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

Silicato de Sódio da Casca de Arroz para Imobilização Sol -Gel de Rejeitos Radioativos

Mariana S. Araujo[1*]; Danilo L. Costa-Silva; Chieko Yamagata[1]; Sonia Mello-Castanho[1]
[1] Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN/SP), CECTM, São Paulo, Brasil
*mariana.araujo@ipen.br

Introdução

Matrizes vítreas silicatadas são a forma consolidada de imobilização de rejeitos radioativos [1]; a rota sol-gel permite obtê-las em temperaturas mais brandas que a fusão e com maior flexibilidade composicional. O precursor de sílica usual, o tetraetilortossilicato (TEOS), é caro e de origem petroquímica. A casca de arroz, resíduo agroindustrial abundante no Brasil, contém sílica amorfa e é fonte renovável de silicato de sódio, em geral obtido pela dissolução alcalina da cinza calcinada (CCA) [2, 3].

Objetivos

- Obter silicato de sódio por extração alcalina direta da casca bruta, sem calcinação nem lixiviação ácida prévias;
- Determinar o SiO_2 da solução por método direto e verificar sua consistência com o teor de cinzas da casca;
- Avaliar a aptidão da solução para formar monólitos sol-gel, sem e com zeólita saturada com Cs.

Metodologia

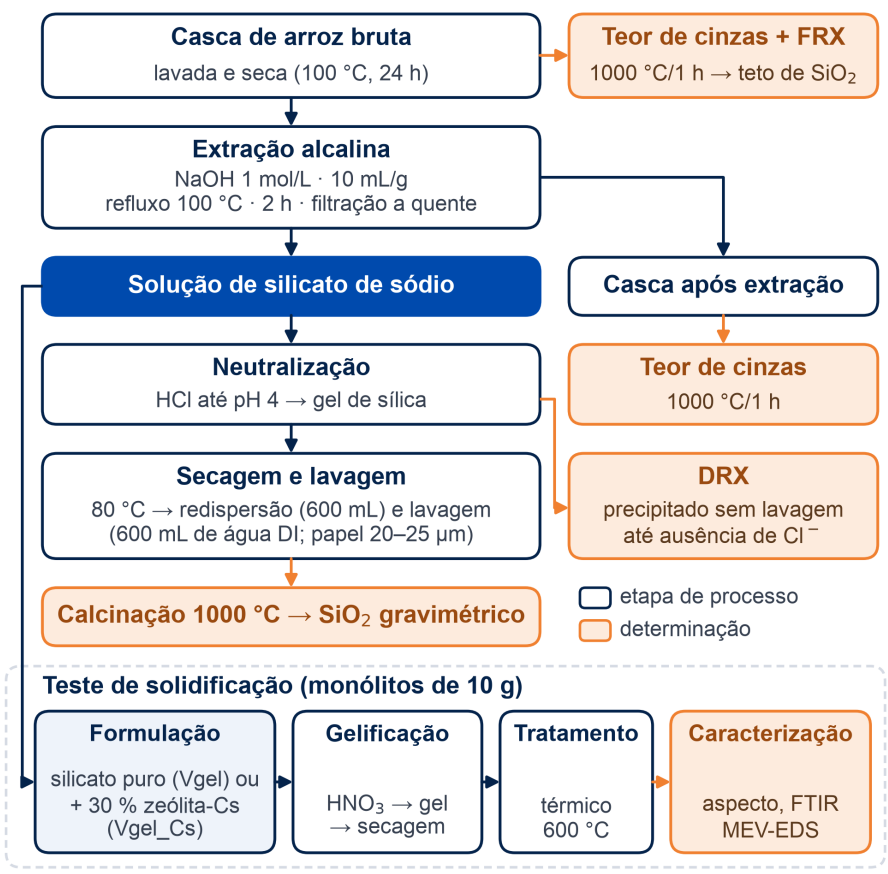


Figura 1. Rota de extração, determinações e teste de solidificação.

- Rota de extração já otimizada, partindo da casca de arroz bruta, sem qualquer tipo de beneficiamento físico ou químico.
- Teste de solidificação da solução de silicato de sódio antes de complexificar a composição.

