

Avaliação do efeito do biochar de borra de café na promoção de crescimento vegetal

Em virtude das práticas agrícolas modernas, como a utilização massiva de insumos químicos, e do crescente nível de emissão de gases de efeito estufa, está cada vez mais latente a necessidade de encontrar tecnologias que ajudem na mitigação dos impactos causados ao ecossistema. Nesse contexto, destaca-se o uso do biochar, um material produzido pela pirólise de resíduos de biomassa. O biochar possui a capacidade de melhorar propriedades físicas e químicas do solo, além de contribuir para a retenção de carbono e aumento da biodiversidade microbiana. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a produção do biochar a partir de resíduos de borra de café utilizando diferentes temperaturas, testar a imobilização de microrganismos em sua superfície e investigar seu papel na promoção de crescimento da hortaliça *Eruca vesicaria* subsp. *Sativa* (rúcula). O biochar produzido teve suas propriedades físico-químicas avaliadas por meio de titulação ácido-base e análise de pH. Já a estrutura porosa do biochar, assim como a eficiência na formação do complexo biochar-microrganismo, foi avaliada por Microscopia Eletrônica de Varredura. As hortaliças cultivadas, na presença e ausência do biochar e do complexo biochar-microrganismo, foram avaliadas pela determinação do número de folhas, comprimento da parte aérea, massa da parte aérea fresca e massa da parte aérea seca. O biochar produzido apresentou uma estrutura porosa com resultados positivos para a imobilização de microrganismos. Quanto ao cultivo da hortaliça, a aplicação apenas do biochar no solo não resultou em diferenças significativas na qualidade das mudas de rúcula quando comparadas com o controle. No entanto, o uso do biochar de borra de café inoculado com a cianobactéria *A. platensis* se mostrou capaz de promover o desenvolvimento vegetal, tendo proporcionado os melhores resultados para todas as variáveis avaliadas. Os resultados encontrados sugerem o uso do biochar de borra de café como carreador de microrganismos e expõem o potencial da *A. platensis* na promoção de crescimento vegetal.

Palavras-chave: Biochar; Borra de café; *Eruca sativa*; *Arthrospira platensis*.

Evaluation of spent coffee grounds biochar and its effect in plant growth-promoting

Due to modern agriculture practices, such as the massive use of chemical inputs, and the growing level of greenhouse gas emissions, it is increasingly latent the need to find technologies that help to mitigate the impacts caused in the ecosystem. In this context, the use of biochar stands out, a material produced from the pyrolysis of biomass waste. Biochar has the ability to improve soil physical and chemical properties, besides contributing to carbon stock and increase of microbial biodiversity. Therefore, the present work aimed to evaluate the production of biochar from spent coffee grounds waste at different temperatures, test the immobilization of microorganisms on its surface and investigate its role in promoting the growth of the vegetable *Eruca vesicaria* subsp. *Sativa* (arugula). The produced biochar had its physicochemical properties characterized by acid-base titration and pH analysis. The porous structure of biochar, as well as the efficiency of the biochar-microorganism complex, was evaluated by Scanning Electron Microscopy. In the presence and absence of biochar and biochar-microorganism complex, the cultivated crops were evaluated by determining the number of leaves, the length of aerial parts, the weight of fresh aerial parts, and the weight of dry aerial parts. The produced biochar showed a porous structure with positive results for the immobilization of microorganisms. In terms of vegetable cultivation, the application of biochar on the soil did not produce significant differences in the quality of the seedlings when compared with the control. However, the use of spent coffee grounds biochar inoculated with *A. platensis* cyanobacterium promoted plant development, providing the best results for all variables. The found results suggest the use of spent coffee grounds biochar as a carrier of microorganisms and put in evidence the potential of *A. platensis* in plant growth promotion.

Keywords: Biochar; Spent coffee grounds; *Eruca sativa*; *Arthrospira platensis*.

Topic: Agroecologia

Received: 10/05/2023

Approved: 12/07/2023

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Caroline Cordeiro da Silva 
Universidade Federal de São Paulo, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3175660102365922>
<http://orcid.org/0000-0001-9016-3599>
carolinecordeiro.ds@gmail.com

Maraisa Gonçalves 
Universidade Federal de São Paulo, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8790738991069110>
<http://orcid.org/0000-0002-6172-3697>
goncalves.maraisa@unifesp.br

Elisa Esposito 
Universidade Federal de São Paulo, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0121461197043560>
<http://orcid.org/0000-0002-2470-7081>
eesposito@unifesp.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2023.003.0001

Referencing this:

SILVA, C. C.; GONÇALVES, M.; ESPOSITO, E.. Avaliação do efeito do biochar de borra de café na promoção de crescimento vegetal. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.14, n.3, p.1-15, 2023. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2023.003.0001>

INTRODUÇÃO

Na segunda metade do século XX, a difusão mundial de um modelo de agricultura moderno e intensivo, em um processo denominado Revolução Verde, tornou comum o uso de agrotóxicos e fertilizantes químicos nas atividades agrícolas (SPADOTTO et al., 2004). O emprego desses insumos contribuiu para o aumento na produção de alimentos, porém às custas de grandes impactos ambientais. Devido à suas composições, fertilizantes inorgânicos e agrotóxicos estão relacionados com a alteração de propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, sendo responsáveis pela sua compactação, redução da carga microbiana e perda de fertilidade e nutrientes (PAHALVI et al., 2021).

Em vista desta realidade e da vulnerabilidade dos ecossistemas é imprescindível o estudo de novas tecnologias de mitigação, como é o caso do uso do *biochar* na mistura do solo. A palavra *biochar* é um termo em inglês para se referir ao produto sólido, de estrutura porosa e rico em carbono obtido através da pirólise. Devido à sua composição e características, o *biochar* pode levar à melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, aumentando a retenção de água e nutrientes e diminuindo a biodisponibilidade de metais pesados (JIANG et al., 2020). O *biochar* também chama a atenção do mercado devido ao seu alto potencial de retenção de carbono orgânico no solo. Desta forma, o uso do *biochar* trata-se de uma tecnologia simples e que a curto prazo poderá contribuir para a redução da quantidade de gases de efeito estufa na atmosfera e para a difusão da agricultura sustentável (JIANG et al., 2020; LEHMANN, 2007).

Uma ampla gama de resíduos orgânicos pode ser utilizada como matéria-prima para a produção do *biochar*, incluindo resíduos de colheitas, madeira e esterco (CAO et al., 2010; LUO et al., 2015). No presente estudo, um resíduo gerado em abundância no Brasil foi selecionado como matéria-prima para o processo de pirólise, a borra de café.

Quando aplicado no solo o *biochar* também contribui para o desenvolvimento vegetal. Resultados positivos foram encontrados nos trabalhos de Lima et al. (2019) e Santos et al. (2020), analisando a aplicação de *biochar* em cultivos de rúcula, e na pesquisa de Carter et al. (2013), que relatou aumento da biomassa vegetal e do número de folhas quando utilizou solos tratados com *biochar*. No entanto, ainda não estão bem descritos na literatura os efeitos no crescimento vegetal do *biochar* produzido especificamente de borra de café. Apesar de haver estudos que relatam a produção de *biochar* a partir de resíduos de café, estes têm como foco apenas as consequências da aplicação do material no solo (KIGGUNDU et al., 2019; SILVA et al., 2021). Portanto, a fim de ajudar no preenchimento desta lacuna de pesquisa, o presente estudo investigou os efeitos da aplicação do *biochar* de borra de café no cultivo de mudas de rúcula (*Eruca vesicaria subsp. Sativa*).

