

**MESTRADO PROFISSIONAL
EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**DESEMPENHO AGRONÔMICO
DE RÚCULA E ALFACE
CULTIVADOS EM SOLO
COMPOSTO DE BIOCARVÃO
DE CASCA DE GUARANÁ E
BUCHA DE DENDÊ**

Rosana D'Ajuda de Souza

Serrinha - Bahia - Brasil -



INSTITUTO FEDERAL

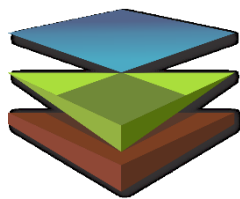
Baiano
Campus Serrinha

Souza, Rosana D'Ajuda de
S729d Desempenho agrônômico de rúcula e alface cultivados em solo
composto de biocarvão de casca de guaraná e bucha de dendê/ Rosana
D'Ajuda de Souza.- Serrinha, Ba, 2024.
59 p.; il.: color.

Inclui bibliografia.
Dissertação (Mestrado Profissional em Ciências Ambientais) – Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – Campus Serrinha.
Orientadora: Profa. Dra. Maria Iraildes de Almeida Silva Matias.

1. Adubação orgânica. 2. Biochar. 3. Sustentabilidade. I. Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano. II. Matias, Maria Iraildes de
Almeida Silva (Orient.). III. Título.

CDU: 631.8

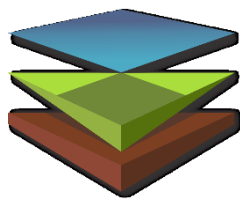


INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA BAIANO
CAMPUS SERRINHA
MESTRADO PROFISSIONAL EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

ROSANA D'AJUDA SOUZA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE RÚCULA E ALFACE CULTIVADOS EM
SOLO COMPOSTO DE BIOCARVÃO DE CASCA DE GUARANÁ E BUCHA DE
DENDÊ**

SERRINHA
BAHIA - BRASIL
2024



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA BAIANO
CAMPUS SERRINHA
MESTRADO PROFISSIONAL EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

ROSANA D'AJUDA SOUZA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE RÚCULA E ALFACE CULTIVADOS EM
SUBSTRATO COMPOSTO DE BIOCARVÃO DE CASCA DE GUARANÁ E BUCHA
DE DENDÊ**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia Baiano,
campus Serrinha, como parte das
exigências do Curso de Mestrado
Profissional em Ciências Ambientais, para
obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Maria Iraildes de Almeida Silva Martins

SERRINHA
BAHIA - BRASIL
2024

AUTOBIOGRAFIA

Sou Rosana D'ajuda de Souza, nascida em Taperoá, no estado da Paraíba, município de origem da minha família paterna. Minhas raízes também estão ramificadas na comunidade Orobó, em Valença, no estado da Bahia, lugar de origem da minha família materna, onde fui criada. A minha criação na cidade se deu sem contato com a minha família biológica, o que me distanciou dos costumes tradicionais do meu povo de origem.

Sempre estudei em escola pública, cursei o ensino médio em escola técnica, o antigo CEFET (atual IFBA), onde tive a oportunidade de conhecer pessoas engajadas na discussão política e começar a ter uma visão mais crítica dos processos em nossa sociedade, onde passei ser mais questionadora a respeito de alguns temas. Ao ingressar no curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, fundei, junto com outros colegas o Grupo de Ação Interdisciplinar em Agroecologia (GAIA), no qual atuávamos com comunidades de áreas de reforma agrária e comunidades tradicionais quilombolas em projetos de promoção da agroecologia e educação popular. A experiência neste grupo (2013-2020) foi fundamental no processo de minha formação como Educadora Popular junto aos movimentos sociais na luta pela terra e território, bem como na construção da Agroecologia.

Além dessa atuação com comunidades, travei algumas lutas na universidade e por ter ingressado na universidade pelo sistema de cotas, defendia essa pauta. Também fui defensora do movimento estudantil e Assistência Estudantil, através da residência universitária que me acolheu num momento em que não tinha condições de morar em outra cidade. No decorrer desta trajetória me aproximei da pauta da Educação do Campo, umas das bandeiras prioritárias das comunidades rurais, pois sem uma educação de qualidade que priorize as necessidades dos povos do campo, não se tem como pensar em um desenvolvimento sustentável para os povos que vivem e trabalham no campo.

Durante a minha trajetória de trabalho com o GAIA, também atuei na assessoria popular a movimentos sociais como Movimentos dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST), Movimento do Pequenos Agricultores (MPA), Movimento dos Pescadores e Pescadoras Artesanais (MPP) e organizações sociais com fins de articulação política entre os diversos movimentos populares, como a Teia dos Povos - Bahia. O trabalho como assessora popular permitiu desenvolver projetos de desenvolvimento comunitário (como cine-clubes, viveiros pedagógicos, oficinas e rodas de conversa) com povos tradicionais indígenas, quilombolas, povos de terreiros dentre outros. Estas experiências contribuíram tanto para minha experiência

profissional quanto política e pessoal, que me possibilitou ter um olhar diferenciado para o meu lugar de origem.

Essa aproximação com comunidades tradicionais e todo esse debate de autonomia e visibilidade das comunidades rurais e tradicionais, me despertou muitos questionamentos a respeito da minha própria identidade. Durante muito tempo, esta foi desativada por conta dos processos de negação impostos a mim desde a infância, onde não pude conviver com os modos e costumes tradicionais do meu povo de origem. Além do processo de formação profissional, fundamental para a construção de minha identidade como uma Engenheira Popular, estas experiências foram essenciais para a minha afirmação identitária como uma mulher negra, de origem rural, descendente de povos tradicionais, o que me colocou ainda mais próxima do compromisso social e política com os povos e comunidades tradicionais. Infelizmente, a negação da identidade dos povos acontece e continua acontecendo há vários séculos em nosso país, dizimando povos e distanciando-os dos modos de vida tradicionais que sustentam suas comunidades e territórios há anos.

DESEMPENHO AGRONÔMICO DE RÚCULA E ALFACE CULTIVADOS EM SUBSTRATO COMPOSTO DE BIOCARVÃO DE CASCA DE GUARANÁ E BUCHA DE DENDÊ

RESUMO GERAL: Alface e rúcula estão entre as folhosas mais produzidas e consumidas no Brasil. Seu consumo se dá pela busca da população por alimentação saudável e balanceada, onde a produção de alimentos orgânicos vem crescendo, buscando atender essas demandas. Entre as estratégias dentro dessa produção, encontra-se o uso de biocarvões, que é o resultado da pirólise ou queima de algum material vegetal, resultam em substrato para produção de várias culturas de interesse agrícola, principalmente hortaliças. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho agronômico de alface e rúcula, cultivadas em solo com biocarvões de bucha de dendê e casca de guaraná, em diferentes doses. Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x4, para rúcula, e 2x5 para alface. Os fatores foram dois biocarvões (bucha de dendê e casca de guaraná) em diferentes doses, 0, 5, 10 e 15 t ha⁻¹ para rúcula, e 0, 5, 10, 15 e 20 t ha⁻¹ para alface. Mudanças de alface e rúcula foram transplantados para vasos de 3,8 L com solo + as diferentes doses de biocarvão. Após 35 dias após o transplante, avaliando o número total de folhas, número de folhas comerciais e não comerciais, altura de planta, massa fresca e seca da folha, comprimento de raiz, massa fresca e seca da raiz, diâmetro do caule e massa fresca e seca do caule. Para o ensaio com rúcula, ambos os biocarvões, bucha de dendê e casca de guaraná, aumentaram linearmente, em função das doses, a altura de plantas, massa seca e fresca da parte aérea e o número total de folhas e de folhas comerciais, com aumento na produtividade em até 667,53 e 449,26%, respectivamente, baseado na massa fresca da folha. Além disso, a massa fresca da raiz também foi influenciada, com as maiores médias na maior dose dos biocarvões. Entre os dois biocarvões, não foi observado diferença significativa entre as doses, demonstrando que ambos em ambas as doses possuem efeito semelhante no desempenho agronômico da rúcula. Para ensaio com alface, solo com adição de biocarvão aumentaram o pH e matéria orgânica e redução de alumínio, além de aumento também dos níveis de fósforo, potássio, cálcio e magnésio. A produtividade da alface, baseado na massa fresca da parte aérea, teve incremento de até 141,97 e 178,35% para o biocarvão de bucha de dendê e casca de guaraná, respectivamente. O biocarvão de bucha de dendê possui melhor efeito no desenvolvimento vegetal e produtividade de alface, comparado ao biocarvão de casca de guaraná, com melhor desempenho agronômico na maior dose de 20 t ha⁻¹. Nessa mesma dose, o biocarvão de casca de guaraná apresentou efeito negativo no desenvolvimento vegetal e produtividade da alface, diminuindo altura, massa fresca e seca da parte aérea e também a massa fresca do caule. Os biocarvões consistem em uma alternativa sustentável para o cultivo de alface, conseguindo suprir parte das necessidades nutricionais da cultura, promovendo seu melhor desenvolvimento e aumento da produtividade.

Palavras-Chave: adubação orgânica; biochar; sustentabilidade.

AGRONOMIC PERFORMANCE OF ARUCLA AND LETTUCE CULTIVATED IN A SUBSTRATE COMPOSED OF GUARANÁ PEEL BIOCHARK AND PALM BEAM

GENERAL ABSTRACT: Lettuce and arugula are among the most produced and consumed leafy vegetables in Brazil. Its consumption is due to the population's search for a healthy and balanced diet, where the production of organic food has been growing, seeking to meet these demands. Among the strategies within this production is the use of biochars, which result from the pyrolysis and burning of some plant material, resulting in a substrate for the production of various crops of agricultural interest, mainly vegetables. Therefore, the objective of the work was to evaluate the agronomic performance of lettuce and arugula, grown in soil with palm bush and guarana bark biochars, at different doses. The experiments were conducted in a completely randomized design, in a 2x4 factorial scheme for arugula and 2x5 for lettuce. The factors were two biochars (palm bush and guarana peel) in different doses, 0, 5, 10 and 15 t ha⁻¹ for arugula, and 0, 5, 10, 15 and 20 t ha⁻¹ for lettuce. Lettuce and arugula seedlings were transplanted into 3.8 L pots with soil + different doses of biochar. 35 days after transplanting, evaluating the total number of leaves, number of commercial and non-commercial leaves, plant height, fresh and dry leaf mass, root length, fresh and dry root mass, stem diameter and fresh mass and stem dryness. For the test with arugula, both biochars, palm bushing and guarana bark, linearly increased, depending on the doses, the height of plants, dry and fresh mass of the aerial part and the total number of leaves and commercial leaves, with increase in productivity by up to 667.53 and 449.26%, respectively, based on fresh leaf mass. Furthermore, the fresh mass of the root was also influenced, with the highest averages in the highest dose of biochars. Between the two biochars, no significant difference was observed between doses, demonstrating that both in both doses have a similar effect on the agronomic performance of arugula. For the lettuce test, soil with the addition of biochar increased the pH and organic matter and consequently decreased aluminum, in addition to increasing the levels of phosphorus, potassium, calcium and magnesium. Lettuce productivity, based on the fresh mass of the aerial part, increased by up to 141.97 and 178.35% for biochar from palm bush and guarana bark, respectively. Palm bush biochar has a better effect on plant development and lettuce productivity, compared to guarana bark biochar, with better agronomic performance at the highest dose of 20 t ha⁻¹. At the same dose, guarana peel biochar had a negative effect on plant development and lettuce productivity, reducing height, fresh and dry mass of the shoot and also the fresh mass of the stem. Biochars are a sustainable alternative for lettuce cultivation, managing to meet part of the crop's nutritional needs, promoting its better development and increased productivity.

