



## Produção de carvão ativado a partir do caroço de tucumã por ativação Química com $ZnCl_2$

Janekelly Souza Sampaio Rodrigues<sup>1</sup>, Thifane Samanta Conceição de Freitas<sup>1</sup>, Wanessa Gabrielly Pereira de Oliveira<sup>1</sup>, Bianka Victória Nunes Fonseca<sup>2</sup>, Fabricio Guivares Saggioro<sup>2</sup>, Laís Lenne Printes dos Santos<sup>2</sup>, Thaisa Moreira de Matos<sup>2</sup>, Wesley Victor de Sombra Quércia<sup>2</sup>, Franciso Xavier Nobre<sup>2\*</sup>.

<sup>1</sup> Técnico Integrado em Química (IQUI), Instituto Federal do Amazonas, Campus Manaus Centro (IFAM-CMC), Avenida Sete de Setembro, 1975, 9020-120, Manaus, AM, Brasil.

<sup>2</sup> Grupo de Recursos Energéticos e Nanomateriais (GREEN), Instituto Federal do Amazonas, Campus Manaus Centro (IFAM-CMC), Avenida Sete de Setembro, 1975, 9020-120, Manaus, AM, Brasil.

\* Thifane Samanta Conceição de Freitas ([thifanesamanta@gmail.com](mailto:thifanesamanta@gmail.com)).

**Palavras-Chave:** Carvão ativado, Fertilizante natural, Tucumã.

### Introdução

Os fertilizantes são essenciais para a produtividade agrícola, porém seu uso excessivo pode causar erosão e contaminação ambiental, Mendes et al. [1]. A crescente geração de resíduos sólidos reforça a necessidade de soluções sustentáveis, como o reaproveitamento de materiais Pedroza et al. [2]. Nesse contexto, destaca-se a produção de carvão ativado a partir do caroço de tucumã, uma alternativa sustentável que aproveita resíduos agroindustriais Souza; Teixeira; Fernandes. [3]. O carvão ativado, obtido por pirólise, possui alta porosidade e capacidade de adsorção, sendo útil como fertilizante natural e adsorvente de poluentes. Associado à hidroxiapatita, o carvão ativado melhora a retenção de água, a absorção de nutrientes e a atividade microbiana no solo Hemzah et al. [4]. Estudos mostram que seu uso combinado com fertilizantes orgânicos aumenta a eficiência dos nutrientes e reduz impactos ambientais, Zhang et al. [5]. Assim, o carvão de tucumã representa uma alternativa sustentável alinhada à bioeconomia e à agricultura verde (Hu et al., 2024).

### Material e Métodos

A biomassa de *Astrocaryum aculeatum* foi coletada em feiras de Manaus, seca a 85 °C/24 h, moída e peneirada. A impregnação foi feita com  $ZnCl_2$  (1:1 m/m) dissolvido em 50 mL de água destilada, sob agitação por 2 h, seguida de secagem a 180 °C/24 h. A carbonização ocorreu em forno mufla (400–700 °C, 1 h, 10 °C min<sup>-1</sup>). Os carvões foram lavados com HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>, filtrados, centrifugados a 6000 rpm e secos a 105 °C/48 h. A DRX foi realizada em Bruker D2 Phaser (Cu K $\alpha$ ,  $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ , 10–80°, 2° min<sup>-1</sup>) e refinada pelo método de Rietveld. A Raman foi obtida em Bruker SENTERRA (laser 532 nm, 50 – 1300 cm<sup>-1</sup>). A MEV-FEG/EDS foi conduzida em FEI Quanta 250 (200–30 000 V, res. 1,6 nm) para análise morfológica e elemental.

### Resultados e Discussão

#### Difração de Raios X (DRX)

Os padrões de difração apresentados na Figura 1 evidenciam que os carvões ativados em diferentes temperaturas apresentam perfis característicos de cristalização. Observa-se que, nas amostras tratadas a temperaturas mais baixas (400 °C e 500 °C), os difratogramas exibem picos de baixa intensidade, indicando a presença

majoritária de material amorfo, típico de estruturas parcialmente carbonizadas.

