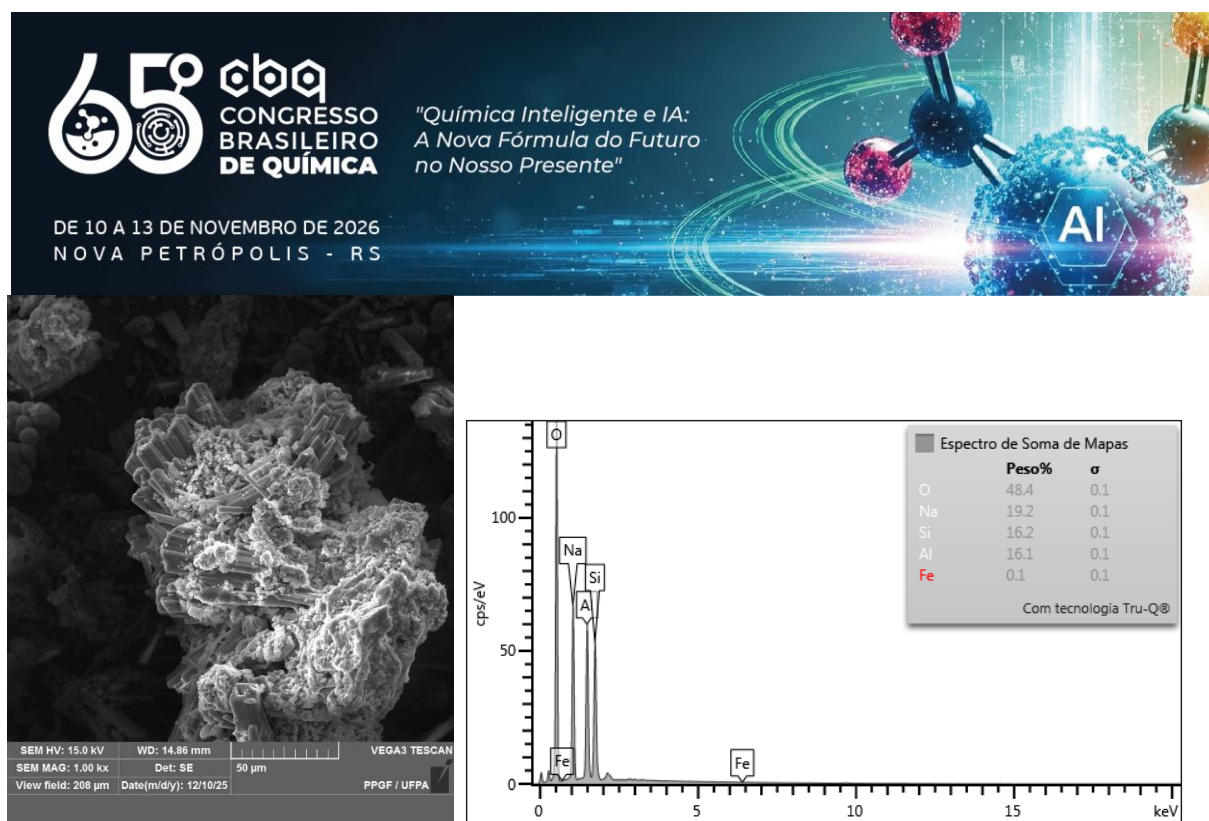


Fig. 2: Micrografia de microscopia eletrônica de varredura de Na-sodalita

## Conclusões

Os resultados mostram que a rota empregada, baseada na fusão alcalina de ALB seguida de tratamento hidrotermal e resfriamento do licor, possibilitou recuperar um sólido branco com características estruturais e morfológicas compatíveis com a formação de sodalita. A utilização de um resíduo mineral como fonte de alumínio e silício contribui para sua valorização e reduz a dependência de precursores sintéticos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Apoio a Projetos de Pesquisa Multicampi INTEGRA-UFPA 2026 pelo apoio financeiro e institucional para a realização deste estudo.

## Referências

- [1] CHUKANOV, N. V.; AKSENOV, S. M. Structural Features, Chemical Diversity, and Physical Properties of Microporous Sodalite-Type Materials: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 25, n. 18, 10218, 2024. DOI: 10.3390/ijms251810218.
- [2] ZHANG, X.; WANG, K.; HUANG, H.; CHEN, S.; LIU, S. Influences of crystallization time, batch molar ratios  $Al_2O_3/SiO_2$  and  $Na_2O/SiO_2$  on particulate properties of sodalite crystals prepared under room-temperature conditions. *Advanced Powder Technology*, v. 34, n. 2, 103957, 2023. DOI: 10.1016/j.appt.2023.103957.
- [3] LI, J.; ZENG, X.; YANG, X.; WANG, C.; LUO, X. Synthesis of pure sodalite with wool ball morphology from alkali fusion kaolin. *Materials Letters*, v. 161, p. 157–159, 2015. DOI: 10.1016/j.matlet.2015.08.058.
- [4] MAIA, A. A. B.; NEVES, R. F.; ANGELICA, R. S.; PÖLLMANN, H. Study of the sodalite Bayer synthesis process from reject of kaolin of the Amazon region, Brazil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 55., 2011, Porto de Galinhas. Anais [...]. São Paulo: Associação Brasileira de Cerâmica, 2011.