



INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DA LAVAGEM NAS CARACTERÍSTICAS DE BIOCÁRVÕES DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR E DE LARANJA

Maria Júlia Bonfim Santana (*), Lucas Lopes Fialho, Giovana Poggere, Vanderlei Leopold Magalhães

* Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus Medianeira, mariajuliabonfimsantana@hotmail.com.

RESUMO

O biocárvão pode ser definido como um material sólido, obtido a partir da conversão termoquímica de diferentes biomassas em um ambiente com oxigênio limitado. Sua utilização depende das características físico-químicas desejadas, estas variam conforme os resíduos e a temperatura escolhida. As indústrias sucroalcooleira e de processamento da laranja, geram uma quantidade de bagaço significativo, de forma que o processo da produção de biocárvão pode ser considerado uma alternativa para a reaproveitamento dos resíduos da agroindústria. Nesse sentido, os resíduos de bagaço de cana-de-açúcar e laranja, foram submetidos ao processo de pirólise em forno do tipo mufla, sob temperatura de 300 °C e 500 °C. Posteriormente uma parte desse biocárvões passou por processo de lavagem. Os biocárvões lavados e não lavados foram caracterizados quanto a série de sólidos, pH e condutividade elétrica. Os resultados mostraram variação nas características dos biocárvões em relação a temperatura e o tipo de resíduo, quando a lavagem esta influenciou nos resultados da condutividade elétrica. Mas no geral, todos eles apresentam pH alcalino, com altos teores de carbono fixo, cinzas e condutividade elétrica, mostrando que estes possuem propriedades de interesse para aplicações agrícolas.

PALAVRAS-CHAVE: *Biochar*; Pirólise; Resíduos Agroindustrial; Condicionador de Solo.

ABSTRACT

Biochar can be defined as a solid material, obtained from the thermochemical conversion of different biomasses under conditions of limited oxygen. The use of biochar depends on the desired physical-chemical characteristics, but these vary according to the waste and the chosen temperature. The processing of sugarcane and orange generates a large amount of bagasse, so that the biochar production process can be considered an alternative for the reuse of agricultural waste. In this sense, the biochars residues of sugarcane and orange bagasse were subjected to the pyrolysis process in a muffle furnace, at a temperature of 300 °C and 500 °C. Subsequently, part of this biochars went through the washing process. The washed and unwashed biochars were characterized as to the series of solids, pH and electrical conductivity. The results showed variation in the characteristics of the biochars in relation to the temperature and the type of waste, when washing this influenced the results of the electrical conductivity. In general, all biocarbons have alkaline pH, with high levels of fixed carbon, ash and electrical conductivity, showing that they have properties of interest for agricultural applications.

KEY WORDS: *Biochar*; Pyrolysis; Agroindustrial Waste; Soil Conditioner.

INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas ambientais enfrentados atualmente, está relacionado com o alto volume produzido diariamente de resíduos sólidos e rejeitos em todos os setores, nos quais estes devem ter uma destinação ambientalmente adequada, a fim de evitar a poluição ambiental, que podem gerar graves problemas relacionados a qualidade de vida da população (FEITOSA, et al., 2020). Nesse sentido, é de suma importância que os resíduos sólidos tenham uma disposição adequada, a fim de evitar contaminação do solo e dos recursos hídricos (BRASIL, 2010).

Sendo assim, o processo de carbonização de resíduos tem surgido como uma inovação, um tratamento alternativo, de forma que diminui a quantidade de resíduos que são encaminhados aos aterros sanitários ou em alguns casos tenha um destino final que não seja o adequado (FEITOSA, et al., 2020). Esse processo consiste em realizar uma queima controlada desses resíduos sob o processo de pirólise em baixas temperaturas e concentrações de oxigênio, o material produzido após esse processo é denominado biocárvão (ANDRADE, et al., 2015; ROZ, et al., 2015).

O biocárvão, pode ser definido como um subproduto resultante da combustão incompleta de resíduos orgânicos em oxigênio limitado, que apresenta estrutura aromática condensada resistente a decomposição, porosa e com inúmeros grupos funcionais (FIGUEREDO, et al., 2017). Os resíduos que podem ser utilizados para a produção do biocárvão tem uma grande variabilidade, uma vez que se escolhe os resíduos com base nas características que o biocárvão necessita, para posteriormente ter uma aplicação eficiente, seja como condicionador de solo, remediador ou até tratamento de água (FERREIRA, et al., 2019).