Keywords: organic fertilizer; biochar; sustainability.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	10
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15
 CAPÍTULO 1 - BIOCARVÃO DE CASCA DE GUARANÁ E BUCHA DE DENDÊ NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DE RÚCULA (<i>Eruca sativa</i> L.).....	20
1 INTRODUÇÃO	22
2 MATERIAL E MÉTODOS	24
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	24
2.2 PRODUÇÃO DO BIOCARVÃO	24
2.3 ENSAIO EM VASOS.....	26
2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	27
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
3.1 RESPOSTA DA ANÁLISE DE SOLO AOS DIFERENTES BIOCARVÕES	27
3.2 RÚCULA CULTIVADA NOS DIFERENTES BIOCARVÕES	32
4 CONCLUSÕES	37
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
 CAPÍTULO 2 - BIOCARVÃO DE CASCA DE GUARANÁ E BUCHA DE DENDÊ NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DO ALFACE (<i>Lactuca sativa</i> L.).....	42
1 INTRODUÇÃO	44
2 MATERIAL E MÉTODOS	45
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	45
2.2 PRODUÇÃO DO BIOCARVÃO	46
2.3 ENSAIO EM VASOS.....	48
2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	48
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
3.1 RESPOSTA DA ANÁLISE DE SOLO AOS DIFERENTES BIOCARVÕES	49
3.2 ALFACE CULTIVADA NOS DIFERENTES BIOCARVÕES	52
4 CONCLUSÕES	58
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

INTRODUÇÃO GERAL

A constante busca por alimentação saudável faz com que produtos hortícolas ganhem espaço privilegiado na mesa consumidor. Esses são de vital importância para a saúde como também na prevenção de doenças (SANTOS; OLIVEIRA, 2012). Entre as hortaliças folhosas, a rúcula (*Eruca sativa* L.) e o alface (*Lactuca sativa* L.) estão entre as mais produzidas e consumidas no Brasil, com maior produção (84%) concentrada na região Sul e Sudeste (VILELA; LUENGO, 2022). Consumidas comumente *in natura* em saladas, são ricas em vitaminas, sais minerais e fibras (LANA, 2021; ALMEIDA et al., 2015).

A rúcula é uma herbácea pertencente à família das Brassicaceae, originária da região mediterrânea a oeste da Ásia e apresenta porte baixo, com altura média de 10 a 15 cm, folhas alongadas e de limbo profundamente recortado de cor verde e as nervuras verde claras (FILGUEIRA, 2013). Na culinária brasileira é muito apreciada pelo sabor atrativo, indo do amargo ao picante, com cheiro agradável, marcante e acentuado. Além disso, é rica em ferro, potássio, ômega 3, cálcio e vitaminas A, K e C e ainda possui propriedades antioxidantes (LANA, 2021).

No Brasil, a rúcula é representada pelo cultivo de três espécies, sendo *Eruca sativa* com ciclo de crescimento anual, com maior consumo e aceitabilidade e outras duas com ciclo perene, *Diplotaxis tenuifolia* e *D. muralis* (AGUIAR et al., 2014). Dentro da espécie *E. sativa*, mais cultivada e consumida, as cultivares se diferem quanto ao tipo de folha, podendo ter bordas recortadas, chamadas de Cultivada (Antonella e Cultivada) ou bordas lisas e limbo foliar maior, chamadas de Folha Larga (Apreciatta Folha Larga, Astro, Donatella, Folha Larga e Gigante Folha Larga) (AGUIAR et al., 2014; SALA et al., 2004). Sua produção predomina da região Sudeste (85%) do país por ter seu cultivo favorecido por temperaturas amenas (15 a 18 °C), com área plantada estimada em 6000 ha ano⁻¹ (JARDINA et al., 2017; TRANI; PASSOS, 2005).

A alface é a hortaliça folhosa mais produzida e consumida no Brasil devido à facilidade de aquisição, sabor, teor nutricional, baixo valor calórico e a possibilidade de produção durante todo o ano (FILGUEIRA, 2013). Originária da região do mediterrâneo, com registro de cultivos desde aproximadamente 4500 a.C. no Egito, pertence a família Asteraceae, possuindo caule diminuto ao qual se interligam as folhas amplas que crescem em roseta (FRANÇA, 2011). As folhas, parte comestível da planta, podem ser lisas ou crespas, de coloração que varia entre o verde claro e escuro, tendo algumas cultivares a pigmentação roxa nas bordas ou na folha como todo, sendo assim classificadas nos grupos Crespa, Lisa, Mimosa, Romana e Americana (FILGUEIRA, 2013).

A alface é rica fibras, sais minerais e vitamina C, além de ser fonte de antioxidantes antocianina que auxilia as células contra o envelhecimento (SILVA et al., 2011). A produção de alface no Brasil representa cerca de 49,9% da produção de folhosas em todo território nacional, com as maiores produções na região Sul e Sudeste, correspondendo a 84% do total, seguido do Centro-Oeste, com 10,95% e Nordeste, com 2,77%, sendo a região nordeste com sua produção quase total advinda da agricultura familiar (VILELA; LUENGO, 2022). No Brasil, apenas no varejo, a alface movimenta cerca de R\$ 8 bilhões, com uma produção de mais de 1,5 milhões de toneladas ao ano (ABCSEM, 2016).

A ascensão na produção de hortaliças orgânicas é atribuída à adaptação do sistema de produção orgânica às especificidades das pequenas propriedades familiares, destacando a ênfase na diminuição de insumos externos à propriedade. Alternativas visando a finalidade dos resíduos orgânicos vêm sendo amplamente explorada em estudos e tem bastante aproveitamento, demonstrando resultados promissores na área da agricultura familiar. Nesse sentido, o uso desses resíduos para composição dos substratos para o cultivo de hortaliças vem sendo amplamente estudados e utilizados (WATTHIER et al., 2019).

O substrato, geralmente, é o resultado de mistura de materiais que atuam como âncora para as raízes das plantas, permitindo disponibilidade de água e trocas gasosas (FERMINO, 2002; WATTHIER et al., 2019), podendo participar da nutrição, de acordo com as proporções e materiais utilizados. Para que um substrato cumpra com a função desejada no desenvolvimento da planta de determinada hortaliça é necessário conhecer suas características físico-químicas. De acordo com Fermino (2014), as principais características físicas que interferem em um substrato são: porosidade total, espaço de aeração e água disponível e químicas destaca-se o valor de pH, condutividade elétrica (CE) e capacidade de troca de cátions (CTC).

A disponibilidade e o custo de um substrato são tão importantes no processo de produção de hortaliças quanto suas características químico-físicas. Na etapa de formulação desse insumo, a escolha dos materiais deve atender a critérios de sustentabilidade ambiental, econômica e social, optando-se por produtos renováveis, bem como pelo uso de resíduos agroindustriais ou industriais, de forma que gere destinação adequada ao grande volume produzido destes (KRATZ et al., 2013). Desse modo, há a necessidade de caracterização de produtos disponíveis regionalmente, a fim de estudar seu potencial como substrato agrícola e, assim, diminuir os custos de produção, tornando fácil sua obtenção e utilização como substratos, além de prover sua reutilização de forma segura (GONDIN et al., 2015).

Com o aumento da população mundial consequentemente houve aumentado na produção de resíduos agroindustriais, onde seu descarte irregular tem causado impacto ao meio ambiente tem provocado uma preocupação ambiental. Correa et al. (2019), afirma que o processamento de produtos agroindustriais, resulta na geração de toneladas de resíduos orgânicos que causam pendências ambientais decorrentes do acúmulo e descarte inadequado desses resíduos. Partindo de tal problemática, os autores avaliaram a eficiência de diferentes resíduos orgânicos provenientes da agroindústria da Amazônia Tocantina como substratos alternativos no desenvolvimento inicial de mudas de diferentes cultivares de alface e notaram que o substrato contendo resíduos provenientes da agroindústria de palmito demonstrou ser uma alternativa altamente eficaz para a produção de mudas de alface, sendo os resultados obtidos com esse substrato comparáveis aos alcançados com substrato comercial.

Entre os resíduos usados na agricultura para produção de hortaliças, encontra-se o biocarvão, também chamado de biochar. Biocarvão e carvão vegetal são essencialmente o mesmo material, sendo um empregado para fins agronômicos e o outro para siderurgia, churrascaria, aquecedores entre outros, respectivamente (KOOKANA et al., 2011). O biocarvão é o produto da pirólise de qualquer fonte de matéria orgânica, a partir da decomposição térmica na ausência ou mínima presença de oxigênio atmosférico em temperaturas que variam de 300 °C a 1000 °C (ZHANG et al., 2018). Esse processo transforma a matéria orgânica em três estados: gasoso, líquido e sólido, e suas proporções variam de acordo com a matéria prima e as condições de pirólise utilizadas (KARAOSMANOĞLU et al., 2000). Isso vem sendo uma opção para a destinação de vários resíduos que são produzidos em larga escala em todo o mundo, a exemplos do lodo de esgoto, esterco, biomassa de colheita e o material residual da própria indústria de carvão (ZHANG et al., 2018). Ainda segundo o mesmo autor, a pirólise rápida favorece a produção de líquido, que pode ser armazenado e transportado mais facilmente e a baixo custo do que a forma sólida da biomassa, entretanto, a pirólise lenta tem se mostrado mais apropriada para a produção de biocarvão para o uso agronômico, pois favorece a produção na forma sólida e maximiza o rendimento do carvão.

O processo de pirólise pode ocorrer entre variações temperatura e tempo em que o material permanece no reator, podendo assim ser classificada em lenta (500 °C por 5-30 min), intermediária (500 °C por 10-20 seg) e rápida (500 °C por 1 seg). Durante o processo são formados três produtos, sendo um líquido, comumente chamado de bio-óleo; um material sólido, o biocarvão; e um gasoso não condensável, contendo monóxido e dióxido de carbono, hidrogênio, metano e outros hidrocarbonetos (TRAZZI et al., 2018). A proporção dos produtos formados é que diferencia os tipos de pirólise, tendo a lenta possuindo o maior rendimento de

biocarvão (35%) seguida da intermediária (20%) e lenta (12%) (BROWN, 2009; BROWNSORT, 2009; MCCARL et al., 2009).

A composição e estrutura química do biocarvão varia de acordo com o processo de pirólise e da matéria-prima utilizada. De forma geral, apresenta entre 50 e 90% de teor de carbono fixo, 0 a 40% de material volátil, 1 a 15% de teor de umidade e 0,5 a 5% de teor de cinzas (BATISTA, 2018). Geralmente apresentam coloração escura, pH variando de neutro a básico, riqueza em carbono apresentando determinado nível aromático e estrutura amorfa com porosidade variando de micro (<2 nm), meso (2-50 nm) a macroporos (> 50 nm) (REBOLLEDO et al., 2016; MARTINS, 2018; SOUZA et al., 2020).

A temperatura na produção do biocarvão influencia principalmente na produtividade, pH, recalcitrância e materiais voláteis (ZHAO et al., 2018). Além de rico em carbono, também possui alta capacidade de troca catiônica, resultado da ação do carbono pirogênico no solo, promove a diminuição da lixiviação dos nutrientes e a maior retenção de água no substrato, garantindo maior eficiência na utilização dos nutrientes e redução dos custos com adubação (LIU et al., 2017; DU et al., 2019; LEHMANN; JOSEPH, 2015). Os fatores acima citados podem promover o aumento significativo da raiz, aumentando ainda mais o crescimento e a produtividade, além disso, sua combinação com solo rico em nutrientes ou aliado com fertilizantes potencializa o desenvolvimento das plantas (LIMA et al., 2016).

A aplicação de biocarvão pode aumentar o pH do solo por conter minerais em sua composição, destacando-se o potássio, cálcio, fósforo e sódio (PETTER; MADARI, 2012). A adição de biocarvão na composição do substrato para a produção de mudas melhorou a qualidade das de *Eucalyptus grandis* (SILVA et al., 2018), e *Tectona grandis* (REZENDE et al., 2016). Testes com o biocarvão demonstram a capacidade para aumentar a composição da comunidade biológica do solo (GROSSMAN et al., 2010). Gaskin et al. (2008), indicaram que, a aplicação do biocarvão aumentou a respiração basal em cerca de 30,1% de CO₂ nas 35 horas e Liang et al. (2010) constatou um aumento da biomassa microbiana em 125%.

O biocarvão apresenta características físicas e químicas que melhoram as propriedades do solo, aumentando a porosidade, a condutividade elétrica do solo e a atividade microbiana (BAIAMONTE et al., 2015; LAIRD et al., 2010; OGUNTUNDE et al., 2004). É possível observar a alteração a resistência à tração dos solos, pois a adição de biocarvão em solos ricos em argila pode reduzir essa resistência possibilitando o alongamento e proliferação da raiz no solo, a mineralização de nutrientes, além de permitir que as sementes germinem mais rapidamente, uma vez que a impedância mecânica é um dos fatores que dificultam a emergência da semente (LEHMANN; JOSEPH, 2015). As propriedades físicas e químicas do biocarvão

são variadas e dependentes da temperatura de pirólise e dos parâmetros do processo em que foi produzido, como tempo de resistência e temperatura do forno, e o tipo de matéria-prima utilizada (BRUUN et al., 2011; JOSEPH et al., 2010), com isso as proporções dos elementos presentes em sua composição podem ser diferentes, por exemplo, o biocarvão proveniente de palha apresenta teor maior de potássio quando comparado ao proveniente da madeira (UZOMA et al., 2011).