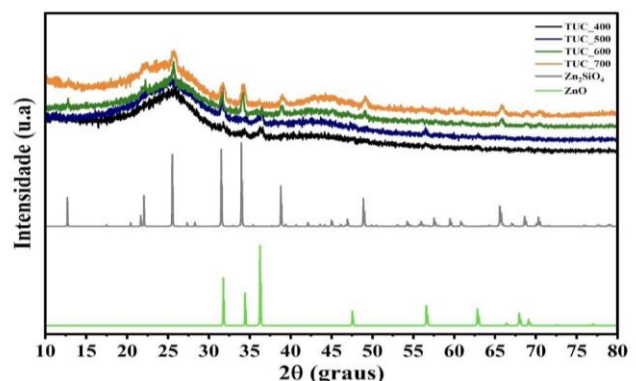
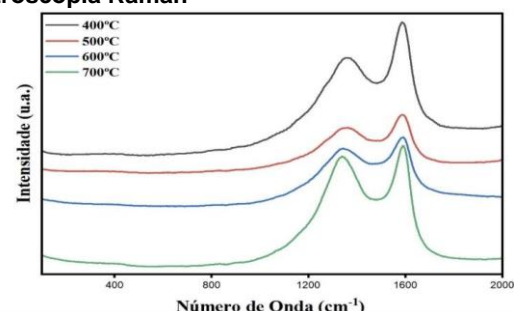


Figura 1: Gráfico Difração de Raios X (DRX)

A partir de 600 °C, os difratogramas passam a exibir picos mais intensos e bem definidos, indicando o início da cristalização de compostos inorgânicos, especialmente óxido de zinco (ZnO) e silicato de zinco ( $Zn_2SiO_4$ ). Esses resultados sugerem que o cloreto de zinco ( $ZnCl_2$ ) utilizado na ativação térmica sofreu decomposição e reagiu com a sílica residual da biomassa, favorecendo a formação de ZnO, que, em temperaturas mais elevadas, evolui para a fase cristalina de  $Zn_2SiO_4$ , na amostra ativada a 700 °C, os picos de  $Zn_2SiO_4$  tornam-se ainda mais evidentes, confirmando que o aumento da temperatura intensifica a interação entre compostos inorgânicos presentes no carvão. Dessa forma, os resultados demonstram que o tratamento térmico não apenas modifica a estrutura carbonosa, mas também induz a formação de fases cristalinas relevantes para aplicações catalíticas e adsorventes.

#### Espectroscopia Raman

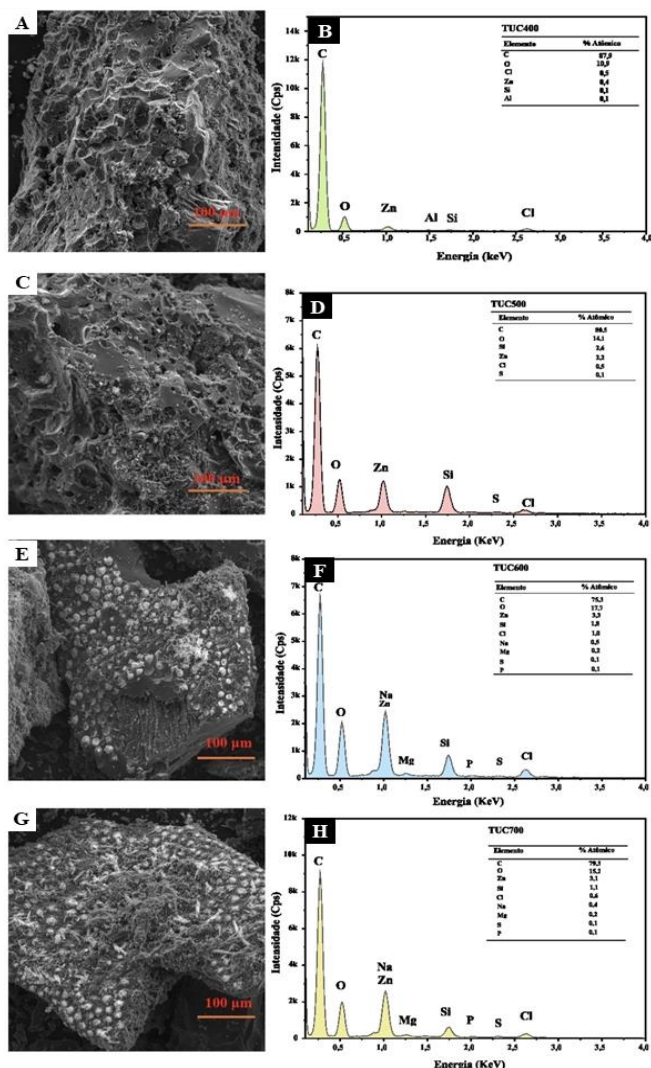


**Figura 2:** Espectros Raman das amostras.

A Figura 2 apresenta os espectros Raman do carvão ativado tratado a 400, 500, 600 e 700 °C. Observa-se que o material tratado a 400 °C exibe a maior intensidade da banda D (~1358 cm<sup>-1</sup>), indicando alto grau de desordem estrutural e predominância de regiões amorfas. À medida que a temperatura de tratamento aumenta (500 → 700 °C), nota-se uma redução progressiva da intensidade da banda D e um aumento relativo da banda G (~1587 cm<sup>-1</sup>), o que evidencia a reorganização da estrutura carbonácea e uma maior formação de domínios grafiticos. Esse comportamento mostra que o tratamento térmico promove a transição de uma estrutura amorfa para uma mais ordenada e grafitizada, confirmando o papel da temperatura na evolução estrutural do carvão ativado.