Os bagaços de cana-de-açúcar e laranja são considerados resíduos frequentes na agroindústria no Brasil, uma vez que a produção de cana-de-açúcar é de cerca de 72.231 kg/ha (CONAB, 2019) e a laranja, a última safra foi de 17 mil toneladas (IBGE, 2019). Dessa forma, a utilização dos resíduos provenientes da agroindústria vem como uma alternativa para diminuição do volume descartado e uma alternativa de produção de coproduto que pode ser incorporado no ciclo produtivo, através da sua aplicação como condicionante de solo e componente de substrato, tendo como uma alternativa para redução de gastos com fertilizantes e geração de lucro (FEITOSA, et al., 2020).

OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo verificar a influência da temperatura de pirólise e da lavagem nas características de biocarvões provenientes de resíduos da agroindústria e identificar seu potencial para aplicação no solo.

METODOLOGIA

Os biocarvões foram produzidos no laboratório de Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Medianeira, no qual utilizou-se como matéria prima bagaço de cana-de-açúcar e laranja. Ambos resíduos foram secos em estufa, para que a umidade fosse retirada, por 24 horas a 60 °C. Em seguida foram aquecidos em forno tipo mufla, em cilindros fechados que limitam o fluxo de O₂ e permitem a saída dos gases gerados na pirólise. A rampa de aquecimento foi de 35 minutos para a temperatura de 300 °C ± 10 °C e 28 minutos para a temperatura de 500 °C ± 10 °C, a qual foi mantida por uma hora.

Após o resfriamento uma parte do biocarvão foi moído com o auxílio de almofariz, peneirados e armazenados em local seco. A outra parte do biocarvão foi lavada, sendo que para cada 10 gramas de biocarvão adicionou-se 300 ml de água deionizada. A mistura foi agitada manualmente com auxílio de um bastão de vidro e posteriormente peneirada para reter o material lavado. O processo de lavagem foi repetido por 5 vezes com o intuito de eliminar cinzas proveniente do processo de pirólise. Após a lavagem, os biocarvões foram secos em estufa, a 60 °C. E em seguida, repetiu-se o processo de moagem e peneiramento.

A caracterização dos biocarvões lavados e não lavado foi realizada a partir de análises do teor de umidade, material volátil, teor de cinza, carbono fixo, rendimento, pH e condutividade elétrica (IBI, 2015).

A determinação do teor de umidade ocorreu por meio de pesagens dos cadinhos calcinados, com cerca de 0,5 gramas amostras de biocarvão. Em seguida, essas amostras foram secadas na estufa com circulação forçada de ar com temperatura de 105 ± 2 °C até atingir peso constante, e conseqüente foram colocadas em uma dessecadora e novamente pesados para a obtenção da massa seca (IBI, 2015).

Para a análise do material volátil, as amostras secas no processo anterior foram submetidas a uma temperatura de 950 ± 2°C em um forno tipo mufla por um período de 6 minutos, após esse processo os cadinhos foram colocados em um dessecador e em seguida essas amostras foram pesadas para obtenção da massa. Posteriormente as amostras passaram novamente no forno mufla a uma temperatura de 750 ± 2 °C por 6 horas, sendo colocadas no dessecador, em seguida pesados para obtenção da massa de cinza (IBI, 2015).

Para o cálculo do teor de carbono fixo (CE) (Equação 1), utilizou-se os parâmetros calculados anteriormente (IBI, 2015). Na qual, U, MV e TC representam os percentuais de umidade, material volátil e teores de cinza.

$$CF (\%) = 100 - (U + MV + TC) \quad \text{equação (1)}$$

Para a determinação do pH e condutividade elétrica (CE), foram pesados 1,0 grama de biocarvão em triplicata, em seguida adicionado 20 ml de água destilada, sendo agitados por 5 minutos, e deixados em repouso por 60 minutos. Seguidamente, realizou-se a leitura do potencial hidrogeniônico (pH) e da condutividade elétrica, através de pHmetro e condutivímetro.

Para a análise de rendimento, pesou-se cerca de 3 gramas de matéria-prima (bagaço de cana-de-açúcar e laranja) em triplicata, que foram submetidas a pirólise conforme a rampa de aquecimento apresentado anteriormente, em seguida pesou-se a quantidade de biocarvão produzido, e assim obtendo o rendimento gravimétrico.



Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) para testar a homogeneidade e posteriormente submetidos ao teste Tukey para comparação de médias, a 5% de probabilidade, com auxílio do programa SISVAR (FERREIRA, 2009).

RESULTADOS

Dentre os parâmetros analisados, os resultados observados para o material volátil não mostraram uma tendência clara quanto a influência da lavagem. Os biocarvões que apresentaram maiores teores de material volátil, superior a 50%, foram biocarvão de bagaço de laranja a 300 °C independente do pós-tratamento e o biocarvão de bagaço de cana-de-açúcar a 300 °C com lavagem (Tabela 1).