O biocarvão ainda possui uma característica muito importante, seu potencial sequestro de carbono no solo, se tornando assim, um aliado na redução das mudanças climáticas devido a capacidade de diminuir as concentrações de CO₂ da atmosfera. Existem duas vias principais em que o biocarvão influencia no ciclo global de carbono. A primeira é que se o biocarvão for proveniente de um material que de outra forma teria oxidado a curto e médio prazo e o produto resultante seja rico em carbono estável, este ficará numa condição de menor oxidação. A segunda é a utilização de produtos gasosos e líquidos provenientes da pirólise que podem ser utilizados como combustíveis compensando a utilização dos fósseis (LEHMANN; JOSEPH, 2015). Para avaliar o sequestro de carbono através do biocarvão, devem ser considerados alguns fatores, como o tempo presente no solo, a taxa de emissão, a quantidade que pode ser adicionada ao solo e a eficiência da produção (WOOLF et al., 2010). De acordo com os autores o sequestro de carbono pode ser explicado pela maior aeração e diminuição da anaerobiose, o que possibilitaria a maior estabilização de C no solo, assim a produção do biocarvão pode contribuir para a mitigação das mudanças climáticas a curto e a longo prazo.

O fator dominante para a melhoria no desenvolvimento das plantas e o aumento na fertilidade do solo após a aplicação do biocarvão ainda precisam ser mais estudados com base nos diferentes tipos de matéria prima utilizados na produção do biocarvão e a dosagem a ser aplicada (WANG; WANG, 2019). Solos adubados anualmente com 4,5 t ha⁻¹ de uma mistura de cinzas e biocarvão, foram avaliados ao longo de três anos sem a aplicação suplementar de fósforo para o crescimento de *Pinus radiata* com 13 anos de idade. Isso se deve ao fato da capacidade do biocarvão em reduzir perdas de nutrientes por lixiviação, além de aumentar o teor de matéria orgânica do solo, mesmo em solos arenosos (LI et al., 2017; OMIL, et al., 2013; SOHI et al., 2010). Sendo assim, utilização dos resíduos agroindustriais como biocarvão na produção de hortaliças pode ser uma alternativa viável para retirá-los do ambiente e potencializar a produção orgânica de hortaliças na região. Diante disso, o trabalho teve por objetivo avaliar o efeito do biocarvão de casca de guaraná e bucha de dendê no desenvolvimento vegetal e produção de plantas de rúcula e alface. O trabalho foi dividido em dois capítulos, sendo o primeiro para resultados dos experimentos com rúcula e o segundo para alface.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. T. E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S.; CASTRO, C. E. F. (Ed.) **Boletim 200 Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7 ed. Boletim Técnico Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, n. 200, 2014. 460 p.

ALMEIDA, A. E. DA S. Eficiência agrônômica do consórcio alface-rúcula fertilizado com flor-de-seda. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 79-85, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS. **Trajetória de Área de Alfaves (ha)**. Disponível em: https://www.abcsem.com.br/upload/arquivos/O_mercado_de_folhosas__Numeros_e_Tendencias_-_Steven.pdf. Acesso em: 25 jan. 2024.

BAIAMONTE, G.; DE PASQUALE, C.; MARSALA, V.; CIMÒ, G.; ALONZO, G.; CRESCIMANNO, G.; CONTE, P. Structure alteration of a sandy-clay soil by biochar amendments. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, p. 816-824, 2015.

BATISTA, E. M. C. C. **Biochar como ligante macromolecular no solo visando aumentar a capacidade de retenção de água nos solos do nordeste do Brasil**. (Tese de doutorado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil, 2018.

BROWN, R. Biochar production technology. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed.). **Biochar for environmental management: science and technology**. London: Earthscan, 2009. p. 127-148.

BROWNSORT, P. A. **Biomass pyrolysis processes: review of scope, control and variability**. United Kingdom Biochar Research Centre, London, v. 1, p. 1-39, 2009.

BRUUN, E. W.; MÜLLER-STÖVER, D.; AMBUS, P.; HAUGGAARD-NIELSEN, H. Application of biochar to soil and N₂O emissions: potential effects of blending fast-pyrolysis biochar with anaerobically digested slurry. **European Journal of Soil Science**, v. 62, n. 4, p. 581-589, 2011.

CORREA, B. A.; PARREIRA, M. C.; MARTINS, J. D. S.; RIBEIRO, R. C.; SILVA, E. D. Reaproveitamento de resíduos orgânicos regionais agroindustriais da Amazônia Tocantina como substratos alternativos na produção de mudas de alface. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 1, p. 97-104, 2019.

DU, J.; ZHANG, Y.; QU, M.; YIN, Y.; FAN, K.; HU, B.; ZHANG, H.; WEI, M.; MA, C. Effects of biochar on the microbial activity and community structure during sewage sludge composting. **Bioresource Technology**, v. 272, n. 1, p. 171-179, 2019.

FERMINO, M. H. O uso da análise física na avaliação da qualidade de componentes e substratos. IN: FURLANI, A. M. C. et al. (Ed.) **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, p. 29-37, 2002.

FERMINO, M. H. **Substratos: composição, caracterização e métodos de análise**. Guaíba: Agrolivros, v. 111, 2014.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa-MG: UFV, 2013. 421 p.

FRANÇA, C. F. M. **Conservação e qualidade pós-colheita em duas variedades de alface submetidas ao hidrosombreamento**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, p. 53, 2011.

GASKIN, J.; STEINER, C.; HARRIS, K.; DAS, K. C.; BIBENS, B. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. **Transactions of the ASABE**, v. 51, n. 6, p. 2061-2069, 2008.

GONDIN, J. C.; SILVA, J. B. DA; ALVES, C. Z.; DUTRA, A. S.; ELIAS JUNIOR, L. Emergência de plântulas de *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (CAESALPINACEAE) em diferentes substratos e sombreamento. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 2, p. 329-338, 2015.

GROSSMAN, J. M.; O'NEILL, B. E.; TSAI, S. M.; LIANG, B.; NEVES, E.; LEHMANN, J.; THIES, J. E. Amazonian anthrosols support similar microbial communities that differ distinctly from those extant in adjacent, unmodified soils of the same mineralogy. **Microbial Ecology**, v. 60, p. 192-205, 2010.

JARDINA, L. L.; CORDEIRO, C. A. M.; SILVA, M. C. C.; SANCHES, A. G.; ARAÚJO JÚNIOR, P. V. Desempenho produtivo e qualidade de cultivares de rúcula em sistema semi-hidropônico. **Revista de Agricultura Neotropical**, [s.l.], v. 4, n. 1, p. 78-82, 2017.

JOSEPH, S. D.; CAMPS-ARBESTAIN, M.; LIN, Y.; MUNROE, P.; CHIA, C. H.; HOOK, J.; AMONETTE, J. E. An investigation into the reactions of biochar in soil. **Soil Research**, v. 48, n. 7, p. 501-515, 2010.

KARAOSMANOĞLU, F.; İŞİĞİGÜR-ERGÜDENLER, A.; SEVER, A. Biochar from the straw-stalk of rapeseed plant. **Energy & Fuels**, v. 14, n. 2, p. 336-339, 2000.

KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, A. C.; SOUZA, P. V. D. Propriedades físicas e químicas de substratos renováveis. **Revista Árvore**, v. 37, p. 1103-1113, 2013.

KOOKANA, R. S.; SARMAH, A. K.; VAN ZWIETEN, L.; KRULL, E.; SINGH, B. Biochar application to soil: agronomic and environmental benefits and unintended consequences. **Advances in agronomy**, v.112, n1, p.103-143, 2011.

LANA, M. M. **Hortaliças Folhosas – Ponha esse verde no seu prato**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalica-nao-e-so-salada/hortalicas-folhosas>. Acesso em: 23 jan. 2024.

LAIRD, D. A.; FLEMING, P.; DAVIS, D. D.; HORTON, R.; WANG, B.; KARLEN, D. L. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. **Geoderma**, v. 158, n. 3-4, p. 443-449, 2010.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Eds.). **Biochar for environmental management: science, technology and implementation**. Routledge, 2015.

LI, S.; CHEN, G. Thermogravimetric, thermochemical, and infrared spectral characterization of feedstocks and biochar derived at different pyrolysis temperatures. **Waste Management**, v. 78, n. 1, p. 198-207, 2018.

LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOHI, S.P.; THIES, J.E.; O'NEIL, B.; TRUJILLO, L.; GAUNT, J.; SOLOMON, D.; GROSSMAN, J.; NEVES, E. G. Black carbon affects the cycling of non-black carbon in soil. **Organic Geochemistry**, v. 41, p. 206-213, 2010.

LIMA, S. L.; MARIMON JUNIOR, B. H.; MELO-SANTOS, K. D. S.; REIS, S. M.; PETTER, F. A.; VILAR, C. C.; MARIMON, B. S. Biochar no manejo de nitrogênio e fósforo para a produção de mudas de angico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 120-131, 2016.

LIU, N.; ZHOU, J.; HAN, L.; MA, S.; SUN, X.; HUANG, G. Role and multi-scale characterization of bamboo biochar during poultry manure aerobic composting. **Bioresource Technology**, v. 241, n. 1, p. 190-199, 2017.

MARTINS, C. C. **Biochar, composto orgânico e potássio nas características químicas e lixiviação de nutrientes em Espodossolo e no cultivo de mucuna preta e moringa**. (Tese de doutorado). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Campos dos Goycatazes, Rio de Janeiro, Brasil, 2018.

MCCARL, B. A.; PEACOCKE, C.; CHRISMAN, R.; KUNG, C. C.; SANDS, R. D. Economics of biochar production, utilization and gas offsets. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed). **Biochar for environmental management: science and technology**. London: Earthscan, 2009. p. 341-356.

OMIL, B.; PIÑEIRO, V.; MERINO, A. Soil and tree responses to the application of wood ash containing charcoal in two soils with contrasting properties. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 295, p. 199-212, 2013.

OGUNTUNDE, P. G.; FOSU, M.; AJAYI, A. E.; GIESEN, N. V. Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 39, p. 296-299. 2004.

PETTER, F. A.; MADARI, B. E. R. Biochar: Agronomic and Environmental Potential in Brazilian Savannah Soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 761-768., 2012.

REBOLLEDO, A. E.; GUADALUPE, P. L.; MORENO, C. H.; COLLADO, J. L.; ALVES, J. C.; BARRA, J. D. E. Biocarbón (Biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el solo. **Terra Latinoamericana**, v. 34, p. 367-382, 2016.

REZENDE, F. A.; DOS SANTOS, V. A. H. F.; DE FREITAS MAIA, C. M. B.; MORALES, M. M. Biochar na composição de substratos para a produção de mudas de teca. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 51. n. 9, p. 1449-1456, 2016.

ROSSI, F.; FABRI, E. G.; SALA, F. C.; RONDINO, E.; MINAMI, K.; MELO, P. C. T. de; COSTA, D. P. da. Caracterização varietal de rúcula. In: Anais do 44º Congresso Brasileiro de Olericultura. **Horticultura Brasileira**, Campo Grande, v.22, n.2, jul. 2004. Suplemento 2. CDROM.

SANTOS, J. S; OLIVEIRA, M. B. P. P. Alimentos frescos minimamente processados embalados em atmosfera modificada. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v 15, n. 1, p. 1-14, 2012.

SILVA, E. M. N. C. P.; FERREIRA, R.L.F.; ARAÚJO NETO, S. E.; TAVELLA, L.B.; SOLINO A.J.S. Qualidade de alface crespa cultivada em sistema orgânico, convencional e hidropônico. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 02, p. 242- 245, 2011.

SILVA, V. L.; BELÉM, R. S.; JUNIOR, B. M.; ANDRADE, F. R.; FARIAS, J.; ROCHA, N. C. L. **Biochar como condicionante de solo no cultivo do eucalipto híbrido urograndis** *Biochar as soil conditioner in the cultivation of eucalyptus hybrid urograndis*, 2018.

SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R. Review of biochar and its use and function in soil. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Advances in Agronomy**. Burlington: Academic Press, 2010. p. 47-82.

SOUZA, E. C.; PIMENTA, A. S.; SILVA, A. J. F.; BRAGA, R. M.; AZEVEDO, T. K. B.; MEDEIROS-NETO, P. N. Efficiency of H₂O₂-treated eucalyptus biochar on the removal of Cu(II), Cd(II) and Ni(II) from aqueous solution. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences*, v. 15, n. 3, p.1-13, 2020.

TRANI, P. E., PASSOS, F. A. **Rúcula (Pinchão) *Eruca vesicaria sativa* (Mill.) Thell.** In: congresso brasileiro de olericultura, 45º. Fortaleza, Ago. 2005 – Suplemento CDROM.

