

EFEITO DA TEMPERATURA NA PRODUÇÃO DE BIOCHAR A PARTIR DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

ARTHUR ALLYSON DE LIMA OLIVEIRA¹, CARLOS EDUARDO MACHADO DE OLIVEIRA², EMMILY EDIVIGES FERREIRA BARROS³ e DANIELA LIMA MACHADO DA SILVA⁴

¹Mestrando em Engenharia Civil, UFC, Russas-CE, arthurallyson@alu.ufc.br;

²Mestrando em Engenharia Civil, UFC, Russas-CE, edu.machado@alu.ufc.br;

³Mestrando em Engenharia Civil, UFC, Russas-CE, emmilybarros@alu.ufc.br;

⁴Dr.^a em Engenharia Civil e Ambiental, Prof.^a. Titular, UFC, Russas-CE, danielalms@ufc.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021

RESUMO: Este trabalho objetivou investigar como a variação da temperatura de pirólise afeta o rendimento e a composição química do biochar. Para alcançar o objetivo proposto, o bagaço da cana-de-açúcar foi utilizado para a produção do biochar sob diferentes temperaturas de pirólise, onde para realizar esse procedimento foi empregado um forno mufla e o ensaio foi executado sob atmosfera inerte. A composição química dos biochars foi determinada por meio da espectroscopia de energia dispersiva (EDS). Os rendimentos médios dos biochars obtidos foram de 29,46%, 25,19% e 23,76%, e a análise elementar revelou variações nos teores de carbono, oxigênio e nitrogênio conforme a temperatura. Os resultados indicam que a temperatura de pirólise exerce influência significativa sobre o rendimento e a composição química do biochar, impactando suas propriedades estruturais e potencial de aplicação ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Biomassa, biochar, pirólise lenta, temperatura de pirólise.

EFFECT OF TEMPERATURE ON THE PRODUCTION OF BIOCHAR FROM SUGARCANE BAGASSE

ABSTRACT: This study aimed to investigate how variations in pyrolysis temperature affect the yield and chemical composition of biochar. To achieve this objective, sugarcane bagasse was used for biochar production at different pyrolysis temperatures. The process was carried out in a muffle furnace under an inert atmosphere. The chemical composition of the biochars was determined using energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS). The average biochar yields obtained were 29.46%, 25.19%, and 23.76%, and elemental analysis revealed variations in the contents of carbon, oxygen, and nitrogen depending on the temperature. The results indicate that pyrolysis temperature significantly influences both the yield and chemical composition of biochar, affecting its structural properties and potential environmental applications.

KEYWORDS: Biomass; Biochar; Slow pyrolysis; Pyrolysis temperature.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, aliado ao acelerado processo de urbanização, têm intensificado a geração de resíduos sólidos, acarretando custos expressivos aos municípios (He et al., 2022; Ambaye et al., 2023). Nesse contexto, intensifica-se a busca por soluções que integrem a redução dos impactos ambientais negativos e a maximização do aproveitamento desses materiais.

Entre as estratégias para mitigar o acúmulo de resíduos, destacam-se a valorização de biomassa residual por meio da pirólise – um processo termoquímico que ocorre na ausência ou com baixa disponibilidade de oxigênio – como uma alternativa capaz de gerar produtos de elevado valor agregado e reduzir impactos ambientais negativos. E dentre os produtos que são gerados pelo processo de pirólise, o biochar se sobressai devido à sua natureza estável, estrutura porosa e elevado teor de carbono,

características que o tornam altamente promissor para aplicações em diversos setores, como agricultura e energia (Bezuszko et al., 2025).

A eficiência e as características do biochar, contudo, são fortemente influenciadas pelas condições operacionais da pirólise. A temperatura é um dos fatores mais determinantes para a composição química e o grau de aromatização do carbono, enquanto a taxa de aquecimento tende a exercer influência mais evidente em temperaturas mais baixas, impactando o rendimento e a estrutura final do sólido (Angin, 2013). De forma complementar, variáveis como tempo de residência e tamanho das partículas modulam a transferência de calor e as reações secundárias, influenciando a formação de estruturas carbonáceas mais resistentes à degradação e com um maior potencial de aplicação ambiental (Leng et al., 2018).