### Microscopia Eletrônica De Varredura (MEV) e Espectroscopia de Energia Dispersiva De Raios-X (EDS).

As análises morfológicas obtidas por MEV permitiram observar alterações significativas na superfície do carvão ativado conforme a temperatura de ativação aumentava. Na amostra de 400 °C (A, B), a superfície se manteve relativamente compacta, apresentando poucas cavidades e estrutura pouco degradada. Com o aumento da temperatura para 500 °C (C, D), iniciou-se a formação de fissuras e poros, enquanto nas amostras a 600 °C (E, F) e 700 °C (G, H) foi observada a intensificação da porosidade, evidenciando um desenvolvimento progressivo da área superficial, característica essencial para o desempenho de carvões ativados.



**Figura 3:** Imagem de MEV (A, C, E e G) e gráficos de EDS (B, D, F, H).

Os espectros de EDS revelaram correlações claras entre a morfologia e a composição química das amostras. Nas amostras a 400 °C e 500 °C, predominam os elementos carbono (C) e oxigênio (O), com traços discretos de outros elementos. A partir de 600 °C, surgem picos expressivos de zinco (Zn) e silício (Si), indicando a formação de óxido de zinco (ZnO) e silicato de zinco (Zn<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>). Na amostra de 700 °C, a intensidade desses picos aumentou, demonstrando que o tratamento térmico favoreceu a mineralização e estabilização dessas fases inorgânicas, corroborando com a literatura.

Além disso, observa-se que as estruturas particuladas visualizadas nas imagens de MEV estão diretamente relacionadas aos compostos detectados nos espectros de EDS, evidenciando que a presença de ZnO e Zn<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> está associada às alterações na morfologia do carvão ativado, como a criação de poros e cavidades. Esse comportamento integrado entre morfologia e composição química reforça a influência da temperatura de ativação no desempenho estrutural e funcional do carvão obtido.

### Conclusões

A produção de carvão ativado a partir dos caroços de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) foi bem-sucedida, atendendo aos principais objetivos. O processo, composto por secagem, moagem, impregnação com cloreto de zinco (ZnCl<sub>2</sub>), carbonização (400 – 700 °C) e ativação com ácido clorídrico, resultou em materiais homogêneos, escuros e porosos. O menor rendimento em altas temperaturas indicou maior degradação da biomassa e formação de estruturas mais estáveis. As análises de DRX, Raman, MEV e EDS mostraram a evolução estrutural e morfológica do material, com formação de ZnO e Zn<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> e maior organização dos planos grafiticos. Embora o produto não seja adequado como fertilizante devido ao Zn<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, apresenta grande potencial para uso no tratamento de água, destacando sua importância ambiental e tecnológica.

### Agradecimentos

A FAPEAM e ao CNPQ pelo suporte financeiro, ao IFAM-CMC pelo suporte e estrutura laboratorial disponibilizada.

### Referências

- [1] Mendes, Alessandra Monteiro Salviano. Impactos ambientais causados pelo uso de fertilizantes agrícolas. In: BRITO, Luiza Teixeira de Lima; MELO, Roseli Freire de; GIONGO, Vanderlise (Ed.). *Impactos ambientais causados pela agricultura no Semiárido brasileiro*. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.
- [2] Pedroza, Marcelo Mendes et al. *Preparação de carvão ativado a partir da pirólise de vagens de flamboyant (Delonix regia)*. AIDIS, [S. l.], v. 16, n. 3, p. 779–796, 2023.
- [3] Souza, Cristiane Daliassi Ramos De; TEIXEIRA, Matheus Macedo; Fernandes, Suenne Renata Lima. *Influência dos parâmetros na síntese do carvão ativado da casca do Astrocaryum aculeatum no processo de adsorção*. Revista Principia, [S. l.], v. 60, n. 3, p. 958–976, 2023.
- [4] Hemzah, Sabila Aulia et al. *Hydrothermal synthesis of nanohydroxyapatite-activated carbon composites and its slow-release performance for urea*. Scientific Reports, [S. l.], v 15, n. 1, p. 1-10, 2025.
- [5] Zhang, Kangkang et al. *The application of biochar improves the nutrient supply efficiency of organic fertilizer, sustains soil quality and promotes sustainable crop production*. Food Energy Secur, [S. l.], v. 13, n. e520, p. 1-17. 2024.