TRAZZI, P. A.; HIGA, A. R.; DIECKOW, J.; MANGRICH, A. S.; HIGA, R. C. V. Biocarvão: realidade e potencial de uso no meio florestal. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 875-887, 2018.

UZOMA, K. C.; INOUE, M.; ANDRY, H.; FUJIMAKI, H.; ZAHOOR, A.; NISHIHARA, E. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. **Soil use and management**, v. 27, n. 2, p. 205-212, 2011.

VILELA, N. J.; LUENGO, R. DE F. A. Produção de hortaliças folhosas no Brasil. **Revista Campo & Negócios Online**, Uberlândia, MG, 2022.

ZHANG, P.; SUN, H.; MIN, L.; REN, C. Biochars change the sorption and degradation of thiacloprid in soil: insights into chemical and biological mechanisms. **Environmental pollution**, v. 236, p. 158-167, 2018.

ZHAO, B.; O’CONNOR, D.; ZHANG, J.; PENG, T.; SHEN, Z.; TSANG, D. C. W.; HOU, D. Effect of pyrolysis temperature, heating rate, and residence time on rapeseed stem derived biochar. **Journal of Cleaner Production**, v. 174, p. 977-987, 2018.

WANG, J.; WANG, S. Preparation, modification and environmental application of biochar: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 227, p. 1002-1022, 2019.

WATTHIER, M.; SCHWENGBER, J. E; FONSECA, F. D.; SILVA, M. A. S. Húmus de minhoca e casca de arroz carbonizada como substratos para produção de mudas de alface. **Brazilian Applied Science Review**, [s.l.], v. 3, n. 5, p. 2065-2071, 2019.

WOOLF, D.; AMONETTE, J. E.; STREET-PERROTT, F. A.; LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Sustainable biochar to mitigate global climate change. **Nature communications**, v. 1, n. 1, p. 56, 2010.

CAPÍTULO 1

BIOCARVÃO DE CASCA DE GUARANÁ E BUCHA DE DENDÊ NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DE RÚCULA (*Eruca sativa* L.)

BIOCARVÃO DE CASCA DE GUARANÁ E BUCHA DE DENDÊ NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DE RÚCULA (*Eruca sativa* Mill.)

Resumo: A constante busca da população por alimentação balanceada e saudável, vem aumentando o consumo de alimentos *in natura* e de produção sustentável. Entre esses alimentos, as hortaliças folhosas, como a rúcula, têm ganhado destaque, por ser rica em potássio, cálcio, ferro e vitaminas A e C. Entre as estratégias para sua produção sustentável e orgânica, encontra-se o uso de biocarvões, que resultado da pirólise e queima de algum material vegetal, resultam em substrato para produção de várias culturas de interesse agrícola, principalmente hortaliças. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho agronômico da rúcula, cultivada em solo com biocarvões de bucha de dendê e casca de guaraná, em diferentes doses. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 (tipos de biocarvões) x 4 (diferentes doses). Os biocarvões usados foram de bucha de dendê e casca de guaraná em quatro diferentes doses, 0, 5, 10 e 15 t ha⁻¹. Mudanças de rúcula foram transplantados para vasos de 3,8 L com solo + as diferentes doses de biocarvão. Após 35 dias após o transplantio, avaliando o número total de folhas, número de folhas comerciais e não comerciais, altura de planta, massa fresca e seca da folha, comprimento de raiz, massa fresca e seca da raiz, diâmetro do caule e massa fresca e seca do caule. Ambos os biocarvões, bucha de dendê e casca de guaraná, aumentaram linearmente, em função das doses, a altura de plantas, massa seca e fresca da parte aérea e o número total de folhas e de folhas comerciais, com aumento na produtividade em até 667,53 e 449,26%, respectivamente, baseado na massa fresca da folha. Além disso, a massa fresca da raiz também foi influenciada, com as maiores médias na maior dose dos biocarvões. Entre os dois biocarvões, não foi observado diferença significativa entre as doses, demonstrando que ambos em ambas as doses possuem efeito semelhante no desempenho agronômico da rúcula. Os biocarvões consistem em uma alternativa sustentável para o cultivo de rúcula, conseguindo suprir parte das necessidades nutricionais da cultura, promovendo seu melhor desenvolvimento e aumento da produtividade.

Palavras-chave: biochar, resíduos orgânicos, substrato alternativo, carvão vegetal.

BIOCARBON FROM GUARANÁ PEEL AND PALM LOOF ON THE AGRONOMIC PERFORMANCE OF ARUCLA (*Eruca sativa* Mill.)

Abstract: The population's constant search for a balanced and healthy diet has increased the consumption of fresh and sustainably produced foods. Among these foods, leafy vegetables, as has gained prominence, such as arugula, rich in potassium, calcium, iron and vitamins A and C. Among the strategies for their sustainable and organic production, is the use of biochars, which results The pyrolysis and burning of some plant material results in a substrate for the production of various crops of agricultural interest, mainly vegetables. Therefore, the objective of the work was to evaluate the agronomic performance of arugula, grown in soil with palm bush and guarana bark biochars, at different doses. The experiment was conducted in a completely randomized design, in a 2 (types of biochar) x 4 (different doses) factorial scheme. The biochars used were palm bushing and guaraná bark in four different doses, 0, 5, 10 and 15 t ha⁻¹. Arugula seedlings were transplanted into 3.8 L pots with soil + different doses of biochar. 35 days after transplanting, evaluating the total number of leaves, number of commercial and non-commercial leaves, plant height, fresh and dry leaf mass, root length, fresh and dry root mass, stem diameter and fresh mass and stem dryness. Both biochars, palm bush and guaraná bark, linearly increased, depending on the doses, the height of plants, dry and fresh mass of the aerial part and the total number of leaves and commercial leaves, with an increase in productivity of up to 667.53 and 449.26%, respectively, based on fresh leaf mass. Furthermore,

the fresh mass of the root was also influenced, with the highest averages in the highest dose of biochars. Between the two biochars, no significant difference was observed between doses, demonstrating that both in both doses have a similar effect on the agronomic performance of arugula. Biochars are a sustainable alternative for arugula cultivation, managing to meet part of the crop's nutritional needs, promoting its better development and increased productivity.

Keywords: biochar, organic waste, alternative substrate, charcoal.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a preocupação da população com a alimentação balanceada, visando incremento de alimentos que visem suprir a maior riqueza de nutrientes e qualidade à saúde, vem aumentando. Nesse sentido observa-se, entre outros alimentos, uma maior diversificação no consumo de hortaliças no Brasil, devido, além da crescente preocupação com a qualidade de vida, mas também aumento da renda da população, ao desenvolvimento das cidades do interior e ao maior acesso a informação. Nesse cenário, a rúcula (*Eruca sativa* L.) é uma das hortaliças com maior crescimento em produção e consumo (BJORKMAN et al., 2011; JARDINA et al., 2017). É uma folhosa que se destaca por possuir em sua composição altos teores de potássio (326 mg 100 g⁻¹ de massa fresca), cálcio (160 mg 100 g⁻¹ de massa fresca), ferro (1,46 mg 100 g⁻¹ de massa fresca) e vitaminas A e C, além do seu sabor levemente picante e odor agradável (JARDINA et al., 2017; UNIFESP, 2021; MOREIRA NETO et al., 2021).

A produção de rúcula é dependente de adubação equilibrada, principalmente para maior incremento da massa verde das folhagens. Nesse sentido, uma das alternativas sustentáveis para suprir a demanda por nutrientes pelas hortaliças é o uso de biocarvão, que além de fornecer nutrientes e matéria orgânica, melhora biologicamente a qualidade do solo (BATISTA et al., 2013; CARDOSO JÚNIOR et al., 2022). Aliado a esse fator, o aumento da população nos interesses sobre questões ambientais envolvidas na produção de alimentos tem direcionado os produtores para a busca de alternativas de produção sustentável, com produção de alimentos de qualidade e com segurança, tendo o uso de resíduos orgânicos na agricultura, como o biocarvão, ganhado destaque (SANTOS et al., 2020).

O biocarvão, também chamado de “biochar”, consiste de um composto resultante da pirólise, que é a decomposição térmica de materiais orgânicos de origem animal, vegetal, da agroindústria ou até mesmo de culturas voltada a sua produção, quando esta é aquecida em condições limitadas ou ausência de oxigênio e temperaturas relativamente altas (CHRISTOU et al., 2022; ZAFEIRIOU et al., 2022; DEBIAGI et al., 2016; RANGABHASHIYAM; BALASUBRAMANIAN, 2018). Nesse processo ocorre um rearranjo dos átomos de carbono, resultando em composto com alto teor de nutrientes e grande área superficial, resultante da sua alta porosidade (CRISPIM et al., 2020).

O biocarvão traz inúmeros benefícios às plantas, influenciando principalmente nos processos biogeoquímicos do solo, como as reações de adsorção de água e nutrientes, aumentando o pH, assim como fixação biológica de nitrogênio e na disponibilidade de boro, molibdênio, cálcio, potássio e fósforo (LI; CHEN, 2018; KOOKANA et al., 2011). Isso se deve principalmente pelas suas propriedades, como alta porosidade, responsável por sua alta capacidade de retenção de água; alta capacidade de troca catiônica, o que favorece a retenção de nutrientes e a capacidade de ser habitat de microrganismos benéficos que podem auxiliar na liberação e absorção de nutrientes pelas plantas (DU et al., 2019; LIU et al., 2017). Na agricultura, o uso de biocarvão tem demonstrado um aumento médio de 10% na produtividade em diversas culturas testadas (JEFFERY et al., 2011).

No Nordeste a produção de hortaliças tem sido realizada, em sua maioria, com adubação mineral, onde a rúcula requer grande quantidade de nutrientes para sua produção (SILVA et al., 2011). Nesse sentido, a utilização de biocarvão pode reduzir a necessidade de uso de fertilizantes minerais na cultura (HE et al., 2017). Contudo, informações de adubação e épocas de cultivo são escassas na literatura, principalmente ao que se refere à adubação orgânica. Isso se deve ao fato de que as hortaliças no geral, devido ao ciclo curto em sua maioria, principalmente as folhosas, demandam grande quantidade de nutrientes difíceis de serem mensurados com precisão. Portanto, o manejo de adubação é essencial para manter altos rendimentos (GRANGEIRO et al., 2011).

Apesar dos grandes benefícios do biocarvão como fonte de nutrientes, no Brasil, seu estudo e uso ainda é baixo, se restringindo principalmente na fruticultura e olericultura irrigadas (BENITES et al., 2010). No Baixo Sul da Bahia, pesquisas com biocarvão de resíduos agrícolas têm sido realizadas desde 2018, para a produção de mudas de espécies perenes em viveiro, como cacau, cupuaçu, cravo e cedro. Nessa região há um descarte inadequado de resíduos da produção de azeite de dendê, sobretudo do cacho vazio, onde, após retirada dos frutos, esse resíduo é exposto no ambiente contaminando principalmente os manguezais. Adicionalmente, a região também produz guaraná para exportação e seus resíduos (casca de guaraná) não são adequadamente aproveitados. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do uso de biocarvão de casca de guaraná e bucha dendê no desenvolvimento de rúcula.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi conduzido nas instalações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus Valença*, 13° 22'26.05"S e 39°5'0.05". O clima da região é caracterizado como quente e úmido sem estação seca definida (tipo Af), conforme a classificação de Koppen. O solo utilizado foi um latossolo amarelo de onde foram coletadas amostras da camada de 0 -20 cm de profundidade, homogeneizado e enviados para análise no Laboratório de Análise Agronômica, Ambiental e Consultoria LTDA. Os resultados das características químicas estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos físicos e químicos do solo usado no experimento

Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	pH H ₂ O	pH SMP	M.O.
-----cmol _c dm ⁻³ -----									dag kg ⁻¹
2,00	0,70	0,40	1,70	2,81	3,21	4,00	5,10	6,85	3,24
Sat. Ca - CTC (T)		Sat. Mg - CTC (T)		Sat. K - CTC (T)		Sat. Al (m)		V	ISNa
-----%-----									
44,00		16,00		2,00		12,00		70,25	0,80
P	K	S	Fe	Zn	Cu	Mn	B	Na	
-----mg dm ⁻³ -----									
6,00	42,00	4,00	352,80	3,90	0,40	9,70	0,20	8,00	

Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al: Alumínio; SB: Soma de Bases; t: CTC efetiva; T: CTC a pH 7,0; M.O.: Matéria Orgânica; V: Saturação de Bases; ISNa: Índice de Saturação de Sódio; P: Fósforo Mehlich; K: Potássio; S: Enxofre; Fe: Ferro; Zn: Zinco; Cu: Cobre; Mn: Manganês; B: Boro; Na: Sódio.