Diante desse cenário, esta pesquisa propõe-se a investigar como a variação da temperatura de pirólise afeta o rendimento e a composição química do biochar. A análise busca esclarecer a influência desse fator na quantidade e nas propriedades do material produzido, visando aprimorar o processo para usos ambientais e energéticos.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta e preparação das amostras

O bagaço da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) foi coletado no município de Cascavel, localizado na região metropolitana de Fortaleza, no Estado do Ceará, cujas coordenadas geográficas são: latitude 04°07'51" S e longitude 38°14'08" W, conforme observado na Figura 1.

Figura 1. Localização de Cascavel-CE



Após a coleta, a biomassa foi colocada em sacos plásticos e transportadas ao Laboratório de Construção Civil da Universidade Federal do Ceará (UFC) – Campus Russas, onde foram realizadas a preparação das amostras e a subsequente produção dos biochars. A preparação teve com o corte da biomassa para redução do tamanho dos resíduos. Em seguida, o material foi submetido à secagem em estufa com o intuito de remover a umidade residual. Por fim, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Mecânica II da UFC-Campus Russas para as etapas seguintes do processo.

Produção dos biochars

Os biochars foram produzidos por meio da técnica de pirólise lenta, realizado em um forno mufla da marca Linn Elektro Therm, modelo KK-170, sob atmosfera inerte. Neste estudo, foram empregadas três diferentes temperaturas de pirólise, conforme detalhada na Tabela 1, permanecendo-se constante a taxa de aquecimento e o tempo de permanência (Premchand *et al.*, 2023).

Tabela 1. Parâmetros operacionais de pirólise.

| Biochar | Temperatura (°C) | Taxa de aquecimento (°C/min) | Tempo de permanência (min) |
|---------|------------------|------------------------------|----------------------------|
| BC400 | 400 | 5 | 60 |
| BC500 | 500 | 5 | 60 |
| BC600 | 600 | 5 | 60 |

Para o processo de degradação térmica, foram adicionados 150 g de biomassa seca em formas metálicas, as quais foram vedadas a fim de evitar contato com o Oxigênio (O) e manter o material em atmosfera inerte. Todos os biochars foram produzidos em triplicata, visando uma maior confiabilidade dos resultados.

Rendimento dos biochars

O rendimento dos biochars produzidos em diferentes temperaturas foi calculado com base na Equação 01, seguindo a metodologia descrita por Unsomsri *et al.* (2025), em seu estudo sobre o efeito da temperatura no processo de pirólise de cachos de frutos de palmeira fresca, e por Premchand *et al.* (2023), que investigou a influência da atmosfera de dióxido de carbono (CO₂) na produção de biochar por pirólise lenta de resíduos orgânicos agro-urbanos.

$$\text{Rendimento} = \frac{\text{Massa do biochar}}{\text{Massa da biomassa bruta seca}} \times 100 \quad \text{Eq. (1)}$$

Composição química

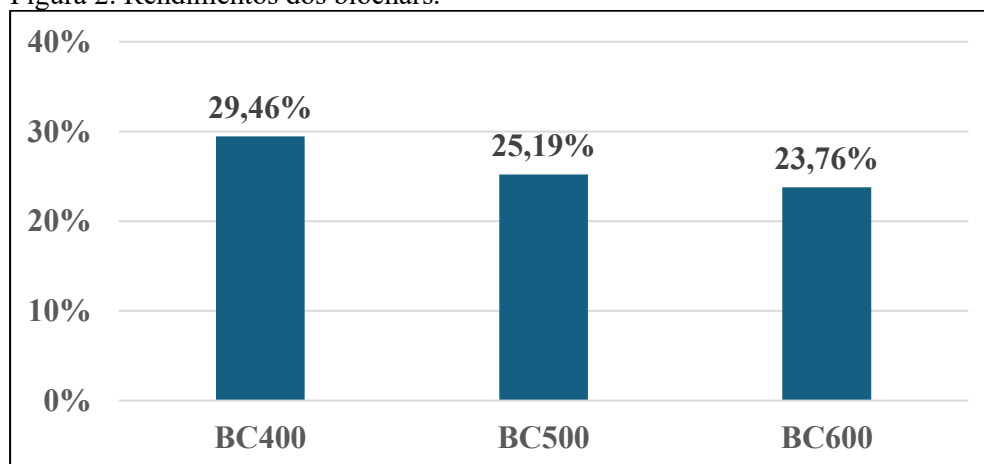
A composição química dos biochars foram analisadas por meio da espectroscopia de energia dispersiva (EDS) acoplado à microscopia eletrônica de varredura (SEM-EDS), conforme feito por Suárez-hernández *et al.* (2017) em seu estudo sobre a caracterização morfológica e físico-química de biochar produzido pelo processo de gaseificação de espécies florestais, e por Waqas *et al.*, (2018) em seu estudo sobre o desenvolvimento de biochars como combustível e catalisador em tecnologia de recuperação de energia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Rendimento dos biochars

Os rendimentos obtidos para os biochars produzidos com diferentes temperaturas estão apresentados na Figura 2, permitindo a comparação entre as condições de pirólise.