O material volátil tende a ser liberado em temperaturas mais elevadas (PAULINO, et al., 2019) e apresenta relação com a facilidade de queima do material, resultando em biocarvões com menor teor de carbono fixo. Assim, quanto maior a temperatura definida para o processo de pirólise, maior a liberação de materiais voláteis.

Tabela 1 - Porcentagem de material volátil, carbono fixo e cinza de biocarvões conforme cada tratamento aplicado. Fonte: Autores do Trabalho.

TRATAMENTO*	MATERIAL VOLATIL (%)	CARBONO FIXO (%)	CINZA (%)
C300	40.5 ab	54.1 ab	3.6 e
C500	39.8 ab	53.4 ab	4.9 de
L300	53.6 a	38.3 b	6.4 cd
L500	32.1 ab	57.7 ab	8.4 ab
CL300	50.8 a	43.5 ab	3.6 e
CL500	32.9 ab	61.4 a	4.2 e
LL300	54.8 a	35.9 b	7.2 bc
LL500	24.5 b	64.1 a	9.3 a

*A letra inicial da sigla representa o material utilizado para obtenção do biocarvão: C = bagaço de cana-de-açúcar, L = bagaço de laranja; a segunda letra, quando presente, indica que o material foi lavado (L) e o número indica a temperatura de pirólise: 300 = 300 °C, 500 = 500 °C. Exemplo: C300 indica biocarvão de bagaço de cana-de-açúcar pirolísado a 300 °C e LL500 indica biocarvão de bagaço de laranja lavado e pirolísado a 500 °C.

No geral, o teor de carbono fixo atingiu valores altos em todas as amostras, tendo como destaque a amostra de biocarvão produzido a partir do bagaço de cana-de-açúcar e laranja, ambos produzidos a 500 °C com lavagem, cujos teores foram superiores a 60%. Observa-se que os valores de carbono fixo em biocarvões são diretamente relacionados à temperatura de pirólise, tal como verificado no trabalho de Roz et al. (2015), ou seja, quanto maior a temperatura utilizada, maiores são os teores de carbono fixo. A resposta positiva do carbono fixo em relação à temperatura ocorre porque com o aumento da temperatura ocorre a perda de água higroscópica e compostos como CO e CO₂ que são volatilizados durante o processo de pirólise (YANG et al., 2007).

Sobre os teores de cinza, a variação foi de 3,6 a 9,3 % (Tabela 1). Na maioria dos casos houve aumento do teor de cinza com o aumento da temperatura para ambos os resíduos, e a lavagem não apresentou efeito na diminuição deste parâmetro. As cinzas estão relacionadas com o conteúdo de óxidos, sobretudo os de Ca, Mg e K, que apresentam a capacidade de neutralizar o pH (WOICIECHOWSKI et al., 2018), além de sais solúveis presentes no material. Entretanto, o pH observado nos diferentes biocarvões apresentou pouca variação (9,1 – 10,0) (Tabela 2), não refletindo o teor de cinza, uma vez que em amostras com menores teores de cinza, esperava-se menor valor de pH.

A condutividade elétrica aumentou em todos os casos com o aumento da temperatura e diminuiu após a lavagem dos biocarvões (Tabela 2). Isso pode estar relacionado com a composição das cinzas, formadas em grande parte por sais solúveis (FEITOSA, et al., 2020), que geram condução de corrente elétrica.

Tabela 2 - pH e condutividade elétrica dos biocarvões conforme cada tratamento aplicado. Fonte: Autores do Trabalho.

TRATAMENTO*	pH	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (uS cm ⁻¹)
C 300	9.1 f	610 b
C 500	9.9 c	1.201 e
L 300	9.7 d	929 d
L 500	9.5 e	2.280 g
CL 300	9.1 f	412 a



CL 500	10.2 a	662 bc
LL 300	9.9 c	741 c
LL 500	10.0 b	1.954 f

*A letra inicial da sigla representa o material utilizado para obtenção do biocarvão: C = bagaço de cana-de-açúcar, L = bagaço de laranja; a segunda letra, quando presente, indica que o material foi lavado (L) e o número indica a temperatura de pirólise: 300 = 300 °C, 500 = 500 °C. Exemplo: C300 indica biocarvão de bagaço de cana-de-açúcar pirolizado a 300 °C e LL500 indica biocarvão de bagaço de laranja lavado e pirolizado a 500 °C.