2.2 PRODUÇÃO DO BIOCARVÃO

A produção do biocarvão foi feita a partir da casca de guaraná e da bucha de dendê (cacho vazio após a colheita do fruto), mantidas por 55 e 45 minutos respectivamente, tempo suficiente para o material chegar a carbonização, sem perdas por formação de cinzas, à temperatura aproximada de 500 °C, em um forno adaptado a um modelo desenvolvido pela IBI (Iniciativa Internacional de Biocarvão), composto por uma câmara de combustão em formato de cilindro (forno de queima) de 9 orifícios (25 mm), com diâmetro de 56 cm e altura 68 cm, e um reator cujo peso é de 13,615 kg (Figura 1). Inicialmente os resíduos agroindustriais foram secados a temperatura ambiente (Figura 1.1 e 1.2), pesados e colocados dentro do reator, em seguida o reator com o resíduo foi levado a câmara de combustão para o processo de pirólise.



Figura 1. Processo de pirólise dos materiais vegetais de dendê e guaraná. 1: Bucha de dendê; 2: casca de guaraná; 3: câmara de combustão (artesanal); 4: reator artesanal; 5: queima de material; Fonte: Matias Junior (2021)

Para condução do experimento foram processados 1,300 e 0,915 kg de casca de guaraná e bucha de dendê, resultando em rendimento de 73,46% (0,955 kg) e 55,19% (0,505 kg) de biocarvão, respectivamente (Figura 2). Após a pirólise dos resíduos, os biocarvões produzidos foram caracterizados para matéria volátil, cinzas, carbono fixo, umidade, pH, teores totais de N, P, K, Ca, Mg, S (Tabela 2). Todas as análises foram realizadas com três repetições e reagentes de grau analítico. O biocarvão foi incorporado ao solo trinta dias antes do transplântio das mudas e montagem do experimento, com intuito de ser absorvido pelo solo.

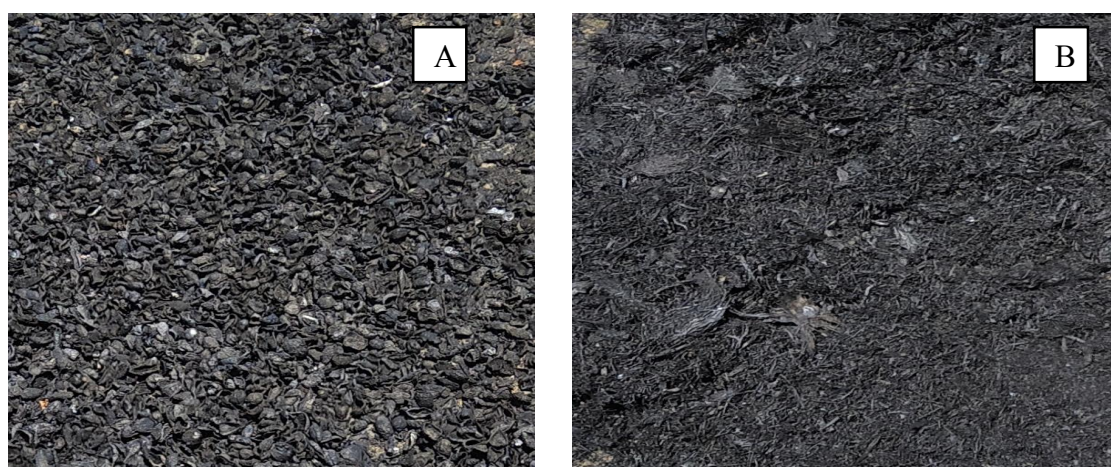


Figura 2. Produto do material vegetal após a pirólise (biocarvão), sendo biocarvão de guaraná (A) e biocarvão de dendê (B)

Tabela 2. Características químicas do biocarvão de bucha de dendê e casca de guaraná usado no experimento

Biocarvão de bucha de dendê								
N	P	K	Ca	Mg	C	C/N	CTC	pH
----- (g kg ⁻¹) -----							-	
14,50	3,54	73,50	19,65	9,50	318,21	22,00	103,67	9,80
B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	M.O.	Umidade	
----- (mg kg ⁻¹) -----						-- g kg ⁻¹ --	----- % -----	
32,30	75,00	11310,00	281,00	177,00	1020,00	548,60	10,20	
Biocarvão de casca de guaraná								
N	P	K	Ca	Mg	C	C/N	CTC	pH
----- (g kg ⁻¹) -----							-	
21,75	3,63	57,00	18,95	10,30	369,23	17,00	87,01	9,60
B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	M.O.	Umidade	
----- (mg kg ⁻¹) -----						-- g kg ⁻¹ --	----- % -----	
87,40	47,00	10370,00	126,00	72,00	760,00	636,54	23,60	

N: nitrogênio; P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; C: carbono; C/N: relação carbono e nitrogênio; CTC: capacidade de troca catiônica; B: Boro; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; Zn: zinco; Na: sódio; M.O.: Matéria Orgânica.

2.3 ENSAIO EM VASOS

As sementes de rúcula foram semeadas em bandejas de polietileno de 288 células com substrato comercial e as bandejas foram mantidas em telado, onde permaneceram por 21 dias, para germinação e desenvolvimento das mudas em períodos diferentes. Após o período de 21 dias, foram transplantadas para vasos com capacidade de 3,8 L preenchidos com solo peneirado, e adubadas com diferentes doses de biocarvões. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 (tipos de biocarvões) x 4 (doses dos biocarvões) e seis repetições. Os biocarvões usados foram bucha de dendê e casca de guaraná nas dosagens de 0 g vaso⁻¹, 9,5 g vaso⁻¹, 19 g vaso⁻¹ e 28,5 g vaso⁻¹, correspondente ao respectivo de 0, 5, 10 e 15 t ha⁻¹. Os vasos foram mantidos em telado durante 35 dias, irrigados manual e diariamente (Figura 3).



Figura 3. Disposição dos tratamentos da rúcula com diferentes doses de biocarvão

As avaliações foram feitas 35 dias após o transplântio, avaliando o número total de folhas (NTF), número de folhas comerciais (NFC) e não comerciais (NFNC), altura de planta (AP), massa fresca da folha (MFF), comprimento de raiz (CR), massa fresca da raiz (MFR), diâmetro do caule (DC), obtido com uso de paquímetro digital logo abaixo das primeiras folhas, e massa fresca do caule (MFC). Posteriormente, as plantas foram submetidas a pré-secagem e levadas à estufa com circulação de ar na temperatura de 65 ° C por 72 h para obtenção da massa seca da folha (MSF), massa seca da raiz (MSR) e massa seca do caule (MSC).

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos a análise de variância, e quando detectado diferença, foram realizados teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para comparação das médias e feito análise de regressão polinomial. O programa usado para as análises foi o Sistema para Análise de Variância (SISVAR) (FERREIRA, 2008).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 RESPOSTA DA ANÁLISE DE SOLO AOS DIFERENTES BIOCARVÕES

A composição química do solo sofreu interferência significativa de acordo com as diferentes doses de biocarvão de bucha de dendê (Tabela 3). O biocarvão influenciou positivamente nos parâmetros químicos do solo, com a maior dose (15 t ha^{-1}) apresentando melhores resultados em níveis de potássio, pH em H_2O , pH SMP, relação Mg/K, saturação de Mg na CTC (Tabela 3).

Tabela 3. Média dos valores dos componentes químicos da análise de solo para as diferentes doses de biocarvão de bucha de dendê, após condução do experimento

Bucha de dendê							
Parâmetro analisado	Unidade	Controle	5 t ha ⁻¹	10 t ha ⁻¹	15 t ha ⁻¹		
Médias						Média geral	CV (%)
Fósforo extraível	mg dm ⁻³	8.67 a	6.50 a	6.75 a	6.75 a	7.06	24.57
Potássio		48.33 d	71.00 c	98.50 b	140.00 a	92.20	8.17
Sódio		16.67 a	18.00 a	17.50 a	18.75 a	17.73	12.72
Cálcio		1.53 a	1.60 a	1.70 a	1.83 a	1.67	11.31
Magnésio		0.63 a	0.70 a	0.75 a	0.75 a	0.71	9.13
Alumínio	cmol _c dm ⁻³	0.30 a	0.10 b	0.00 c	0.00 c	0.09	69.58
H+Al		4.87 a	4.28 b	4.20 b	3.75 b	4.27	7.62
Soma de bases (SB)		2.30 a	2.48 a	2.70 a	2.93 a	2.60	10.26
CTC efetiva (t)		2.67 a	2.50 a	2.75 a	3.00 a	2.73	17.15
CTC a pH 7 (T)		7.23 a	6.80 a	6.98 a	6.78 a	6.92	3.02
pH em H ₂ O	-	5.37 d	5.60 c	5.80 b	6.00 a	5.69	1.72
pH SMP		5.87 d	5.99 c	6.00 b	6.11 a	5.99	1.07
Relação Ca/Mg		2.32 a	2.30 a	2.34 a	2.37 a	2.33	4.49
Relação Ca/K		12.09 a	8.76 b	6.78 c	5.05 c	7.91	15.69
Relação Mg/K		5.17 a	3.83 b	2.90 c	2.13 d	3.39	11.86
Sat. Ca na CTC (T)	%	20.96 a	23.32 a	24.46 a	26.72 a	24.05	11.37
Sat. Mg na CTC (T)		8.92 b	10.17 a	10.46 a	11.26 a	10.28	8.38
Sat. K na CTC (T)		1.72 d	2.67 c	3.61 b	5.33 a	3.43	8.19
Índice saturação sódio (ISNa)		1.00 a	1.18 a	1.10 a	1.23 a	1.13	13.43
Sat. alumínio (m)		12.00 a	4.00 b	0.00 b	0.00 b	3.47	76.81
Sat. de bases (V)		31.67 b	36.00 b	38.50 a	43.50 a	37.42	9.26

*Médias seguida pela mesma letra na linha não difere estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os resultados da análise química do solo na presença do biocarvão de bucha de dendê foram interpretados baseado em Sobral et al. (2015) e Prezotti e Guarçoni (2013). A acidez ativa do solo (pH em H₂O) apresentou nível médio (5,0 - 5,9) no controle e nas doses de 5 e 10 t ha⁻¹ (Tabelas 3). Contudo, houve diferença significativa entre os tratamentos, apresentando aumento gradativo do pH em H₂O de acordo com aumento das doses, tendo o controle o menor valor de acidez (5,37). Já a dose 15 t ha⁻¹ apresentou nível fraco de acidez (6,0 - 6,9), diferindo estatisticamente de todos demais tratamentos (Tabelas 3). Os tratamentos com o biocarvão, o nível de alumínio tóxico (Al³⁺) foram estatisticamente inferiores ao controle, chegando a nível zero nas duas maiores doses. Já em níveis de pH abaixo de 5,5, como observado no controle, o nível de Al³⁺ foi superior (0,30 cmol_c dm⁻³), indicando maior quantidade de alumínio na sua forma tóxica as plantas. Semelhantemente, a acidez potencial (H+Al), foi estatisticamente superior no controle (4,87 cmol_c dm⁻³).

A saturação de bases (V%) apresentou níveis baixos (<50%) em todos os tratamentos, indicando a necessidade de calagem para sua elevação, visto que o recomendado para o cultivo de rúcula é de 80%. Contudo, o tratamento controle e a dose de 5 t ha⁻¹ apresentaram com médias inferiores, diferindo estatisticamente dos tratamentos com 10 e 15 t ha⁻¹ indicando que maiores doses do biocarvão de bucha de dendê aumentam a saturação de bases (Tabelas 3). Paralelo a isso, a saturação por alumínio (m) foi baixa (<50%) em todos os tratamentos. Porém, o controle apresentou o maior nível (12%), diferindo dos tratamentos com biocarvão, que foi de 4% na dose de 5 t ha⁻¹, chegando a zero nas duas doses subsequentes, indicando baixos níveis de alumínio no solo na presença dos biocarvões.

A soma de bases (SB) e CTC a pH 7 (T) e CTC efetiva não diferiram entre os tratamentos e apresentaram níveis médios (2,0 - 5,0; 4,5 - 10 e 2,5 - 6,0 cmol_c dm⁻³) com base na média geral (Tabela 3). O teor de sódio (Na) e o índice de saturação de sódio (ISNa) também não diferiram entre os tratamentos. Contudo, em ambos tratamentos foram considerados baixos, visto que um solo sódico apresenta ISNa superior a 15%. O Na em altas concentrações pode causar efeito depressivo sobre a produtividade da cultura por dificultar a absorção de água e nutrientes (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013).