Figura 2. Rendimentos dos biochars.



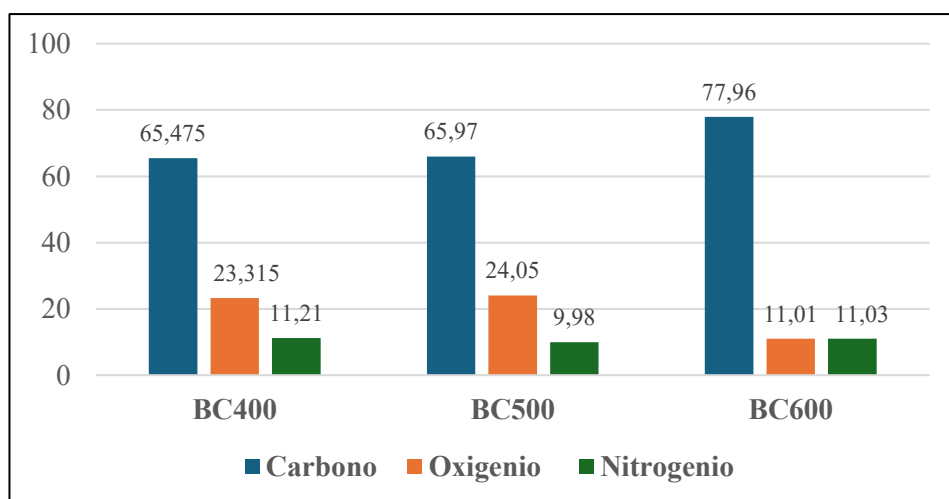
A análise da Figura 3 mostrou que o maior rendimento de biochar neste estudo foi de 29,46%, o qual foi produzido em temperatura de 400 °C. Esse resultado pode estar relacionado a uma menor decomposição térmica dos materiais voláteis presente na biomassa. Com o aumento da temperatura para 500°C, observou-se uma redução de 4,27% no rendimento do biochar, resultando em 25,19%. Quando a temperatura foi elevada para 600°C, o rendimento diminuiu para 23,76%, o menor valor observado. Essa redução mais acentuada em comparação à transição anterior, estar em comum acordo com os achados de Zhang *et al.*, (2020), que relata que, à medida que a temperatura de pirólise ultrapassa 400°C, o rendimento tende a apresentar uma diminuição mais constante e acentuada.

Esses resultados evidenciam que a temperatura é um dos parâmetros operacionais da pirólise que influencia diretamente no rendimento final do biochar. O aumento da temperatura resulta em uma redução do rendimento, resultado esse também encontrado por Unsomsri *et al.*, (2025). Essa redução está diretamente relacionada a intensificação da decomposição de materiais voláteis (Bezuszeko *et al.*, 2025). De acordo com Bezuszeko *et al.* (2025), temperaturas mais baixas durante o processo de pirólise favorecem as reações de carbonização, resultando em uma maior proporção do material sólido (biochar). Em contrapartida, à medida que a temperatura é elevada, as reações de desvolatilização apresentam uma maior intensidade, promovendo a liberação de materiais voláteis, o que contribui para o aumento da produção de frações gasosas e líquidas, tais como o gás de síntese e o bio-óleo, respectivamente, e desfavorecendo a formação de material sólido.

Composição química

Na Figura 3 são apresentados a composição química dos biochars produzidos. Notou-se que os biochars apresentaram a mesma composição química, contudo, apresentam proporções dos elementos químicos diferentes. Os biochars apresentaram em sua composição, majoritariamente, carbono (C), seguido por oxigênio (O) e nitrogênio (N).

Figura 3. Composição química dos biochars.



