



## Interações do biocarvão e *Bacillus* na fisiologia e crescimento da cana-de-açúcar

Átula M. Rodrigues<sup>1,2</sup> (G), Clara M. Asahide<sup>2</sup> (G), Mariana V. S. Alves<sup>2</sup> (G), Pablo A. Freitas e Silva<sup>1</sup> (PG), Adriana B. Alves<sup>2</sup> (PQ), Eduardo S. Martins<sup>1,2</sup> (PQ), Alan R. T. Machado<sup>1,3</sup> (PQ) e Osania E. Ferreira<sup>1,2\*</sup> (PQ)

<sup>1</sup> Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Estado de Minas Gerais, Frutal, Minas Gerais, 38202-436, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, Universidade do Estado de Minas Gerais, Frutal, Minas Gerais, 38202-436, Brasil.

<sup>3</sup> Departamento de Ciências Exatas, Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade, Minas Gerais, 35930-314, Brasil.

\*E-mail: [osania.ferreira@uemg.br](mailto:osania.ferreira@uemg.br)

### RESUMO

O uso de biocarvão combinado a microrganismos promotores de crescimento é uma alternativa sustentável para melhorar a saúde do solo e o desempenho de culturas. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito do biocarvão de bagaço de cana-de-açúcar, com e sem inoculação por *Bacillus subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *B. megaterium*, sobre mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. O biocarvão apresentou carbono fixo de 68,2%, relação H/C de 0,38 e ausência de contaminantes, atendendo ao guia EBC. Foram testadas doses de 1, 5 e 12 t/ha. Aos 30 dias, avaliaram-se teor relativo de clorofila, fluorescência (Fv/Fm, Fv/Fo) e altura. Embora os parâmetros fisiológicos não tenham diferido significativamente ( $p > 0,05$ ), a altura foi 22,5% maior na dose de 5 t/ha com a inoculação. Conclui-se que a combinação de biocarvão com bactérias promotoras de crescimento impulsiona o desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar, contribuindo para sistemas agrícolas mais eficientes e resilientes.

**Palavras-chave:** biochar, *Bacillus subtilis*, *B. amyloliquefaciens*; *B. megaterium*.

### Introdução

A crescente necessidade de adoção de práticas agrícolas sustentáveis impõe desafios à produção de culturas intensivas, como a cana-de-açúcar, exigindo novas estratégias de manejo que conciliem produtividade e menor impacto ambiental. O uso do biocarvão, material carbonáceo obtido por pirólise, tem ganhado destaque como condicionador de solo, devido à sua capacidade de melhorar, de forma simultânea, as propriedades físicas, químicas e biológicas capazes de modificar o ambiente edáfico, favorecendo a retenção de água, além do sequestro de carbono (1).

Além de suas propriedades intrínsecas, o biocarvão pode atuar como suporte criando microambientes para microrganismos, podendo favorecer bactérias promotoras de crescimento vegetal, potencializando seus efeitos no solo e no desenvolvimento das plantas (2). *Bacillus subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *B. megaterium* são espécies utilizadas em sistemas agrícolas por sua capacidade de solubilizar nutrientes, produzir fitohormônios e induzir resistência sistêmica, sendo eficazes na mitigação de estresses abióticos (3). Por outro lado, as interações entre o biocarvão e esses microrganismos ainda são pouco compreendidas em contextos específicos de cultivo, como na cultura da cana-de-açúcar.

Outro ponto importante é o uso do biocarvão produzido a partir do bagaço de cana-de-açúcar, que se destaca como uma

alternativa promissora tanto para o aproveitamento de resíduos quanto para a melhoria da fertilidade do solo. Estudos prévios indicam que doses elevadas de biocarvão podem apresentar efeitos negativos no crescimento inicial das plantas, possivelmente devido à imobilização de nutrientes ou à liberação de compostos fitotóxicos, (4). Assim, a inoculação microbiana pode representar uma alternativa para mitigar esses efeitos, promovendo alterações diretas na resposta fisiológica das plantas. Compreender essa interação é fundamental, uma vez que ainda carece de investigação mais aprofundada.

Diante do exposto, este trabalho avaliou o efeito da aplicação de biocarvão de bagaço de cana-de-açúcar, com e sem bioativação por cepas de *Bacillus* spp., sobre parâmetros fisiológicos e de crescimento de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar aos 30 dias após o plantio.



## Experimental

O biocarvão foi produzido em reator horizontal contínuo e caracterizado para verificação dos parâmetros de qualidade do guia EBC (5), por meio de análises elementar (CHNS-O), de contaminantes metálicos e compostos orgânicos tóxicos, além de pH, condutividade elétrica, teor de cinzas, carbono fixo e outras análises complementares. O experimento com cana-de-açúcar foi conduzido em casa de vegetação ( $35 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $50 \pm 2\%$  UR), com vasos de 25 L contendo solo e biocarvão nas doses de 0, 1, 5 e 12 t/ha, com e sem inoculação de *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *B. megaterium* ( $10^9$  UFC/g). Foram utilizadas mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar (RB 07.5322), com adubação NPK 4-14-8 no transplântio. O delineamento foi inteiramente casualizado, com cinco repetições e avaliação aos 30 dias após o plantio. Avaliaram-se teor de clorofila (MC-100) e fluorescência da clorofila (Fv/Fm) com fluorômetro (OS-30p+).

## Resultados e Discussão

O biocarvão do bagaço de cana-de-açúcar apresentou elevado teor de carbono fixo, baixas razões H/C e O/C e ausência de contaminantes (Tabela 1). Esses resultados indicam que o material atende aos critérios do guia EBC (5), tanto para uso agrícola (EBC-Agro e EBC-AgroOrganic) quanto para aplicações mais restritivas voltadas à alimentação animal, como EBC-Feed e EBC-FeedPlus.