O *biochar*, porém, não fornece apenas benefícios ao solo e às plantas, ele também pode atuar como um vantajoso material para imobilização de microrganismos. Sua morfologia porosa permite a adesão de bactérias desejáveis em sua superfície, o que leva a um aumento da biodiversidade e população microbiana no solo (THIES et al., 2009). Como consequência de uma microbiota maior e mais abundante, temos um solo mais saudável e propício para o desenvolvimento vegetal, o que influencia direta e indiretamente na

absorção de nutrientes das plantas e em suas proteções contra doenças e patógenos (REZENDE et al., 2021). Ademais, pode-se concluir que a microbiota do solo também ocupa uma posição de grande relevância para a saúde dos seres humanos, uma vez que o homem possui uma alimentação extremamente dependente do solo (HIRT, 2020). Sendo assim, o uso do *biochar* para fins agrícolas, além das outras vantagens já citadas, contribui para a produção de alimentos que serão benéficos à saúde humana.

Diante desse contexto, surge a necessidade de avaliar o *biochar* de borra de café quanto à imobilização de microrganismos em sua superfície e seus efeitos na promoção de crescimento vegetal, a fim de contribuir para tornar a produção agrícola ambientalmente mais sustentável. Sendo assim, esse trabalho teve como objetivo produzir e caracterizar o *biochar* a partir de borra de café em diferentes temperaturas, avaliar a imobilização da cianobactéria *Arthrospira platensis* e de um consórcio microbiano derivado de solo adubado por compostagem orgânica (MIRA et al., 2021) em sua superfície, e determinar os efeitos da aplicação do complexo *biochar*-microrganismo no cultivo da hortaliça *Eruca vesicaria subsp. sativa*.

METODOLOGIA

Produção do *biochar*

A produção do *biochar* se deu a partir da coleta de borra de café proveniente de uso doméstico, em São José dos Campos. A borra de café foi seca em estufa a 100 °C por 24 horas. A pirólise lenta foi realizada de acordo com Zhang et al. (2020) em forno industrial em diferentes temperaturas, 300, 400, 500, 600 e 800 °C, mantendo na temperatura pré-definida por 1 hora em atmosfera inerte sob um fluxo de 50 mL/min de nitrogênio e uma taxa de aquecimento em 10 °C/min. Após o processo de pirólise, o rendimento gravimétrico (RG) foi calculado utilizando a Equação 1, sendo " $m_{biochar}$ " a massa de *biochar* obtida e " m_{borra} " a massa inicial de borra de café.

$$RG (\%) = (m_{biochar}/m_{borra}) \times 100 \quad (1)$$

O *biochar* produzido foi nomeado como BC-Y, sendo BC = borra de café e Y = temperatura de pirólise: BC-300, BC-400, BC-500, BC-600 e BC-800.

Caracterização do *biochar*

O *biochar* produzido foi caracterizado utilizando a análise do potencial hidrogeniônico (pH) seguindo a metodologia proposta por Donagema et al. (2011). Após 24 horas em mesa agitadora (120 rpm), a solução foi filtrada e teve seu pH determinado em um pHmetro Metron. Também foi realizada a identificação dos grupos ácidos superficiais pelo método de titulação de Boehm, partindo do pressuposto que o hidróxido de sódio (NaOH) reage com grupos carboxílicos, lactônicos e fenólicos (BOEHM, 1994). Além disso, para avaliar a porosidade do material produzido empregou-se a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). As amostras foram cobertas com ouro em um Sputtering-Q150R e analisadas em microscópio Inspect S50 da marca FEI, operando a 20 KV de tensão com filamento de tungstênio com ampliações de 150 a 10000 vezes.

Imobilização de microrganismos em *biochar*

Para a utilização no trabalho, a cianobactéria *Arthrospira platensis* foi obtida da coleção *ex situ* do Banco de Microrganismos Aidar & Kutner do Instituto Oceanográfico da USP. O cultivo foi realizado em meio de cultura Zarrouk (ZARROUK, 1996) suplementado com chorume 20% (v/v) proveniente de compostagem orgânica para otimização de níveis proteicos e produção de biomassa (BROGIATO, 2021; CASTRO et al., 2015). A concentração de inóculo foi de 10% (v/v) e o cultivo foi mantido por 18 dias em frasco de vidro transparente sob iluminação e temperatura ambiente.

O consórcio microbiano (CM) utilizado no trabalho foi isolado de uma solução derivada de um processo de compostagem orgânica (MIRA et al., 2021) e teve sua microbiota identificada através do sequenciamento do gene 16S rRNA. O cultivo foi realizado em frasco de vidro transparente contendo Caldo Triptona de Soja (TSB) com inóculo de 1 mL para 300 mL de meio de cultura. Após inoculação, o cultivo foi mantido em estufa a 28 °C por 4 dias.

Para o preparo do complexo *biochar*-microrganismo, 20 mL do cultivo de *A. platensis* e 20 mL do cultivo do consórcio microbiano foram inoculados, separadamente, em 0,5 g de BC-300, BC-400, BC-500, BC-600 e BC-800. As misturas foram homogeneizadas por 1 minuto e secas em estufa a 37 °C por 3 dias. A viabilidade da imobilização foi validada observando as amostras por MEV utilizando o microscópio supracitado.

Ensaio com hortaliça

Previamente ao início do ensaio, foi determinada a temperatura de pirólise mais adequada para a obtenção do *biochar* a partir de borra de café. A escolha foi realizada dentre as amostras BC-300, BC-400, BC-500, BC-600 e BC-800. Determinada a temperatura de pirólise, o *biochar* e os microrganismos foram preparados de acordo com a metodologia citada anteriormente.

Para receber o solo, vasos plásticos com 9,5 cm de altura e 13 cm de diâmetro foram preparados com uma camada fina de pedras sob uma manta de drenagem. O solo utilizado no ensaio foi retirado de um canteiro da Obra Social Célio Lemos em São José dos Campos (solo em processo de recuperação) e, antes de ser adicionado aos vasos, teve partículas maiores como pedras e cascalhos retiradas com o auxílio de uma peneira de abertura de 4,00 mm, sendo o *biochar* misturado no solo em seguida. A análise química-biológica deste solo foi realizada pela RIBERSOLO, laboratório certificado pela Embrapa (Tabela 1), onde também constam dados da atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase, relacionadas com os ciclos do carbono e enxofre, respectivamente, e que atuam como bioindicadores da qualidade do solo (MENDES et al., 2020).

Tabela 1: Características químicas e biológicas do solo utilizado no experimento.

MO	K	Ca	Mg	H + Al	CTC	Beta Glicosidase	Arilsulfatase
g/dm ³	mmol _c /dm ³			μg-p-nitrofenol/g/h			
41	7,2	69	14	12	102	160	237

MO: matéria orgânica; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; H + Al: acidez potencial; CTC: capacidade de troca catiônica. Fonte: A partir de dados fornecidos pela Ribersolo (2022).

A adição do *biochar* ao solo foi feita usando a concentração de 3% (m/m). Ao todo doze vasos foram

preparados com porções de 400g de solo, sendo divididos nos seguintes grupos de triplicata: Controle negativo (CN), *Biochar* (BI), *Biochar* + Consórcio Microbiano (BCM) e *Biochar* + Cianobactéria (BC). Os vasos do grupo CN receberam apenas o solo sem adição de *biochar* e os do grupo BI foram preparados com a mistura de solo e adição de *biochar* sem inóculo de microrganismo. Já os vasos dos grupos BCM e BC foram preparados misturando o solo com o *biochar* inoculado com 20 mL da cultura do consórcio microbiano e da cultura da cianobactéria *A. platensis*, respectivamente.

Uma muda de rúcula (*Eruca vesicaria subsp. sativa*) foi plantada em cada um dos vasos em experimento com delineamento inteiramente casualizado, conduzido por 30 dias em condições ambientes de temperatura e luminosidade. A temperatura mínima em São José dos Campos durante o período do cultivo variou entre 5 °C e 17 °C e a máxima entre 13 °C e 29 °C.