Observou-se também que os teores de fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) não diferiram entre os tratamentos, tendo baseado na média geral, o nível de fósforo (7,06 mg dm⁻³) considerado limitante para o cultivo da rúcula, enquanto que Ca e Mg apresentaram níveis médios (1,5 - 4,0 e 0,5 - 1,0 cmol_c dm⁻³, respectivamente). Ca e Mg estão diretamente relacionados a acidez do solo (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013), e tendo em vista que o solo apresentou nível médio a fraco de acidez, explica os valores médios desses elementos no solo. Já o teor de potássio diferiu entre todos os tratamentos (Tabelas 3), com aumento gradativo de acordo com aumento das doses, com menor teor no controle (48,33 mg dm⁻³), considerado de nível baixo (<80 mg dm⁻³), e maior valor na maior dose (140 mg dm⁻³), considerado de nível médio (80 - 200 mg dm⁻³). Esse aumento de potássio sugere que o biocarvão de casaca de guaraná pode ser uma fonte eficaz de potássio para o solo, influenciando positivamente no desenvolvimento das plantas.

Para biocarvão de casaca de guaraná, também foi observado interferências significativas na composição química do solo de acordo com as diferentes doses de biocarvão (Tabela 4). O biocarvão influenciou positivamente nos parâmetros químicos do solo, com a maior dose (15 t ha⁻¹) apresentando melhores resultados em níveis de potássio, pH em H₂O, pH SMP, relação Ca/K, relação Mg/K, saturação de K na CTC e saturação de bases (Tabela 4).

Tabela 4. Média dos valores dos componentes químicos da análise de solo para as diferentes doses de biocarvão de casca de guaraná.

		Casca de guaraná					
Parâmetro analisado	Unidade	Controle	5 t ha ⁻¹	10 t ha ⁻¹	15 t ha ⁻¹		
Médias						Média geral	CV (%)
Fósforo extraível	mg dm ⁻³	8.67 a	7.50 a	7.00 a	8.25 a	7.80	22.68
Potássio		48.33 d	84.00 c	117.00 b	175.00 a	109.93	9.23
Sódio		16.67 a	16.25 a	17.75 a	20.75 a	17.93	12.46
Cálcio		1.53 a	1.63 a	1.80 a	1.90 a	1.73	10.96
Magnésio		0.63 a	0.68 a	0.75 a	0.75 a	0.71	9.93
Alumínio	cmol _c dm ⁻³	0.30 a	0.03 b	0.00 b	0.00 b	0.07	39.17
H+Al		4.87 a	4.33 a	4.00 b	3.45 b	4.11	8.37
Soma de bases (SB)		2.30 b	2.53 b	2.85 a	3.13 a	2.73	9.67
CTC efetiva (t)		2.67 a	2.50 a	3.00 a	3.00 a	2.08	13.90
CTC a pH 7 (T)		7.23 a	6.93 b	6.93 b	6.70 b	6.93	2.62
pH em H2O	-	5.37 c	5.68 b	5.73 b	6.00 a	5.71	0.78
pH SMP		5.87 c	5.97 c	6.05 b	6.18 a	6.03	1.18
Relação Ca/Mg		2.32 a	2.40 a	2.40 a	2.46 a	2.40	5.04
Relação Ca/K		12.09 a	7.58 b	6.02 b	4.25 c	7.18	16.50
Relação Mg/K		5.17 a	3.15 b	2.52 c	1.72 d	3.00	11.77
Sat. Ca na CTC (T)	%	20.96 b	23.53 b	25.97 a	28.46 a	24.98	11.03
Sat. Mg na CTC (T)		8.92 b	9.79 b	10.86 a	11.56 a	10.38	9.21
Sat. K na CTC (T)		1.72 d	3.11 c	4.33 b	6.72 a	4.12	9.27
Índice saturação sódio (ISNa)		1.00 b	1.00 b	1.10 b	1.35 a	1.12	12.91
Sat. alumínio (m)		12.00 a	1.00 b	0.00 b	0.00 b	2.67	57.65
Sat. de bases (V)		31.67 c	36.50 c	41.00 b	48.25 a	39.67	9.99

*Médias seguida pela mesma letra na linha não difere estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os resultados da análise química do solo na presença do biocarvão casca de guaraná foram interpretados baseado em Sobral et al. (2015) e Prezotti e Guarçoni (2013). A acidez ativa do solo (pH em H₂O) apresentou nível médio (5,0 - 5,9) no controle e nas doses de 5 e 10 t ha⁻¹ (Tabelas 4). Contudo, houve diferença significativa entre os tratamentos, apresentando aumento gradativo do pH em H₂O de acordo com aumento das doses, tendo o controle a menor acidez (5,37). Já a dose 15 t ha⁻¹ apresentou nível fraco de acidez (6,0 - 6,9), diferindo estatisticamente de todos demais tratamentos (Tabelas 4). O pH em H₂O do solo, na faixa de 5,5 a 6,5, observado nos tratamentos com os biocarvões, é o ideal para o cultivo da rúcula, e indica ausência de alumínio tóxico (Al³⁺), como observado, onde nos tratamentos com o biocarvão, os valores foram estatisticamente inferiores ao controle, chegando a nível zero nas duas maiores doses. Já em níveis de pH abaixo de 5,5, como observado no controle, o nível de Al³⁺ foi superior (0,30 cmol_c dm⁻³), indicando maior quantidade de alumínio na sua forma tóxica as plantas. Semelhantemente, a acidez potencial (H+Al), foi estatisticamente superior no

controle ($4,87 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e na dose de 5 t ha^{-1} ($4,33 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) para o biocarvão de casca de guaraná (Tabela 4) diferindo dos demais tratamentos, que apresentaram valores decrescentes de acordo com aumento das doses.

A saturação de bases (V%) apresentou níveis baixos (<50%) em todos os tratamentos, indicando a necessidade de calagem para sua elevação, visto que o recomendado para o cultivo de rúcula é de 80%. Contudo, o tratamento controle e a dose de 5 t ha^{-1} apresentaram com médias inferiores, diferindo estatisticamente dos tratamentos com 10 e 15 t ha^{-1} indicando que maiores doses do biocarvão de casca de guaraná aumenta a saturação de bases (Tabelas 4). Paralelo a isso, a saturação por alumínio (m) foi baixa (<50%) em todos os tratamentos. Porém, o controle apresentou o maior nível (12%), diferindo dos tratamentos com o biocarvão, que foi de 1% na dose de 5 t ha^{-1} , chegando a zero nas duas doses subsequentes, indicando baixos níveis de alumínio no solo na presença dos biocarvões.

A soma de bases foi estatisticamente superior nas duas maiores doses ($2,85$ e $3,13 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente) enquanto que a CTC a pH 7 foi superior apenas no controle ($7,23 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e a CTC efetiva não apresentou diferença entre os tratamentos (Tabela 4). A CTC a pH 7 indica o potencial produtivo do solo, demonstrando a capacidade do solo em adsorver os nutrientes de carga positiva, como K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , incorporados no solo via calagem ou adubações (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013). O biocarvão de casca de guaraná apresentou o maior nível de CTC em pH 7 no tratamento controle com redução de acordo com aumento das doses, indicando assim que a presença do biocarvão diminuiu a capacidade tampão do solo, aumentando assim a resistência a variação do pH, o que resultaria em menores quantidades de calcário para corrigir e alterar significativamente o pH.

O teor de sódio (Na) e não diferirau entre os tratamentos e o ISNa diferiu apenas na maior dose (Tabela 4). Contudo, em ambos tratamentos, foram considerados baixos, visto que um solo sódico apresenta ISNa superior a 15%. O Na em altas concentrações pode causar efeito depressivo sobre a produtividade da cultura por dificultar a absorção de água e nutrientes (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013).

Os teores de fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) não diferiram entre os tratamentos, tendo baseado na média geral, o nível de fósforo ($7,80 \text{ mg dm}^{-3}$) considerado limitante para o cultivo da rúcula, enquanto que Ca e Mg apresentaram níveis médios ($1,5 - 4,0$ e $0,5 - 1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente). Ca e Mg estão diretamente relacionados a acidez do solo (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013), e tendo em vista que o solo apresentou nível médio a fraco de acidez, explica os valores médios desses elementos no solo. Já o teor de potássio diferiu entre todos os tratamentos (Tabela 4), com aumento gradativo de acordo com aumento das doses, com menor teor no controle ($48,33 \text{ mg dm}^{-3}$), considerado de nível baixo (<80 mg

dm^{-3}), e maior valor na maior dose (175 mg dm^{-3}), considerado de nível médio ($80 - 200 \text{ mg dm}^{-3}$). Esse aumento de potássio sugere que os biocarvões podem ser uma fonte eficaz de potássio para o solo, influenciando positivamente no desenvolvimento das plantas.

3.2 RÚCULA CULTIVADA EM SOLO CONDICIONADO COM DIFERENTES BIOCARVÕES

O número total de folhas e o número de folhas comerciais apresentaram incremento numérico de acordo com aumento das doses, em ambos os biocarvões, com médias superiores, nas duas maiores doses usadas. Já o número de folhas não comerciais não apresentou diferença significativa entre os dois biocarvões e as diferentes doses usadas. A folhagem é o produto consumido da rúcula e o aumento em número produzido resulta em maior valor comercial. O incremento de biocarvões no substrato favoreceu o aumento do número de folhas comerciais produzidas (Tabela 5). Esse aumento foi linear para o biocarvão de casca de guaraná (Figura 4), que trouxe um incremento de 3,67 folhas entre o controle (0 t ha^{-1}) e a maior dose (15 t ha^{-1}). Já o biocarvão de bucha de dendê, o maior incremento (4 folhas) foi na dose de 10 t ha^{-1} , diminuindo na maior dose (Figura 4). Observa-se (Tabela 5) que a maior dose foi o que resultou em maior incremento do número de folhas comerciais no biocarvão de casca de guaraná. Contudo, entre os dois biocarvões, o maior incremento no número de folhas comerciais, foi na bucha de dendê e em uma dose menor (10 t ha^{-1}), demonstrando que doses muito elevadas podem trazer efeito negativo na produtividade, visto que o possível excesso de alguns nutrientes presentes no biocarvão pode causar um desbalanço nutricional prejudicial a produção.

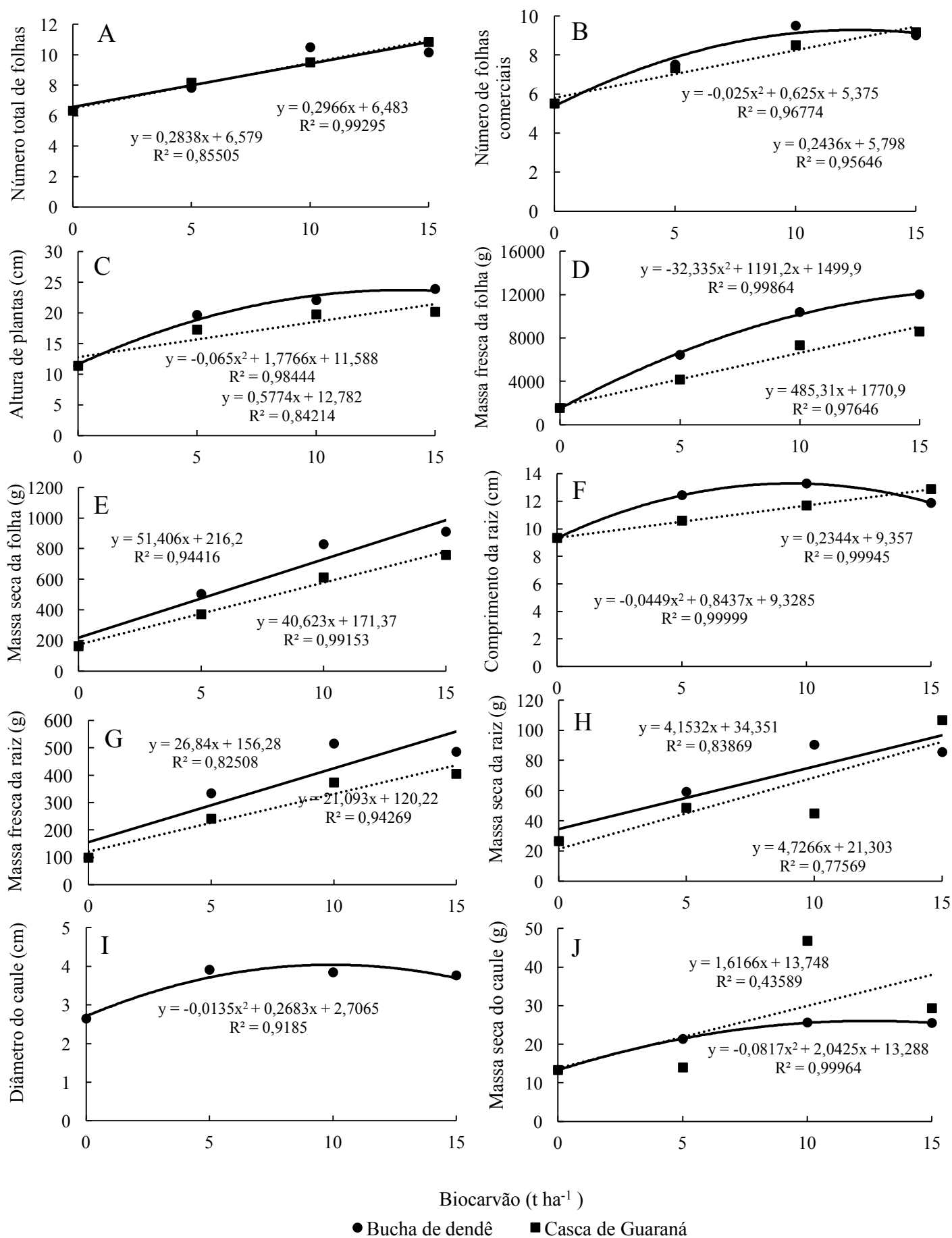


Figura 4. Número total de folhas (A), número de folhas comerciais (B), altura de plantas (C), massa fresca da folha (D), massa seca da folha (E), comprimento de raiz (F), massa fresca da raiz (G), massa seca da raiz (H), diâmetro do caule (I) e massa seca do caule (J) de rúcula aos 35 dias após o transplante das mudas em vasos com solo e biocarvões de bucha de dendê e casca de guaraná em diferentes doses