Tabela 1. Caracterização físico-química, elementar e nutricional do biocarvão de palha de cana-de-açúcar

| Propriedades Físicas, Químicas e Elementares |                    |       | Macronutrientes e Micronutrientes |         |       |
|----------------------------------------------|--------------------|-------|-----------------------------------|---------|-------|
| Parâmetro                                    | Unidade            | Valor |                                   | Unidade | Valor |
| Densidade aparente (<3 mm)                   | kg m <sup>-3</sup> | 120,4 | P total                           | g/t     | 54,2  |
| Umidade                                      | % m/m              | 6,5   | Fe                                | g/kg    | 3,603 |
| Matérias voláteis                            | % m/m              | 21,2  | P                                 | g/kg    | 2,153 |
| Cinzas                                       | % m/m              | 10,5  | Mg                                | g/kg    | 0,421 |
| Carbono fixo                                 | % m/m              | 68,2  | Ca                                | g/kg    | 1,724 |
| pH (CaCl <sub>2</sub> )                      | -                  | 7,2   | Bo                                | g/t     | 118,8 |
| Condutividade elétrica (C.E.)                | mS/cm              | 337,9 | Zn                                | g/t     | 36,8  |
| Teor de sal (KCl)                            | mg L <sup>-1</sup> | 17,8  | Cu                                | g/t     | 5,1   |
| Carbono (C)                                  | % m/m              | 70,8  |                                   |         |       |
| Hidrogênio (H)                               | % m/m              | 2,2   |                                   |         |       |
| Oxigênio (O)                                 | % m/m              | 16,3  |                                   |         |       |
| Nitrogênio (N)                               | % m/m              | ND*   |                                   |         |       |
| H/C                                          | -                  | 0,38  |                                   |         |       |
| O/C                                          | -                  | 0,17  |                                   |         |       |

\*Não detectado.

O biocarvão apresentou pH neutro, moderada condutividade elétrica e teores de macro e micronutrientes favoráveis para uso agrícola. O teor de nitrogênio abaixo do limite de quantificação, torna sua aplicação interessante em associação com bactérias fixadoras de nitrogênio, como os *Bacillus* spp. utilizados neste trabalho. Aasfar et al. (6), relataram que a baixa disponibilidade de nitrogênio estimulou a fixação biológica de N e favoreceu a absorção de fósforo por bactérias diazotróficas (6). Além disso, a presença de nutrientes e propriedades físicas como estrutura porosa e área superficial específica elevada favorecem a colonização microbiana e podem influenciar positivamente no desenvolvimento vegetal.

Os parâmetros fisiológicos (Fv/Fm, Fv/Fo e teor de clorofila) não apresentaram diferenças estatísticas significativas ( $p>0,05$ ) entre os tratamentos, mas altura das plantas indicou um efeito positivo da inoculação com *Bacillus* spp. Aos 30 dias após o plantio, o uso de biocarvão com *Bacillus* spp. promoveu crescimento mais uniforme e superior em relação ao biocarvão sem inoculação. Na dose de 5 t/ha, a altura das plantas aumentou de 1,11 m para 1,36 m com a inoculação, correspondendo a um incremento de 22,5%. Antunes et al. (7) observaram que a inoculação de bactérias *Herbaspirillum seropedicae*, *Pseudomonas* sp. e *Bacillus megaterium* na cultura da cana-de-açúcar resultou em incremento na produtividade, com aumento de 18% em relação ao controle. Esse resultado sugere que a combinação biocarvão–*Bacillus* é uma estratégia promissora para otimizar os efeitos agrônômicos do biocarvão, atenuando possíveis restrições associadas a doses elevadas.

## Conclusões

Os resultados indicam que a combinação entre biocarvão de bagaço de cana-de-açúcar e *Bacillus* spp. é uma estratégia promissora para potencializar o crescimento inicial da cana-de-açúcar e contribuir para sistemas agrícolas mais sustentáveis e eficientes.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG e à UEMG (PQ/UEMG) pelo apoio financeiro e bolsas concedidas.

## Referências

1. J. Lehmann, J.; S. Joseph. (Eds.). *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*. 2. ed. Routledge, 2015.
2. S. Jeffery; F.G.A. Verheijen; M. van der Velde; A.C. Bastos, Agric. Ecosyst. Environ. 2011, 144, 175–187.
3. J.Y. Wang; Z. Xiong; Y. Kuzyakov, *GCB Bioenergy* **2016**, 8, 512–523.
4. B. Glaser; K. Wiedner; S. Seelig; H.-P. Schmidt; H. Gerber, *Agron. Sustain. Dev.* **2014**, 5, 667–678.
5. EBC – European Biochar Certificate, *Guidelines for a Sustainable Production of Biochar*, Carbon Standards International, Switzerland, 2022, Version 10.2E.
6. A. Aasfar; I.M. Kadmiri; S.E. Azaroual; S. Lemriss; N. El Mernissi; A. Bargaz; Y. Zeroual; A. Hilali, *Front. Plant Sci.* **2024**, 15, 1346266.
7. J.E.L. Antunes; A.D.S. De Freitas; L.M.S. Oliveira; M.D.C.P. De Lyra; M.A.C. Fonseca; C.E.R.S. Santos; J.P. Oliveira; A.S.F. De Araújo; M.V.B. Figueiredo. *Anais Acad. Bras. Ciênc.* **2019**, 91, e20180990.