Após o término dos 30 dias de cultivo, amostras do solo dos grupos CN, BI, BC e BCM passaram por uma análise granulométrica e tiveram seu pH mensurado após 24 horas em mesa agitadora (120 rpm). As rúculas foram coletadas e as seguintes características foram avaliadas para determinação do crescimento vegetal: número de folhas (NF), comprimento da parte aérea (CPA) em centímetros, massa da parte aérea seca (MPAS) em gramas e massa da parte aérea fresca (MPAF) em gramas.

Para a obtenção da massa da parte aérea fresca, as raízes foram cortadas e as plantas foram lavadas em água corrente, o excesso de água foi retirado com papel absorvente e procedeu-se a pesagem. Já para a obtenção da massa da parte aérea seca, as plantas foram mantidas em estufa a 65 °C graus por 72 horas e pesadas.

Os dados de crescimento vegetal obtidos foram analisados estatisticamente através do Software Rbio versão 166 (BHERING, 2017). O teste de Shapiro-Wilk e o teste de Bartlett foram aplicados para verificar a normalidade dos dados e a homocedasticidade das variâncias, respectivamente. Após as confirmações, foi aplicada a análise de variâncias (ANOVA) desbalanceada para delineamento inteiramente casualizado com uma parcela perdida no grupo BCM e uma no grupo BC, devido à mortalidade das plantas. A análise foi realizada a um nível de 5% de significância e para as variáveis em que foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$) foi realizado o Teste t.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção do *biochar*

Foi possível obter *biochar* a partir da pirólise de borra de café para todas as temperaturas avaliadas neste trabalho. Todos os produtos exibiram características semelhantes visualmente, como coloração escura e granulometria em torno de 0,105 mm. A Figura 1, mostra o percentual do rendimento gravimétrico (m/m) da pirólise nas diferentes temperaturas avaliadas. Observando o gráfico (Figura 1) temos que temperaturas menores de pirólise apresentam um maior rendimento para a produção de *biochar*. Em 300 °C o rendimento obtido foi de 39%, enquanto para as temperaturas de 400, 500, 600 e 800 °C o rendimento foi de 28, 25, 25 e 22%, respectivamente.

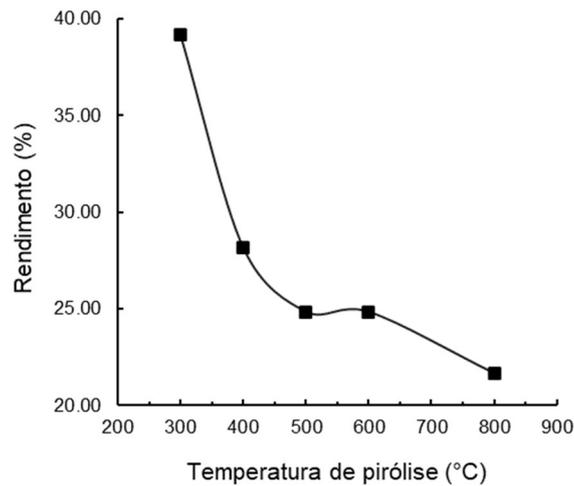


Figura 1: Rendimento da produção de *biochar* de borra de café em função da temperatura de pirólise.

Apesar do rendimento diminuir com o aumento da temperatura de pirólise, essa redução não acompanha proporcionalmente a elevação da temperatura do processo, visto que para a produção do *biochar* em 400 °C o rendimento foi 11% menor do que o produzido em 300 °C, porém 3% maior que o produzido em 500 °C. Esse comportamento é decorrente de uma maior degradação do material orgânico, neste caso a borra de café, em maiores temperaturas (WANG et al., 2019). Segundo Brownsort (2009), em temperaturas mais altas, uma maior quantidade de material volátil é eliminada, diminuindo o rendimento, mas elevando a quantidade de carbono. Amonette et al. (2009) descrevem que entre 120 °C e 300 °C ocorre a degradação da lignocelulose, com formação de radicais livres e liberação de água contida no material; já na faixa entre 300 °C e 600 °C há degradação de celulose e aumento significativo da perda de massa em razão da volatilização e degradação de compostos orgânicos; e acima de 600 °C, ocorre a remoção de elementos como nitrogênio, hidrogênio e oxigênio, resultando em um aumento na concentração de carbono do *biochar*.

Caracterização do *biochar*

Os resultados da análise de pH e da identificação de grupos ácidos superficiais pelo método de Boehm para cada *biochar* produzido estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2: Grupos ácidos totais e pH do *biochar* de borra de café produzido em diferentes temperaturas.

	BC-300	BC-400	BC-500	BC-600	BC-800
Grupos Ácidos Totais (mmol/g)	0,376 ± 0,03	0,292 ± 0,03	0,224 ± 0,03	0,189 ± 0,03	0,016 ± 0,21
pH	6,2 ± 0,01	10 ± 0,02	9,6 ± 0,01	9,5 ± 0,01	9,1 ± 0,18

Os valores correspondem à média de três repetições ± desvio padrão.

Os valores exibidos na Tabela 2 evidenciam que as amostras produzidas em menores temperaturas resultaram em maiores valores para grupos ácidos totais pelo método de Boehm. De acordo com Novak et al. (2009), além da temperatura de pirólise, a variável matéria-prima influencia substancialmente na quantidade de grupos ácidos presentes na superfície do *biochar*. Além disso, o autor relata que para diferentes biomassas a quantidade de grupamentos ácidos diminui com o aumento da temperatura, assim como foi verificado no presente trabalho. No entanto, em discordância com os valores observados na Tabela 2, Oliveira (2020) descreve que aplicando a borra de café como matéria-prima, obteve 3,50 mmol/g de grupos

ácidos totais para a temperatura de 300 °C e 3,35, 1,23 e 0,08 mmol/g para as temperaturas de 400, 500 e 600 °C, respectivamente.

Tal diferença na quantidade de grupamentos ácidos pode ser atribuída ao tratamento químico com ácido nítrico pelo qual o *biochar* foi submetido no trabalho do autor, diferentemente do presente estudo no qual o *biochar* não passou por nenhuma modificação pós-pirólise. No entanto, trabalhos com diferentes biomassas, como casca de amendoim e casca de arroz, também apresentaram maiores quantidades de grupos ácidos, sendo possível então relacionar a diferença entre os resultados encontrados ao processo de torrefação do café, o qual contribui para a carbonização de componentes e diminuição da acidez da biomassa (CLAOSTON et al., 2014; MELO, 2004; NOVAK et al., 2009; OLIVEIRA, 2020).

Com relação ao pH, as amostras exibiram um pH entre 6,2 e 10,0, tendo a maior parte das amostras um pH próximo de 9. Zhang et al. (2022) apresentou valores próximos de pH para o *biochar* produzido a partir de borra de café, relatando um pH de 8,9 para o material pirolisado a 600 °C e de 9,9 para o pirolisado a 900 °C. O pH básico é explicado pela degradação de grupos funcionais ácidos e aumento da concentração de cinzas e componentes básicos em altas temperaturas de pirólise (HU et al., 2020; KWAK et al., 2019), ademais, de acordo com Tan et al. (2015) a maioria dos *biochars* obtidos por pirólise lenta possuem um pH básico. Para a amostra BC-300, que apresentou um pH de 6,2, a diferença pode ser relacionada à maior quantidade de grupos ácidos totais (Tabela 2) encontrados nesta amostra quando comparado com as demais e à menor degradação de componentes da biomassa em razão da baixa temperatura de pirólise (KWAK et al., 2019; WANG et al., 2019).