Resultados e Discussão

17,78 %	9,79	≥ 62 %	30 %
cinza da casca bruta	mg/mL de SiO_2 (gravimetria)	da SiO_2 disponível extraída	de zeólita-Cs no monólito

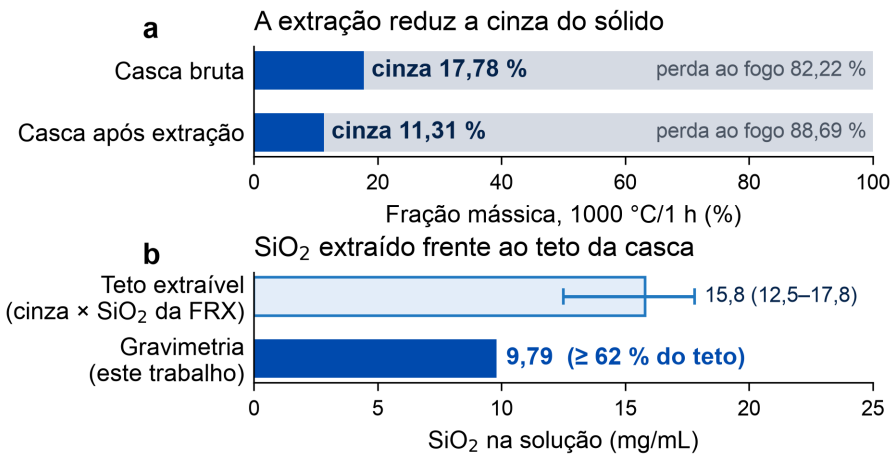


Figura 2. (a) Cinza e perda ao fogo (1000 °C/1 h, ~3 g). (b) SiO_2 na solução frente ao teto extraível; barra de erro: SiO_2 = 70,41 % a 100 % da cinza.

- NaOH 1 mol/L e base titulável de 0,8–1,0 mol/L (pH 4) dão Na/Si ≈ 4–6: a maior parte do NaOH permanece livre.
- Sílica precipitada amorfa (halo em ~22°); reflexões cristalinas apenas de NaCl, sal da neutralização.

Teste de solidificação

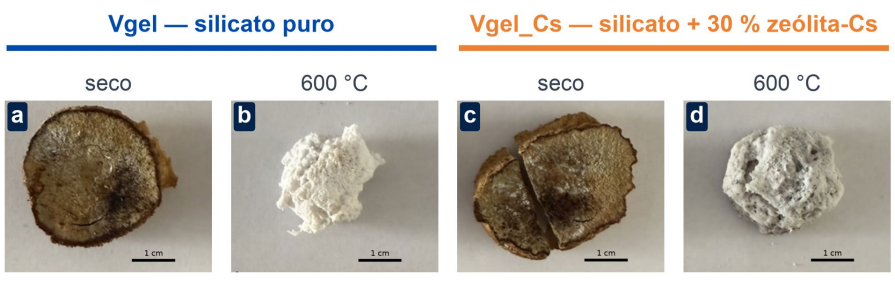


Figura 4. Monólitos secos e após 600 °C. Barras de escala: 1 cm.

- As duas formulações gelificaram e formaram discos coesos após a secagem (Fig. 4a,c): a carga de 30 % de zeólita-Cs não impediu a gelificação.
- A 600 °C os corpos tornam-se brancos, porosos e friáveis, com retração linear aparente de ~20–25 % (Fig. 4b,d): a consolidação ainda requer otimização.

Conclusões

- A extração alcalina direta da casca bruta, sem calcinação nem lixiviação ácida, fornece silicato com ≥ 9,79 mg/mL de SiO_2 (≥ ~62 % da sílica disponível) e sílica amorfa.
- A solução forma monólitos sol-gel, inclusive com 30 % de zeólita saturada com Cs, o que demonstra sua aptidão como precursor para imobilização.

Referências e Agradecimentos

[1] OJOVAN, M. I.; LEE, W. E.; KALMYKOV, S. N. Immobilisation of radioactive wastes in glass. In: **An introduction to nuclear waste immobilisation**. 3. ed. Amsterdam: Elsevier, 2019. p. 319-368.
[2] KALAPATHY, U.; PROCTOR, A.; SHULTZ, J. A simple method for production of pure silica from rice hull ash. **Bioresource Technology**, v. 73, n. 3, p. 257-262, 2000.
[3] NZEREOGU, P. U. et al. Silica extraction from rice husk: comprehensive review and applications. **Hybrid Advances**, v. 4, 100111, 2023.
Agradecimentos: CNPq Projeto n° 306918/2025-0; FAPESP (processos 2024/23610-3, 2025/24084-6 e 2025/22802-9).