Tabela 5. Número total de folhas comerciais e não comerciais, altura de planta e massa fresca e seca da folha de rúcula aso 35 dias após o transplântio das em vasos com colo e biocarvões de bucha de dendê e casca de guaraná em diferentes doses

Dose de biocarvão (t ha ⁻¹)	N° de folhas não comerciais		N° folhas comerciais		N° total de folhas		Altura de planta (cm)		Massa fresca da folha (g)		Massa seca da folha (g)	
	Bucha de dendê	Casca de guaraná	Bucha de dendê	Casca de guaraná	Bucha de dendê	Casca de guaraná	Bucha de dendê	Casca de guaraná	Bucha de dendê	Casca de guaraná	Bucha de dendê	Casca de guaraná
0	0,83 Aa	0,83 Aa	5,50 Ca	5,50 Ba	6,33 Ba	6,33 Ca	11,32 Ba	11,32 Ba	1566,83 Ca	1566,83 Ba	162,50 Ca	162,50 Ba
5	0,33 Aa	0,83 Aa	7,50 Ba	7,33 Aa	7,83 Ba	8,17 Ba	19,65 Aa	17,28 Aa	6448,00 Ba	4161,00 Ba	504,17 Ba	370,50 Ba
10	1,00 Aa	1,00 Aa	9,50 Aa	8,50 Aa	10,50 Aa	9,50 Aa	22,05 Aa	19,72 Aa	10377,67 Aa	7308,83 Aa	829,17 Aa	612,17 Aa
15	1,17 Aa	1,67 Aa	9,00 Aa	9,17 Aa	10,17 Aa	10,83 Aa	23,88 Aa	20,13 Ab	12025,83 Aa	8606,00 Aa	910,83 Aa	759,00 Aa

*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste de Scott-Knott. Letras maiúsculas definem o efeito das doses dentro de cada biocarvão. Letras minúsculas definem o efeito de cada biocarvão dentro de cada dose.

Tabela 6. Comprimento, massa fresca e seca da raiz, diâmetro do caule e massa fresca e seca do caule de rúcula aso 35 dias após o transplântio das em vasos com colo e biocarvões de bucha de dendê e casca de guaraná em diferentes doses

Dose de biocarvão (t ha ⁻¹)	Comprimento raiz (cm)		Massa fresca da raiz (g)		Massa seca da raiz (g)		Diâmetro do caule (cm)		Massa fresca do caule (g)		Massa seca do caule (g)	
	Bucha de dendê	Casca de guaraná	Bucha de dendê	Casca de guaraná	Bucha de dendê	Casca de guaraná	Bucha de dendê	Casca de guaraná	Bucha de dendê	Casca de guaraná	Bucha de dendê	Casca de guaraná
0	9,33 Ba	9,33 Aa	97,50 Ba	97,50 Ba	26,67 Aa	26,67 Ba	2,65 Ba	2,65 Aa	149,67 Aa	149,67 Aa	13,33 Aa	13,33 Ca
5	12,42 Aa	10,58 Aa	333,33 Aa	239,33 Ba	59,33 Aa	48,67 Ba	3,91 Aa	2,25 Ab	185,00 Aa	112,67 Aa	21,33 Aa	14,00 Ca
10	13,28 Aa	11,68 Aa	515,33 Aa	372,00 Aa	90,50 Aa	45,00 Ba	3,84 Aa	2,97 Aa	243,83 Aa	284,00 Aa	25,67 Ab	46,83 Aa
15	11,88 Aa	12,87 Aa	484,17 Aa	404,83 Aa	85,50 Aa	106,67 Aa	3,93 Aa	3,42 Aa	241,83 Aa	187,33 Aa	25,50 Aa	29,33 Ba

*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste de Scott-Knott. Letras maiúsculas definem o efeito das doses dentro de cada biocarvão. Letras minúsculas definem o efeito de cada biocarvão dentro de cada dose.

Entre os dois biocarvões não houve diferença significativa nas duas maiores doses, indicando que ambos essas doses possuem efeito semelhante no número total de folhas e de folhas comerciais (Tabela 5). O biocarvão, quando adicionado ao solo, pode aumentar a capacidade de retenção de água devido à sua elevada área superficial específica, e por conseguinte, sua alta porosidade, atuando como agentes cimentantes, formando agregados onde podem ocorrer maior retenção de água (STREUBEL et al., 2011; IBRAHIM et al., 2013; LIMA et al., 2018). Visto que a quantidade de água disponível se relaciona com a emissão de novas folhas para várias espécies vegetais (HERMES et al., 2001), incluindo hortaliças como a rúcula, o maior número total de folhas, pode estar também relacionado com a possível capacidade de maior retenção hídrica nos tratamentos com biocarvão, além da sua capacidade em fornecer maiores quantidades de nutrientes as plantas.

A altura das plantas apresentou um aumento linear (casca de guaraná) em função do aumento das doses de biocarvão (Figura 4). O mesmo aconteceu com a massa fresca e seca da folha onde o controle apresentou os menores valores seguido de crescente aumento até a maior dose (casca de guaraná). Visto que o produto consumido da rúcula é a folhagem fresca, é possível inferir que o biocarvão de bucha de dendê e casca de guaraná aumentaram a produtividade em até 667,53 e 449,26%, respectivamente, baseado na massa fresca da folha (Figura 4D).

Os resultados de incrementos gerais em biomassa (altura de plantas, massa fresca e seca da folha), em ambos os biocarvões testados, podem estar relacionados ao fato dos biocarvões contribuir para maior absorção de nutrientes disponíveis no substrato usado (BOHARA et al., 2019). Assim, aliado à sua capacidade de provocar aumento do pH, da CTC e da retenção de água (SCOTTI et al., 2015), pode ter influenciado positivamente no acúmulo de biomassa das plantas de rúcula. Em seus estudos, Tavares et al. (2020), ao avaliar o uso de biocarvão em diferentes dosagens em mistura com solo, constataram que a dose de 2% aumentou de forma significativa o diâmetro médio e comprimento das raízes de cenoura, cultivadas em vasos em casa de vegetação. Contudo a massa fresca da folha não foi afetada, assim como constatado por Petter et al. (2012), que também não observaram aumento da massa fresca da parte aérea em seu trabalho com adição de biocarvão em produção de mudas de eucalipto.

A produtividade de hortaliças folhosas se relaciona diretamente com a disponibilidade de nutrientes e principalmente de água disponível no solo em todo seu ciclo produtivo (HERMES et al., 2001). Os biocarvões são ricos em nutrientes, principalmente nitrogênio que são essenciais para produção de folhagens (CAVALCANTE et al., 2012). Além disso, possuem capacidade de maior retenção de água no solo, o que explica a maior produção de folhagens de rúcula no trabalho. Isso foi relatado por Tenório (2017), onde demonstraram em seus estudos

melhoria nas propriedades químicas do solo, como CTC, pH e teor de alguns macronutrientes, mediante a aplicação de carvão pirogênico em diferentes quantidades. Mendonça (2017) também encontraram resultados positivos para retenção de água, tamanho da raiz e peso fresco da parte aérea e raiz de plantas de cenoura tratadas com carvão vegetal.

O comprimento de raiz, para ambos os biocarvões, apresentou diferença significativa em função das doses, assim como a massa fresca e seca da raiz que teve um aumento linear em função do aumento das doses (Figura 4F, G e H), com as duas maiores doses apresentando médias superiores, para massa fresca e, apenas a maior dose diferindo das demais, para massa seca (Tabela 5). Para o biocarvão de bucha de dendê o comprimento da raiz, o aumento foi crescente até a dose de 10 t ha⁻¹, seguido de um decréscimo na dose de 15 t ha⁻¹ (Figura 4), resultado também encontrado para o número de folhas comerciais. Doses maiores que 10 t ha⁻¹ pode causar efeitos negativos no desenvolvimento e produção de rúcula, resultado também encontrado por Santos et al. (2020), onde constataram decréscimo na densidade radicular de rúcula à medida que se aumentou as doses de biocarvão. Entre os dois biocarvões não houve diferença significativa em nenhuma das doses, indicando que ambos em ambas doses possuem efeito semelhante no comprimento, massa fresca e seca da raiz.

Tavares et al. (2020) também observaram diferenças nos parâmetros de raiz, onde o uso de biocarvão e adubação convencional foram superiores no comprimento da raiz de cenoura. De forma semelhante, Cavalcante et al. (2012) verificaram que a dose de biocarvão de 50% aumentou significativamente o desenvolvimento de raízes de maracujazeiro, atribuindo esse incremento a composição química do carvão fino, comparado a outros substratos usados para produção de mudas, concluindo que o biocarvão possui em sua composição valores de nitrogênio e potássio superiores.

Santos et al. (2020) constataram um decréscimo na densidade radicular de rúcula à medida que se aumentou as doses de biocarvão de lenha de poda de cajueiro, tendo a dose de 3,5 t ha⁻¹ que apresentou a maior média (5,3 g cm⁻³). Semelhantemente, Silva et al. (2019) também observaram decréscimo na massa fresca da raiz de acordo com aumento das doses de biocarvão como condicionador de substratos para a produção de mudas de alface.

A massa fresca do caule não foi influenciada pelas diferentes doses de ambos os biocarvões, assim como diâmetro do caule e massa seca do caule para o biocarvão de casca de guaraná e bucha de dendê, respectivamente (Tabela 5). Entre os dois biocarvões, também não foi observada diferença nas doses usadas, exceto para diâmetro do caule, onde o biocarvão de bucha de dendê a dose de 5 t ha⁻¹ apresentou média superior, e para massa seca do caule, no biocarvão de casca de guaraná, na dose de 10 t ha⁻¹ que também apresentou média superior. Já entre as doses, para o diâmetro do caule, o controle (0 t ha⁻¹) de biocarvão de bucha de dendê

diferiu de todas as outras doses (5, 10 e 15 t ha⁻¹) e para massa seca do caule, as duas maiores doses apresentaram média superior no biocarvão de casca de guaraná (Tabela 6).

Foi observado incremento significativo na altura de plantas e em variáveis produtivas, como número de folhas e massa fresca da parte aérea. Esse ganho pode ser explicado pelo aumento de C orgânico total e do N total (Tabela 2) causado por maiores proporções do biocarvão (SCHULZ et al., 2013). Resultados semelhantes foram encontrados por Schulz et al. (2014) estudando o efeito do biocarvão no crescimento de plantas de rúcula em estufa, constatando que baixas doses de biocarvão não teve efeito significativo sobre o crescimento vegetal por causa da baixa disponibilidade de nutrientes. Corroborando também com os trabalho de nossa pesquisa, Crispim et al. (2020) verificaram um incremento no comprimento de raízes e na altura de mudas de rúcula à medida que se aumentou as doses de biocarvão, obtendo um valor máximo de 3,32 e 5,5 cm, respectivamente, na maior dose usada de 50% em mistura com areia.