Quanto ao rendimento gravimétrico (Tabela 3), os biocarvões que foram submetidos a uma rampa de aquecimento de 300 °C apresentam um rendimento superior a 40%, enquanto nos biocarvões produzidos a 500 °C o rendimento foi de 23 e 29%. Isso se deve ao fato do tipo de material e, sobretudo, da temperatura uma vez que há perda de substâncias químicas de maneira gradativa quando o material é submetido ao aquecimento. Róz et al. (2015) também observaram menores rendimentos quando os materiais utilizados para a obtenção dos biocarvões foram submetidos a temperaturas mais elevadas, conformando que a perda de material volátil tende a ser maior quanto maior for a temperatura (PAULINO, et al., 2019).

Tabela 3 - Rendimento dos biocarvões conforme rampa de aquecimento. Fonte: Autores do Trabalho.

TRATAMENTO*	RENDIMENTO (%)
C 300	40.8 a
C 500	23.0 b
L 300	44.1 a
L 500	29.1 b

*A letra inicial da sigla representa o material utilizado para obtenção do biocarvão: C = bagaço de cana-de-açúcar, L = bagaço de laranja e o número indica a temperatura de pirólise: 300 = 300 °C, 500 = 500 °C. Exemplo: C300 indica biocarvão de bagaço de cana-de-açúcar pirolizado a 300 °C.

CONCLUSÕES

As análises para a caracterização dos biocarvões apontam que estes materiais sofrem variações em algumas das propriedades em função da biomassa utilizada e da temperatura de pirólise. Neste experimento, o aumento de temperatura de pirólise diminuiu o rendimento dos biocarvões, aumentou o teor de carbono fixo, de cinza e da condutividade elétrica, enquanto a lavagem influenciou apenas na diminuição da condutividade elétrica.

No geral, os biocarvões de bagaço de cana-de-açúcar e de laranja apresentaram propriedades de interesse para aplicações agrícolas, uma vez que o pH alcalino pode ser um aliado para correção da acidez do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, C. A. de, Bibar, M. P. S., Coscione, A. R., Pires, A. M. M., Soares, Á. G. Mineralização e efeitos de biocarvão de cama de frango sobre a capacidade de troca catiônica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 407-416, 2015.
- Brasil. Lei nº 12.305. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília – DF. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 21 de abril de 2021.
- CONAB. Cana-de-açúcar: Acompanhamento da safra brasileira 2018/2019. **Companhia Nacional de Abastecimento**, v. 5, n. 4, p. 75, 2019.
- Feitosa, A. A., Teixeira, W. G.; Ritter, E., Rezende, F. A. de; Kern, J. Caracterização química de amostras de biocarvão de casca de banana e bagaço de laranja carbonizados a 400 e 600 °C. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 4, 2020.
- Ferreira, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.
- Ferreira, S. D., Manera, C., Silvestre, W. P., Pauletti, G. F., Altafini, C. R., & Godinho, M. Use of biochar produced from elephant grass by pyrolysis in a screw reactor as a soil amendment. **Waste and Biomass Valorization**, v. 10, n. 10, p. 3089-3100, 2019.
- Figueredo, N. A., Costa, L. M. D., Melo, L. C. A., Siebeneichler, E. A., Tronto, J. Characterization of biochars from different sources and evaluation of release of nutrients and contaminants. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 3, p. 3-403, 2017.



8. IBGE. **Tabela 1613: Área destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras permanentes.** Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613#resultado>>. Acesso em: 21 de abril de 2021.
9. IBI, I. B. I. Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar That Is Used in Soil. **International Biochar Initiative**. p. 23, 2015.
10. Paulino, E. K., Pinto, M. A., Macena, D. Â.; Lima, A. C., Santana, E. M. de L., Souza, J. G. de; Alves, M. R. Biocarvão do biossólido da estação de tratamento de esgoto de Presidente Prudente - SP. In: **Colloquium Exactarum**. ISSN: 2178-8332. 2019. p. 46-61.
11. Róz, A. L. da, Ricardo, J. F. C., Nakashima, G. T.; Santos, L. R. O., Yamaji, F. M. Maximização do teor de carbono fixo em biocarvão aplicado ao sequestro de carbono. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 8, p. 810-814, 2015.
12. Woiciechowski, T., Lombardi, K. C., Garcia, F. A. de O., Gomes, G. S. Nutrientes e umidade do solo após a incorporação de biocarvão em um plantio de *Eucalyptus benthamii*. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 4, p. 1455-1464, 2018.
13. Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H., Zheng, C. Characteristics of hemicelulose, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**, v.86, p.1781-1788, 2007.