A mensuração do pH é de extrema importância, uma vez que se trata de uma das variáveis ambientais que mais influência na atividade, abundância e diversidade de microrganismos no solo (THIES et al., 2009). Thies et al. (2009) descrevem que solos com pH neutro possuem uma diversidade e atividade bacteriana maior quando comparados com solos ácidos e básicos, pois condições extremas no meio atrapalham o funcionamento metabólico dos microrganismos através de desnaturação proteica e inibição enzimática. Portanto, é fundamental atentar-se ao pH do *biochar* a ser empregado no solo para ele possa atuar como habitat para microrganismos e assim ajudar no tratamento de solos degradados.

As micrografias das amostras de *biochar* produzido a partir de borra de café em diferentes temperaturas de pirólise são apresentadas na Figura 2.

De modo geral, todas as amostras apresentaram uma estrutura microscópica com formação de poros, com destaque para a BC-500 (Figura 2.c) que apresentou poros visualmente mais bem definidos e regulares. A apresentação estrutural de todas as amostras está intimamente relacionada à escolha da matéria prima e temperatura de pirólise. Downie et al. (2009) descrevem que a composição química da biomassa tem impacto direto nas propriedades físicas do *biochar* produzido, pois a concentração de determinados componentes pode influenciar na reatividade da matéria e, portanto, no seu grau de modificação durante o processamento. Além disso, sabe-se que embora as condições de preparo exerçam influência, a natureza da matéria-prima escolhida é o principal determinante para as características físicas do produto, estando desta forma correlacionada ao desempenho do *biochar* (WILDMAN et al., 1991).

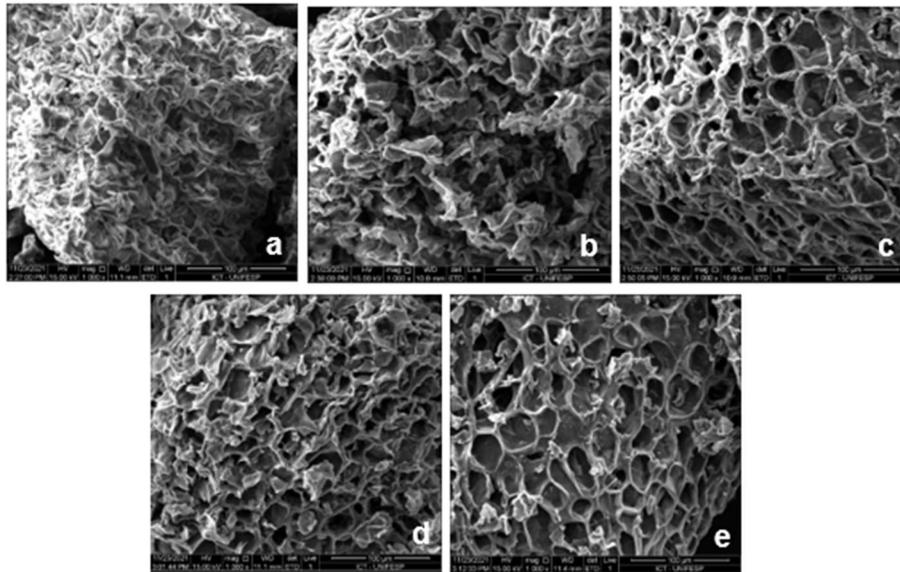


Figura 2: Estrutura porosa do *biochar* de borra de café pirolizado em 300 (a), 400 (b), 500 (c), 600 (d) e 800 °C (e).

A correlação mencionada se dá devido à porosidade desenvolvida durante a pirólise ou mesmo à porosidade do precursor mantida. Essa porosidade contribui para a capacidade adsorptiva do produto, tendo os macroporos (> 50 nm) um papel importante em processo difusional para que ocorra a passagem de moléculas em direção aos microporos (< 2 nm) e mesoporos (2 nm < 50 nm) (BREWER et al., 2014; DOWNIE et al., 2009). Os microporos são os principais responsáveis pela área superficial específica do *biochar* e pela adsorção de moléculas pequenas como gases e solventes, sendo mais bem desenvolvidos em altas temperaturas e longos tempos de pirólise. Já os mesoporos estão envolvidos na adsorção de moléculas grandes e líquidos (DOWNIE et al., 2009; WILDMAN et al., 1991).

Sendo assim, é essencial se atentar às características de estrutura e porosidade do *biochar* como realizado neste trabalho por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV). Uma vez aplicado ao solo o material contribui com suas propriedades físicas e pode ter um impacto direto no crescimento vegetal (DOWNIE et al., 2009). Como demonstram Brockhoff et al. (2010) a presença do *biochar* altera de forma significativa a retenção de água. Além disso, o *biochar*, a depender de suas características, serve como habitat para microrganismos e pode alterar a população microbiana por meio de mecanismos como a modificação de características do solo e interferência em ciclos biogeoquímicos (BREWER et al., 2014; WARNOCK et al., 2007).

Imobilização de microrganismos em *biochar*

As micrografias das amostras de *biochar* após a inoculação com a cianobactéria *A. platensis* e com o consórcio microbiano estão dispostas nas Figuras 3 e 4, respectivamente.

As micrografias apresentadas na Figura 3 permitem a visualização de células da cianobactéria filamentosa *A. platensis* alocadas entre as porções de *biochar* (Figuras 3.b, 3.d e 3.e) e também imersas no material carbonáceo (Figura 3.a e 3.c). Já as micrografias dispostas na Figura 4 exibem aglomerados celulares entre os poros e na superfície do *biochar*. As observações feitas são, portanto, indícios de que é viável a aplicação do *biochar* produzido a partir de borra de café como suporte para imobilização de microrganismos.

De acordo com Thies et al. (2009), o *biochar* é um habitat adequado para microrganismos devido à sua estrutura porosa que fornece área superficial para colonização e proteção contra desidratação e à sua capacidade adsortiva que contribui com o acesso à nutrientes. Outros estudos também apontam uma imobilização efetiva de microrganismos na superfície de *biochars* oriundos de diferentes matérias-primas, sendo inclusive relevantes no aumento da atividade metabólica microbiana e enzimática do solo (JI et al., 2022; QI et al., 2021).

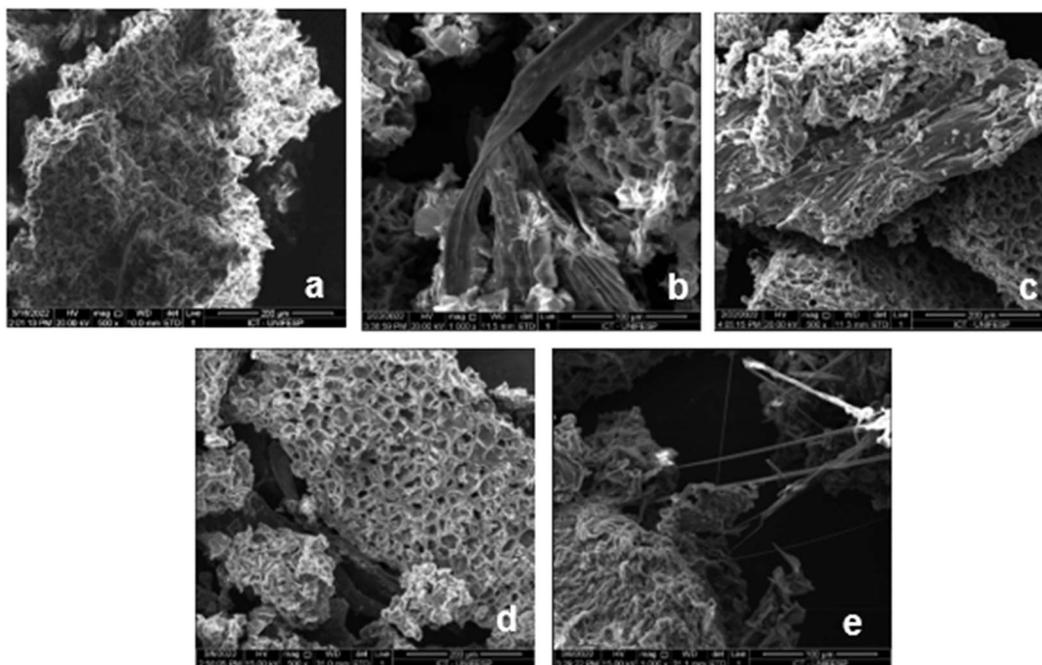


Figura 3: Estrutura porosa do *biochar* de borra de café inoculado com *A. platensis* pirolizado em 300 (a), 400 (b), 500 (c), 600 (d) e 800 °C (e).