Além disso, observou-se que o aumento da temperatura influenciou significativamente nos teores dos compostos químicos presente nos biochars. O carbono apresentou um aumento contínuo com a elevação da temperatura, resultado esse também encontrado por Waqas *et al.* (2018). Em contrapartida, o oxigênio e nitrogênio mostraram comportamento distintos: o teor de oxigênio aumentou de 23,315% para 24,05% quando a temperatura foi elevada de 400°C para 500°C, mas apresentou uma queda expressiva de 24,05% para 11% ao se aumentar a temperatura de 500°C para 600°C. Já o nitrogênio apresentou comportamento inverso: diminuiu de 11,21% para 9,98%, entre 400°C e 500°C, e posteriormente aumentou para 11,03% ao se atingir 600°C.

CONCLUSÃO

Diante disso, conclui-se que a temperatura de pirólise exerce forte influência sobre as características do biochar, afetando diretamente tanto o seu rendimento quanto sua composição química. Observou-se que o aumento da temperatura provocou uma diminuição expressiva nos rendimentos dos biochars produzidos nesse estudo. Além disso, a variação da temperatura impactou também os teores dos principais componentes químicos presente nos biochars: o carbono apresentou um aumento contínuo progressivo com a elevação da temperatura, o oxigênio exibiu um comportamento não linear, apresentando um aumento em determinados intervalos de temperatura e uma redução em outros, já o nitrogênio apresentou também esse comportamento não linear, onde inicialmente apresentou uma diminuição no intervalo entre 400°C e 500°C, e um aumento no intervalo entre 500°C e 600°C. Esses resultados indicam que a temperatura de pirólise influencia de forma diferentes os elementos químicos constituintes do biochar.

REFERÊNCIAS

- Ambaye, T. G., Djellabi, R., Vaccari, M., Prasad, S., Aminabhavi, T. M., & Rtimi, S. (2023). Emerging technologies and sustainable strategies for municipal solid waste valorization: Challenges of circular economy implementation. *Journal of Cleaner Production*, 423, Article 138708.
- ANGIN, D. Effect of pyrolysis temperature and heating rate on biochar obtained from pyrolysis of safflower seed press cake. *Bioresource Technology*, v. 128, p. 593-597, 2013.
- Bezuszko, A.; Landrat, M.; Pikoń, K.; Ferreira, A.F.; Rodrigues, A.; Olejarz, G.; Lewandowski, M. Slow Pyrolysis as a Method of Treating Household Biowaste for Biochar Production. *Appl. Sci.* 2025, 15, 7858. <https://doi.org/10.3390/app15147858>
- He, R.; Sandoval-reyes, M.; Scott, I.; Semeano, R.; Ferrão, P.; Matthews, S.; Small, M. J. Global knowledge base for municipal solid waste management: framework development and application in waste generation prediction. *Journal of Cleaner Production*, v. 377, p. 134501, 2022.
- Leng, L.; Huang, H. An overview of the effect of pyrolysis process parameters on biochar stability. *Bioresource Technology*, v. 270, p. 627-642, 2018.
- Premchand, P.; Demichelis, F.; Chiamonti, D.; Bensaid, S.; Fino, D. Study on the effects of carbon dioxide atmosphere on the production of biochar derived from slow pyrolysis of organic agro-urban waste. *Waste Management*, v. 172, p. 308–319, 2023.
- Suárez-hernández, Laura; ardila-a, Alba N.; Barrera-zapata, Rolando. Caracterização morfológica e físico-química de biocarvões produzidos por gasificação de espécies florestais selecionadas. *Revista Facultad de Ingeniería, Tunja-Boyacá*, v. 26, n. 46, p. 123–130, set./dez. 2017.
- Unsomsri, N.; Wiriyaart, S.; Tawkaew, S.; Kaewluan, S. Effect of pyrolysis temperature on crude palm oil from fresh fruit bunch in a twin inclined screw reactor. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 2025, article 107250, 2025.
- Waqas, Muhammad; Aburizaiza, Asad; Miandad, Rashid; Rehan, Mohammad; Barakat, M. A.; Nizami, A. S. *Development of biochar as fuel and catalyst in energy recovery technologies. Journal of Cleaner Production*, v. 188, p. 477–488, abr. 2018.
- Zhang, X.; Zhang, P.; Yuan, X.; Li, Y.; Han, L. Effect of pyrolysis temperature and correlation analysis on the yield and physicochemical properties of crop residue biochar. *Bioresource Technology*, v. 296, artigo 122318, 2020.