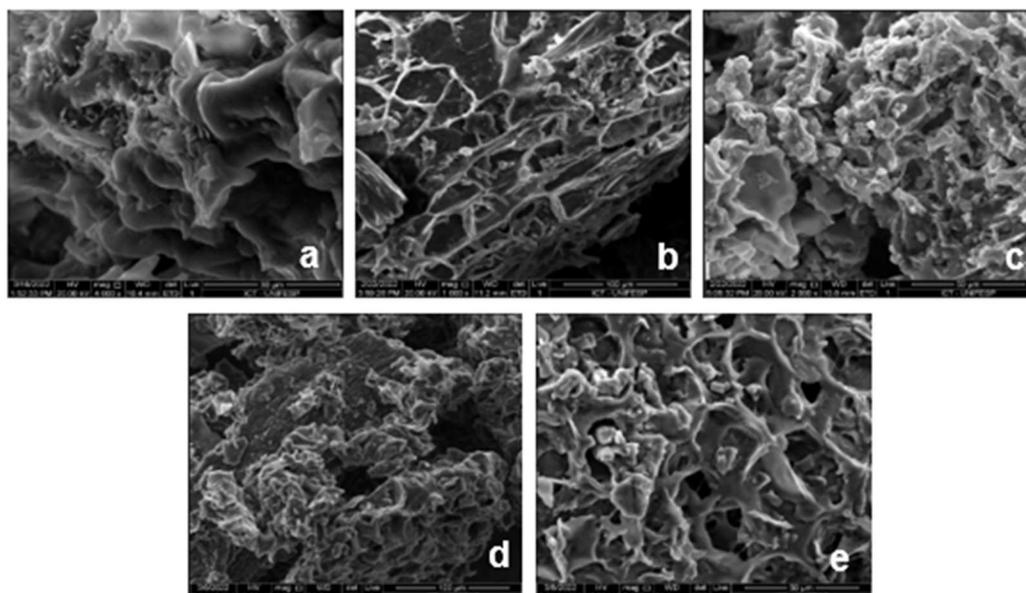


Figura 4: Estrutura porosa do *biochar* de borra de café inoculado com Consórcio Microbiano pirolizado em 300 (a), 400 (b), 500 (c), 600 (d) e 800 °C (e).

Escolha da temperatura de pirólise

Tendo em vista os bons resultados o *biochar* escolhido foi o BC-300. Isso se deu pelo fato da pirólise

a 300 °C apresentar um maior rendimento gravimétrico quando comparada às demais temperaturas testadas e exibir resultados satisfatórios nas análises de MEV com e sem a adição de microrganismos. O BC-300, em comparação com os outros *biochars* produzidos, também possui um pH mais próximo ao neutro, o que é uma característica desejada devido à maior atividade e diversidade bacteriana relatada em solos com pH neutro (THIES et al., 2009). Além disso, por se tratar de uma temperatura mais baixa, o processo ganha agilidade e facilidade de reprodução, sendo um ponto importante caso se deseje aplicar o *biochar* em áreas como a de biofertilizantes. Nessa situação, temperaturas mais baixas também podem possibilitar que pequenos agricultores tenham acesso e consigam produzir um biofertilizante de baixo custo, com elementos reaproveitados como a borra de café e o chorume, o qual é utilizado como suplemento no meio de cultura.

Ensaio com hortaliça

As mudas de rúcula foram plantadas e cultivadas de acordo com a metodologia citada anteriormente. Após 30 dias, o cultivo foi interrompido e deu-se início às análises para investigação dos efeitos do *biochar* de borra de café, com e sem a inoculação de microrganismos, na promoção de crescimento vegetal. Entre as variáveis analisadas está incluso o número de folhas (NF), de modo que as mudas de rúcula que melhor se desenvolveram quanto ao NF em cada um dos tratamentos estão exibidas na Figura 5.

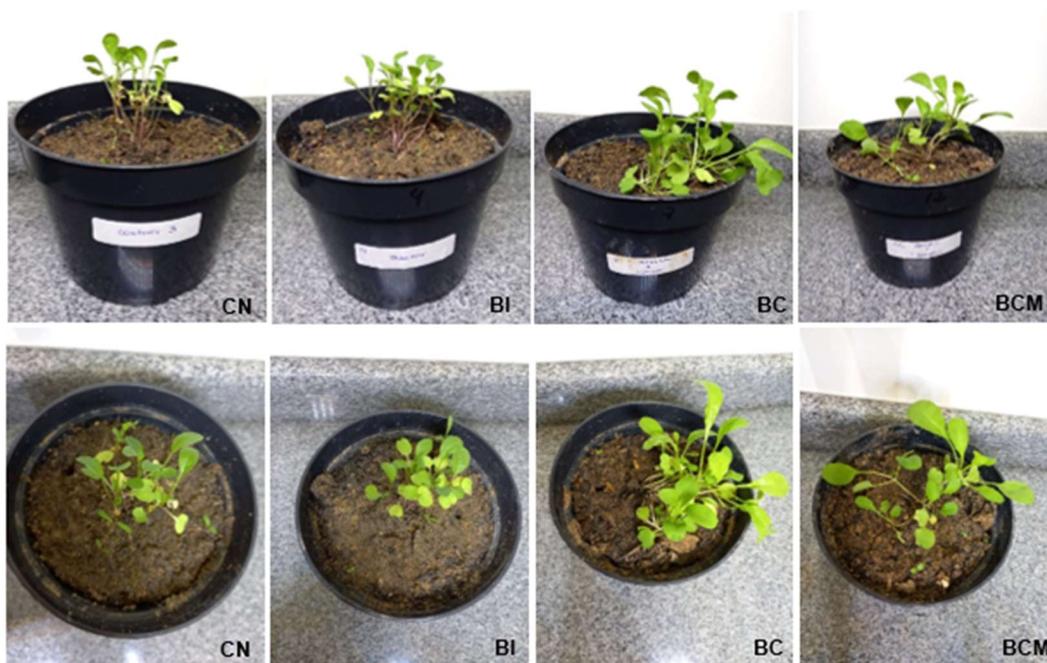


Figura 5: Parcelas experimentais com o maior número de folhas (NF) de cada um dos tratamentos ao final do cultivo. CN: Controle negativo, BI: Biochar, BCM: Biochar + Consórcio Microbiano, BC: Biochar + Cianobactéria.

É possível observar que as amostras dos grupos BC e BCM apresentaram um crescimento visualmente melhor do que aquelas dos grupos CN e BI, indicando que a adição dos microrganismos selecionados pode ter influenciado positivamente o desenvolvimento das plantas. Chama a atenção também a diferença entre os grupos em relação ao comprimento das folhas, estando as maiores nos grupos BC e BCM. No entanto, em relação ao número de folhas, não houve destaque apenas para as amostras advindas dos tratamentos com inoculação de microrganismos, uma vez que, após o grupo BC, o grupo BI foi o que apresentou o maior NF.

Os resultados mencionados são corroborados pela Figura 6.a, a qual expõe que os dados de NF para o grupo BC são os mais elevados e diferem estatisticamente dos demais, enquanto os dados dos grupos BCM, BI, e CN não apresentam diferenças significativas entre si (Teste t, $p < 0,05$). Além disso, a Figura 6.a permite visualizar uma maior simetria nas amostras dos tratamentos BC e BCM, em comparação com as do BI, e identificar que o grupo CN teve valores muito próximos de NF em todas as suas amostras, sendo este fato representado pela pequena amplitude do *boxplot*.

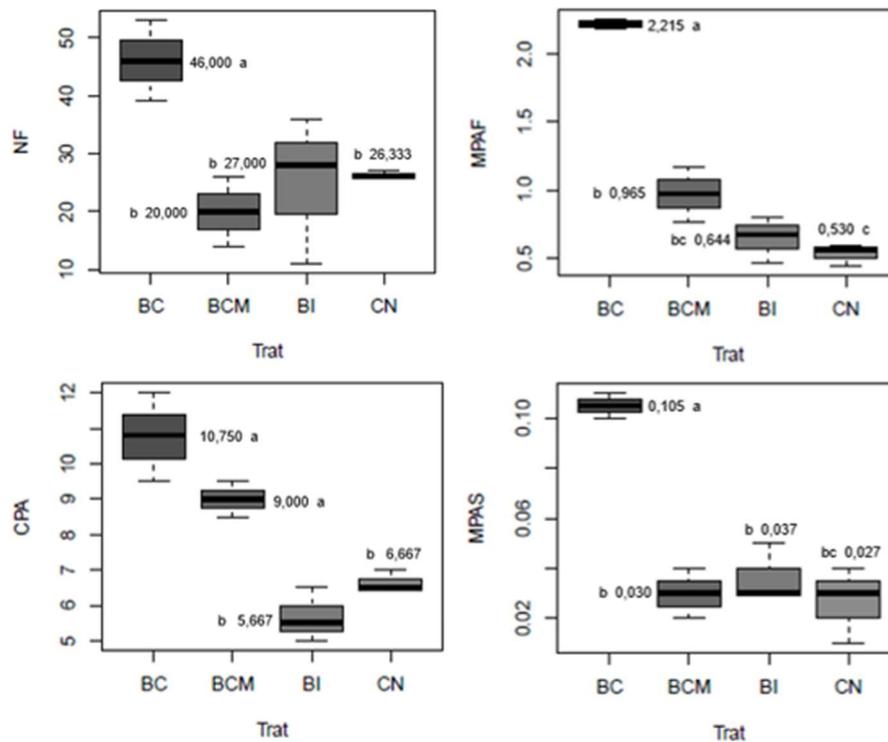


Figura 6: *Boxplots* correlacionando as variáveis número de folhas (NF), comprimento da parte aérea (CPA), massa da parte aérea seca (MPAS) e massa da parte aérea fresca (MPAF) com os tratamentos aplicados no cultivo de rúcula. Médias seguidas de letras diferentes diferem estatisticamente entre si pelo Teste t ($p < 0,05$).

Para o comprimento da parte aérea, os grupos BC e BCM apresentaram as médias mais elevadas (Figura 6.c), de forma que esses diferem estatisticamente dos demais tratamentos com um nível de confiança de 95%. Os resultados também indicaram que a aplicação do *biochar* inoculado com *A. platensis* no solo ocasionou um acréscimo na biomassa de rúcula, uma vez que o tratamento BC foi o que teve o melhor desempenho ao se analisar as variáveis MPAF e MPAS (Figura 6.b e 6.d, respectivamente). Ainda na Figura 6.b, temos que a média do tratamento BC difere estatisticamente das demais ($p < 0,05$) e que as amostras desse grupo apresentaram um aumento de aproximadamente 130% na massa da parte aérea fresca quando comparada com o grupo BCM e 318% quando comparada com o grupo CN. Além disso, para a MPAF os grupos BI e CN não apresentam diferenças significativas ($p < 0,05$). Já com a Figura 6.d, é possível visualizar que as médias dos tratamentos BCM, BI e CN são semelhantes pelo teste t ($p < 0,05$) e que a média do grupo BC também é a de maior destaque, sendo maior que as médias dos grupos BCM, BI e CN em 250%, 184% e 289%, respectivamente.

Na literatura o *biochar* é frequentemente associado à promoção de crescimento vegetal, isto porque devido à sua alta capacidade de adsorção é capaz de alterar propriedades do solo de forma benéfica para o

cultivo (CARTER et al., 2013; TRUPIANO et al., 2017; UPADHYAY et al., 2014). No entanto, as consequências da aplicação do *biochar* dependem da proporção utilizada, de forma que maiores quantidades podem apresentar melhores resultados (CRISPIM et al., 2020; SCHULZ et al., 2014), também do tipo de cultura no qual o material é aplicado (UPADHYAY et al., 2014) e da matéria-prima utilizada no processo de pirólise (SHETTY et al., 2020). Em um cultivo de rúcula, Santos et al. (2020) relata que o *biochar* de lenha da poda de cajueiro proporcionou um aumento na densidade radicular e na massa de matéria fresca das plantas. Já Lima et al. (2019) apresentou que o *biochar* de madeira de espécies do Cerrado foi ineficiente na melhoria da qualidade de mudas de rúcula, beterraba e berinjela.

Diante dessas observações, os resultados semelhantes encontrados neste estudo para o tratamento BI, ou seja, a adição ao solo apenas do *biochar* de borra de café, em comparação com o grupo controle pode ser explicada pela matéria-prima utilizada para produção do carvão, pela escolha da rúcula para o cultivo vegetal e pela proporção de *biochar* aplicada ao solo. Em trabalhos futuros seria necessário avaliar o uso de uma maior proporção de *biochar* oriundos de diferentes materiais e aplicados em mais cultivos como tubérculos, leguminosas e outras hortaliças.

Bons resultados também são encontrados na literatura para o uso de *biochar* inoculado com microrganismos na recuperação de solos e melhoramento do desenvolvimento vegetal (GHAZI et al., 2017; JI et al., 2022; SAXENA et al., 2013). Os mecanismos pelos quais microrganismos podem promover um melhorias ao cultivo incluem, entre outros, a fixação de nitrogênio, solubilização de nutrientes no solo, indução de resistência à patógenos e produção de hormônios vegetais (REZENDE et al., 2021). Portanto, os resultados positivos apresentados pelo grupo BC em todas as variáveis analisadas e pelo grupo BCM, em relação ao comprimento da parte aérea, fazem com que a principal sugestão de aplicação futura para o *biochar* de borra de café seja como suporte para a imobilização de microrganismos benéficos ao solo, tendo a cianobactéria *A. platensis* se mostrado eficaz na promoção de crescimento vegetal. Os valores de pH mensurados para os solos utilizados no cultivo de rúcula estão apresentados na Figura 7.

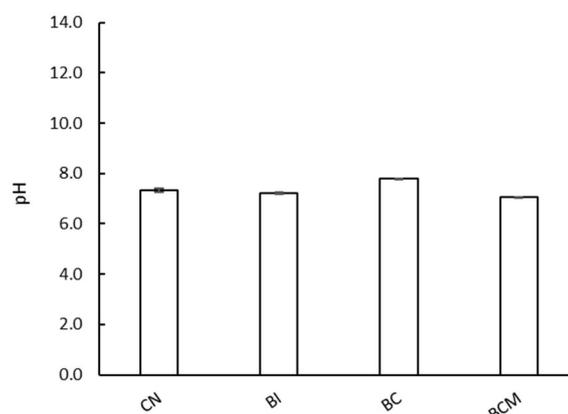


Figura 7: Comparativo entre os valores de pH do solo de cada grupo de tratamento após o término do cultivo.

Analisando o gráfico (Figura 7) é possível verificar que todos os tratamentos apresentaram valores próximos de pH ao final do cultivo, sendo 7,0 (grupo BCM) o menor valor médio obtido e 7,8 (grupo BC) o maior valor médio. Dessa forma, temos que a adição da amostra BC-300 de pH 6,2, quando inoculada ou não

com microrganismos, não ocasionou alterações relevantes no pH do solo, o qual inicialmente já havia exibido altos teores de elementos básicos e baixa acidez potencial (Tabela 1).

Os resultados verificados, contribuem para a consolidação da ideia de uso do *biochar* de borra de café como carreador de microrganismos ao solo. De acordo com Neina (2019) o pH é o fator mais importante do solo, tendo influência em propriedades e processos físico-químicos e biológicos. Dentre os seus possíveis papéis, o pH pode afetar o crescimento e a produção de biomassa vegetal, a atividade enzimática e a disponibilidade de nutrientes no solo e processos como o de nitrificação e desnitrificação. Por estes motivos, materiais que não possuem potencial para alterar de forma brusca tal propriedade, como demonstrou ser o *biochar* de borra de café, podem ter grande utilidade para a imobilização de microrganismos benéficos ao solo, pois poderão servir como uma matriz de suporte, sem ocasionar mudanças químicas indesejadas no solo e fornecendo um ambiente propício ao crescimento microbiano.

CONCLUSÕES

O *biochar* foi produzido a partir da borra de café em diferentes temperaturas de pirólise, tendo todos os produtos exibido estruturas microscópicas com formação de poros. Dentre os testes realizados, o *biochar* produzido em 300 °C apresentou o maior rendimento gravimétrico e o pH mais próximo do neutro quando comparado aos demais. A imobilização de microrganismos na superfície do *biochar* foi bem-sucedida, sendo possível visualizar células da *A. platensis* e aglomerados celulares nas micrografias de todos os grupos. No entanto, a aplicação apenas do *biochar* no solo não resultou em diferenças significantes na qualidade das mudas de rúcula quando comparado com o grupo controle. O uso do *biochar* de borra de café inoculado com a *A. platensis* foi capaz de promover o desenvolvimento de mudas de rúcula, tendo proporcionado melhores resultados para todas as variáveis avaliadas. Sendo assim, entre as possíveis aplicações para o *biochar* da borra de café seu uso como carreador de microrganismos se destaca. Além disso, o estudo expôs o potencial da *A. platensis* na promoção de crescimento vegetal.

REFERÊNCIAS

AMONETTE, J.; JOSEPH, S.. Characteristics of Biochar: Microchemical Properties. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S.. **Biochar for environmental management: science and technology**. London: Earthscan, 2009. p.35–52.

BHERING, L. L.. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.17, n.2, p.187–190, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2s29>

BOEHM, H. P.. Some aspects of the surface chemistry of carbon blacks and other carbons. **Carbon**, v.32, n.5, p.759–769,1994. DOI: [http://doi.org/10.1016/0008-6223\(94\)90031-0](http://doi.org/10.1016/0008-6223(94)90031-0)

BREWER, C. E.; CHUANG, V. J.; MASIELLO, C. A.; GONNERMANN, H.; GAO, X.; DUGAN, B.; DRIVER, L. E.; PANZACCHI, P.; ZYGOURAKIS, K.; DAVIES, C. A.. New approaches to measuring biochar density and porosity. **Biomass and Bioenergy**, v.66, p.176–185, 2014. DOI:

<http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.03.059>

BROCKHOFF, S. R.; CHRISTIANS, N. E.; KILLORN, R. J.; HORTON, R.; DAVIS, D. D.. Physical and mineral-nutrition properties of sand-based turfgrass root zones amended with biochar. **Agronomy Journal**, v.102, n.6, p.1627–1631, 2010. DOI: <http://doi.org/10.2134/agronj2010.0188>

BROGIATO, G.. **Desenvolvimento de um meio de cultura sustentável para produção de biomassa de *Arthrospira platensis***. Monografia (Bacharelado em Biotecnologia) - Universidade Federal de São Paulo, São José dos Campos, 2021.

BROWNSORT, P. A.. **Biomass pyrolysis processes: performance parameters and their influence on biochar system benefits**. Dissertation (Master of Science) - University of Edinburgh, Edinburgh, 2009.

CAO, X.; HARRIS, W.. Properties of dairy-manure-derived

biochar pertinent to its potential use in remediation.

Bioresource Technology, v.101, n.14, p.5222–5228, 2010.

DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.052>

CARTER, S.; SHACKLEY, S.; SOHI, S.; SUY, T. B.; HAEFELE, S.. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). **Agronomy**, v.3, n.2, p.404–418, 2013. DOI: <http://doi.org/10.3390/agronomy3020404>

CASTRO, G. F. P. S.; RIZZO, R. F.; PASSOS, T. S.; SANTOS, B. N. C.; DIAS, D. S.; DOMINGUES, J. R.; ARAUJO, K. G. L.. Biomass production by *Arthrospira platensis* under different culture conditions. **Food Science and Technology**, v.35, n.1, p.18–24, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1590/1678-457X.6421>

CLAOSTON, N.; SAMSURI, A. W.; HUSNI, M. H. A.; AMRAN, M. S. M.. Effects of pyrolysis temperature on the physicochemical properties of empty fruit bunch and rice husk biochars. **Waste Management and Research**, v.32, n.4, p.331–339, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1177/0734242x14525822>

CRISPIM, J. F.; LIMA, J. S. S.; SILVA, J. K. B.; SILVA, A. G. C.; FERDANDES, G. K. F.; BENTO, J. E. A.. Aspecto nutricional do biocarvão na produção de mudas de rúculas em condições semiáridas. **Colloquium Agrariae**, v.16, n.3, p.12–17, 2020.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M... **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

DOWNIE, A.; CROSKY, A.; MUNROE, P.. Physical properties of Biochar. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S.. **Biochar for environmental management: science and technology**. London: Earthscan, 2009. p.13–34.

GHAZI, A. A.; KARNWAL, A.. Potential for biochar as an alternate carrier to peat moss for the preparation of rhizobia bio inoculum. **Microbiology Research Journal International**, v.18, n.4, p.1–9, 2017. DOI: <http://doi.org/10.9734/MRJ/2017/30828>

HIRT, H.. Healthy soils for healthy plants for healthy humans. **EMBO Reports**, v.21, n.8, 2020. DOI: <http://doi.org/10.15252/embr.202051069>

HU, X.; ZHANG, X.; NGO, H. H.; GUO, W.; WEN, H.; LI, C.; ZHANG, Y.; MA, C.. Comparison study on the ammonium adsorption of the biochars derived from different kinds of fruit peel. **Science of the Total Environment**, v.707, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135544>

JI, X.; WAN, J.; WANG, X.; PENG, C.; WANG, G.; LIANG, W.; ZHANG, W.. Mixed bacteria-loaded biochar for the immobilization of arsenic, lead, and cadmium in a polluted soil system: effects and mechanisms. **Science of the Total Environment**, v.811, 2022. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152112>

JIANG, Z.; LIAN, F.; WANG, Z.; XING, B.. The role of biochars in sustainable crop production and soil resiliency. **Journal of Experimental Botany**, v.71, n.2, p.520–542, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1093/jxb/erz301>

KIGGUNDU, N.; SITTAMUKYOTO, J.. Pyrolysis of coffee husks for biochar production. **Journal of Environmental**

Protection, v.10, n.12, p.1553–1564, 2019. DOI:

<http://doi.org/10.4236/jep.2019.1012092>

KWAK, J. H.; ISLAM, M. S.; WANG, S.; MESSELE, S. A.; NAETH, M. A.; EL-DIN, M. G.; CHANG, S. X.. Biochar properties and lead(II) adsorption capacity depend on feedstock type, pyrolysis temperature, and steam activation. **Chemosphere**, v.231, p.393–404, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.128>

LEHMANN, J.. A handful of carbon. **Nature**, v.447, n.7141, p.143–144, 2007. DOI: <http://doi.org/10.1038/447143a>

LIMA, S. L.; COUTO, C. A.; SOUZA, E. R. B.; JUNIOR, B. H. M.. Qualidade de mudas de olerícolas baseada em parâmetros de crescimento e influência de biochar. **Ipê Agronomic Journal**, v.3, n.1, p.80–90, 2019. DOI: <http://doi.org/10.37951/2595-6906.2019v3i1.3061>

LUO, L.; XU, C.; CHEN, Z.; ZHANG, S.. Properties of biomass-derived biochars: Combined effects of operating conditions and biomass types. **Bioresource Technology**, v.192, p.83–89, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.05.054>

MELO, W. L. B.. **A importância da informação sobre o grau de torra do café e sua influência nas características organolépticas da bebida**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004.

MENDES, I. C.; CHAER, G. M.; JUNIOR, F. B. R.; SOUSA, D. M. G.; DANTAS, O. D.; OLIVEIRA, M. I. L.; MALAQUIAS, J. V.. **Tecnologia BioAS: uma maneira simples e eficiente de avaliar a saúde do solo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2020.

MIRA, W. V. M.; ESPOSITO, E.; VILARRAGA, C. O.; ANATRIELLO, E.. Aplicação de bioinoculantes de solo compostado para promoção do crescimento de rúcula (*Eruca sativa*), cenoura (*Daucus carota sativus*) e rabanete (*Raphanus sativus*). **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.16, n.2, p.117–122, 2021. DOI: <http://doi.org/10.33240/rba.v16i2.23173>

NEINA, D.. The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. **Applied and Environmental Soil Science**, v.2019, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1155/2019/5794869>

NOVAK, J. M.; LIMA, I.; XING, B.; GASKIN, J. W.; STEINER, C.; DAS, K. C.; AHMEDNA, M.; REHRAH, D.; WATTS, D. W.; BUSSCHER, W. J.; SCHOMBERG, H.. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. **Annals of Environmental Science**, v.3, 2009.

OLIVEIRA, G. A.. **Avaliação de biochar obtido da borra de café para a construção de um sensor eletroquímico para determinação de chumbo**. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

PAHALVI, H. N.; MAJEED, L. R.; RASHID, S.; NISAR, B.. Chemical Fertilizers and Their Impact on Soil Health. In: DAR, G. H. et al. **Microbiota and biofertilizers, vol 2: ecofriendly tools for reclamation of degraded soil environs**. Bern: Springer Nature, 2021. p.1–20.

QI, X.; GOU, J.; CHEN, X.; XIAO, S.; ALI, I.; SHANG, R.; WANG, D.; WU, Y.; HAN, M.; LUO, X.. Application of mixed bacteria-loaded biochar to enhance uranium and cadmium

immobilization in a co-contaminated soil. **Journal of Hazardous Materials**, v.401, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123823>

REZENDE, C. C.; SILVA, M. A.; FRASCA, L. L. M.; FARIA, D. R.; FILIPPI, M. C. C.; LANNA, A. C.; NASCENTE, A. S.. Microrganismos multifuncionais: utilização na agricultura. **Research, Society and Development**, v.10, n.2, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12725>

SANTOS, A. Y. O.; JUNIOR, D. N. S.; FREIRE, M. M.; NETO, J. V. E.; MORAIS, E. G.; SILVA, G. G. C.. Desenvolvimento radicular da rúcula a doses crescentes de carvão vegetal e manipueira. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.3, n.3, p.1085–1095, 2020. DOI: <http://doi.org/10.34188/bjaerv3n3-029>

SAXENA, J.; RANA, G.; PANDEY, M.. Impact of addition of biochar along with Bacillus sp. on growth and yield of French beans. **Scientia Horticulturae**, v.162, p.351–356, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.08.002>

SCHULZ, H.; DUNST, G.; GLASER, B.. No effect level of co-composted biochar on plant growth and soil properties in a greenhouse experiment. **Agronomy**, v.4, n.1, p.34–51, 2014. DOI: <http://doi.org/10.3390/agronomy4010034>

SHETTY, R.; PRAKASH, N. B.. Effect of different biochars on acid soil and growth parameters of rice plants under aluminium toxicity. **Scientific Reports**, v.10, n.1, p.1–10, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1038/s41598-020-69262-x>

SILVA, C. C. G.; MEDEIROS, E. V.; FRACETTO, G. G. M.; FRACETTO, F. J. C.; FILHO, A. P. M.; LIMA, J. R. S.; DUDA, G. P.; COSTA, D. P.; JUNIOR, M. A. L.; HAMMECKER, C.. Coffee waste as an eco-friendly and low-cost alternative for biochar production impacts on sandy soil chemical attributes and microbial gene abundance. **Bragantia**, v.80, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1590/1678-4499.20200459>

SPADOTTO, C. A.; GOMES, M. A. F.; LUCHINI, L. C.; ANDRÉA, M. M.. **Monitoramento do risco ambiental de agrotóxicos: princípios e recomendações**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004.

TAN, X.; LIU, Y.; ZENG, G.; WANG, X.; HU, X.; GU, Y.; YANG, Z.. Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. **Chemosphere**, v.125, p.70–85, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.058>

THIES, J. E.; RILLIG, M. C.. Characteristics of Biochar: Biological Properties. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S.. **Biochar**

for environmental management: science and technology. London: Earthscan, 2009. p.85–106.

TRUPIANO, D.; COCOZZA, C.; BARONTI, S.; AMENDOLA, C.; VACCARI, F. P.; LUSTRATO, G.; DI LONARDO, S.; FANTASMA, F.; TOGNETTI, R.; SCIPPA, G. S.. The effects of biochar and its combination with compost on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, soil properties, and soil microbial activity and abundance. **International Journal of Agronomy**, v.2017, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1155/2017/3158207>

UPADHYAY, K. P.; GEORGE, D.; SWIFT, R. S.; GALEA, V.. The influence of biochar on growth of lettuce and potato. **Journal of Integrative Agriculture**, v.13, n.3, p.541–546, 2014. DOI: [http://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60710-8](http://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60710-8)

WANG, X.; CHI, Q.; LIU, X.; WANG, Y.. Influence of pyrolysis temperature on characteristics and environmental risk of heavy metals in pyrolyzed biochar made from hydrothermally treated sewage sludge. **Chemosphere**, v.216, p.698–706, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.189>

WARNOCK, D. D.; LEHMANN, J.; KUYPER, T. W.; RILLIG, M. C.. Mycorrhizal responses to biochar in soil: concepts and mechanisms. **Plant and Soil**, v.300, n.1–2, p.9–20, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-007-9391-5>

WILDMAN, J.; DERBYSHIRE, F.. Origins and functions of macroporosity in activated carbons from coal and wood precursors. **Fuel**, v.70, n.5, p.655–661, 1991. DOI: [http://doi.org/10.1016/0016-2361\(91\)90181-9](http://doi.org/10.1016/0016-2361(91)90181-9)

ZARROUK, C.. **Contribution à l'étude d'une cyanophycée: influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de Spirulina maxima**. Thèse (Sciences appliquées) - Université de Paris, Paris, 1996.

ZHANG, X.; YANG, Y.; NGO, H. H.; GUO, W.; SUN, F.; WANG, X.; ZHANG, J.; LONG, T.. Urea removal in reclaimed water used for ultrapure water production by spent coffee biochar/granular activated carbon activating peroxydisulfate and peroxymonosulfate. **Bioresource Technology**, v.343, 2022. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126062>

ZHANG, X.; ZHANG, Y.; NGO, H. H.; GUO, W.; WEN, H.; ZHANG, D.; LI, C.; QI, L.. Characterization and sulfonamide antibiotics adsorption capacity of spent coffee grounds based biochar and hydrochar. **Science of The Total Environment**, v.716, p.137015, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137015>

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.