De forma geral, os resultados da presente pesquisa corroboram com os encontrados na literatura, onde observa-se uma correlação positiva entre incremento nas variáveis observadas com o aumento nas doses de biocarvões usadas, com melhores resultados nas maiores doses (JAISWAL et al., 2015; SCHULZ et al., 2013; CAVALCANTE et al., 2012). Contudo, a quantidade ótima de biocarvão a ser usada pode variar com a cultura e com a composição de cada biocarvão.

4 CONCLUSÕES

Atualmente, é produzido um grande número de tipos distintos de biocarvões, reaproveitando muitos resíduos agrícolas que seriam descartados, sendo seu uso como corretivo de solo apenas uma de suas inúmeras aplicações ambientais. Os resultados do presente estudo, mostraram que o condicionamento do solo com biocarvões de bucha de dendê e casca de guaraná tem efeitos positivos no crescimento e desenvolvimento (aumento da produção de biomassa) das plantas de rúcula. Além disso, os biocarvões podem servir para aumentar a eficiência do uso do nitrogênio de plantas de alface.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, M. A. V.; BEZERRA NETO, F.; AMBRÓSIO, M. M. Q. GUIMARÃES, L. M. S.; SARAIVA, J. P. B.; SILVA, M. L. Atributos microbiológicos do solo e produtividade de rabanete influenciados pelo uso de espécies espontâneas. **Horticultura Brasileira**, v. 31, p. 587-594, 2013.

BJÖRKMAN, M.; KINGEN, I.; BIRCH, A. N. E.; BONES, A. M.; BRUCE, T. J. A.; JOHANSEN, T. J.; MEADOW, R.; MOLMANN, J.; SELJASEN, R.; SMART, L. E.; STEWART, D. Phytochemicals of Brassicaceae in plant protection and human health—Influences of climate, environment and agronomic practice. **Phytochemistry**, v. 72, n. 7, p. 538-556, 2011.

BOHARA, H.; DODLA, S.; WANG, J.J.; DARAPUNENI, M.; ACHARYA, B.S.; MAGDI, S.; PAVULURI, K. Influence of poultry litter and *biochar* on soil water dynamics and nutrient leaching from a very fine sandy loam soil. **Soil&Tillage Research**, v.189, n.1 p. 44-51, 2019.

CARDOSO JÚNIOR, C. D.; PIMENTA, A. S.; SOUZA, E. C.; PEREIRA, A. K. S.; DIAS JÚNIOR, A. F. Uso agrícola e florestal do biochar: estado da arte e futuras pesquisas **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. e55711225999, 2022.

CAVALCANTE, L.; HEBERT, I.; PETTER, F. A.; ALBANO, F. G.; SILVA, R. R.S.; SILVA JÚNIOR, G. B. Biochar no substrato para produção de mudas de maracujazeiro amarelo. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v. 111, n. 1, p. 41-47, 2012.

CHISTOU, A.; STYLIANOU, M.; GEORGIADOU, E. C.; GEDEON, S.; LEANNOU, A.; MICHAEL, C.; PAPANASTASIOU, P.; FOTOPOULOS, V.; FATTA-KASSINOS, D. Effects of biochar derived from the pyrolysis of either biosolids, manure or spent coffee grounds on the growth, physiology and quality attributes of field-grown lettuce plants. **Environmental Technology & Innovation**, v. 26, p. 102263, 2022.

CRISPIM, J. F.; LIMA, J. S. S.; SILVA, J. K. B.; SILVA, A. G. C.; FERNANDES, G. K. F.; BENTO, J. E. A. Aspecto nutricional do biocarvão na produção de mudas de rúculas em condições semiáridas. In: **Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215**. 2020. p. 12-17.

DEBIAGI, P. E. A.; GENTILE, G.; PELUCCHI, M.; FRASSOLDATI, A.; CUOCI, A.; FARAVELLI, T.; RANZI, E. Detailed kinetic mechanism of gas-phase reactions of volatiles released from biomass pyrolysis. **Biomass and Bioenergy**, v. 93, n. 1, p. 60-71, 2016.

DU, J.; ZHANG, Y.; QU, M.; YIN, Y.; FAN, K.; HU, B.; ZHANG, H.; WEI, M.; MA, C. Effects of biochar on the microbial activity and community structure during sewage sludge composting. **Bioresource Technology**, v. 272, n. 1, p. 171-179, 2019.

FERREIRA, D. F. **Estatística multivariada**. Lavras: Ed. Ufla, 2008. 662 p.

GRANGEIRO, L. C.; FREITAS, F. C. L.; NEGREIROS, M. Z.; MARROCOS, S. T. P.; LUCENA, R. R. M.; OLIVEIRA, R. A. Crescimento e acúmulo de nutrientes em coentro e rúcula. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 1, p. 11-16, 2011.

HE, L. L.; ZHONG, Z. K.; YANG, H. M. Effects on soil quality of biochar and straw amendment in conjunction with chemical fertilizers. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 16, p. 704-712, 2017.

HERMES, C. C.; MEDEIROS, S. L. P.; MANFRON, P. A.; CARON, B.; POMMER, S. F.; BIANCHI, C. Emissão de folhas de alface em função de soma térmica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Pelotas, v. 9, n. 2, p. 269-275, 2001.

IBRAHIM, H. M.; AL-WABEL, M. I.; USMAN, A. R. A.; AL-OMRAN, A. Effect of Conocarpus biochar application on the hydraulic properties of a sandy loam soil. **Soil Science**, Philadelphia, v. 178, n. 4, p. 165–173, 2013.

JAISWAL, A. K.; FRENKEL, O.; ELAD, Y.; LEW, B.; GRABER, E. R. Non-monotonic influence of biochar dose on bean seedling growth and susceptibility to *Rhizoctonia solani*: the “Shifted R max-Effect”. **Plant and soil**, v. 395, n. 1-2, p. 125-140, 2015.

JARDINA, L. L.; CORDEIRO, C. A. M.; SILVA, M. C. C.; SANCHES, A.; ARAÚJO JÚNIOR, P. V. Desempenho produtivo e qualidade de cultivares de rúcula em sistema semi-hidropônico. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 4, n. 1, p. 78-82, 2017.

JEFFERY, S.; VERHEIJEN, F. G. A.; VAN DER VELDE, M.; BASTOS, A. C. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 144, p. 175-187, 2011.

KOOKANA, R. S.; SARMAH, A. K.; ZWIETEN, L. V.; KRULL, E.; SINGH, B. Biochar application to soil: agronomic and environment benefits and unintended consequences. **Advances in Agronomy**, n. 112, p. 103-143, 2011.

LI, S.; CHEN, G. Thermogravimetric, thermochemical, and infrared spectral characterization of feedstocks and biochar derived at different pyrolysis temperatures. **Waste Management**, v. 78, n. 1, p. 198-207, 2018.

LIMA, J. R. S.; SILVA, W. M.; MEDEIROS, E. V.; DUDA, G. P.; CORREA, M. M.; FILHO MARTINS, A. P.; CLERMONT-DAUPHIN, C.; ANTONINO, A. C. D.; HAMMECKER, C. Effect of biochar on physicochemical properties of a sandy soil and maize growth in a greenhouse experiment. **Geoderma**, Amsterdam, v. 319, n. 1, p. 14-23, 2018.

LIU, N.; ZHOU, J.; HAN, L.; MA, S.; SUN, X.; HUANG, G. Role and multi-scale characterization of bamboo biochar during poultry manure aerobic composting. **Bioresource Technology**, v. 241, n. 1, p. 190-199, 2017.

MENDONÇA, A. R. **Crescimento de cenoura em solo com diferentes combinações de doses e granulometrias de carvão vegetal** (Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Mestrado em Ciência do Solo). Jaboticabal, SP, 2017.

MOREIRA NETO, A.; SANTOS, C. G. dos; SANTOS, A. B.; SILVA, J. C. S.; REIS, L. S. Cultivo de rúcula sob irrigação com água salina. **Revista Verde**, v.16, n.4, p.421-426, 2021.

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, A. M. **Guia de interpretações de análise de solo e foliar**, 2013. 106 p.

PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; MARIMON, B. J.; GONÇAVES, L. G.; SCHOSSLER, T. R. Biochar como condicionador de substrato para a produção de mudas de eucalipto. **Revista Caatinga**, p. 25, 2012.

PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; SILVA, M. A. S.; CARNEIRO, M. A. C.; CARVALHO, M. T. M.; MARIMON JÚNIOR, B. H.; PACHECO, L. P. Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 5, p. 699-706, 2012.

RANGABHASHIYAM, S.; BALASUBRAMANIAN, P. The potential of lignocellulosic biomass precursors for biochar production: Performance, mechanism and wastewater application-A review. **Industrial Crops & products**, v. 128, n. 1, p. 405-423, 2018.

SANTOS, A. Y. O.; SILVA JÚNIOR, D. N.; FREIRE, M. M.; EMERENCIANO NETO, J. V.; 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.

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.

SCHULZ, H.; DUNST, G.; GLASER, B. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, n. 4, p. 817-827, 2013.

SCOTTI, R.; BONANOMI, G.; SCELZA, R.; ZOINA, A.; RAO, M.A. Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agricultural systems. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 15, n.2, p.333-352, 2015.

SILVA, L. F. V.; MELO, E. I.; GONÇALVES, P. A. S. Biochar de serragem de eucalipto como condicionador de substratos para produção de mudas de alface. **Revista Agri-Environmental Sciences**, v. 5, p. e019005, 2019.

SILVA, M. L.; BEZERRA NETO, F.; LINHARES, P. C. F.; SÁ, J. R.; LIMA, J. S. S.; BARROS JÚNIOR, A. P. Produção de beterraba fertilizada com jitrana em diferentes doses e tempos de incorporação ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 801-809, 2011.

SOBRAL, L. F.; BARRETO, M. D. V.; Da SILVA, A. J.; DOS ANJOS, J. L. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos**, 2015. 15 p.

STREUBEL, J. D.; COLLINS, H. P.; GARCIA-PEREZ, M.; TARARA, J.; GRANATSTEIN, D.; KRUGER, C. E. Influence of contrasting biochar types on five soils at increasing rates of application. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 75, n. 4, p. 1402–1413, 2011.

TAVARES, Q. G.; DE OLIVEIRA ABRANCHES, M.; RIBEIRO, C. H. M.; DA SILVA, G. A. M.; DE PAULA, L. B. Uso do biochar como alternativa na melhoria da qualidade de substrato para o cultivo de cenoura. **Revista Científica Rural**, v. 23, n. 2, p. 103-109, 2020.

TENÓRIO, F. A. **Cultivo de feijão-comum sob aplicação de biocarvão do endocarpo Ouricuri (*Syagrus coronata* (Mart.) Becc.): atributos químicos e biológicos do solo** (Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Alagoas, Mestrado em Produção Vegetal). Rio Largo, 2017.

UNIFESP. Universidade Federal de São Paulo. Disponível em: <<https://tabnut.dis.epm.br/alimento/11959/rucula-crua>> Acesso em 24 jan. 2024.

ZAFEIRIOU, L.; GASPARATOS, D.; LOANNOU, D.; KALDERIS, D.; MASSAS, L. Selenium Biofortification of Lettuce Plants (*Lactuca sativa* L.) as Affected by Se Species, Se Rate, and a Biochar Co-Application in a Calcareous Soil. **Agronomy**, v. 12, n. 1, 131, 2022.

CAPÍTULO 2

BIOCARVÃO DE CASCA DE GUARANÁ E BUCHA DE DENDÊ NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DO ALFACE (*Lactuca sativa* L.)

BIOCARVÃO DE CASCA DE GUARANÁ E BUCHA DE DENDÊ NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DO ALFACE (*Lactuca sativa* L.)

Resumo: A alface é a hortaliça folhosa mais produzida e consumida no Brasil e no mundo. Contudo, sua produção é dependente de altos níveis de adubação, emergindo a necessidade de busca por alternativas econômica e ecologicamente sustentáveis que supram suas necessidades nutricionais. Os biocarvões constituem uma alternativa viável para produção de hortaliças, sendo rico em nutrientes e matéria orgânica. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho agronômico da alface, cultivada em solo com biocarvões de bucha de dendê e casca de guaraná, em diferentes doses. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 (tipos de biocarvões) x 5 (diferentes doses). Os biocarvões usados foram de bucha de dendê e casca de guaraná em quatro diferentes doses, 0, 5, 10, 15 e 20 t ha⁻¹. Mudanças de alface foram transplantadas para vasos de 3,8 L com solo + as diferentes doses de biocarvão. Após 35 dias após o transplante foi avaliado o número total de folhas, número de folhas comerciais e não comerciais, altura de planta, massa fresca e seca da folha, massa fresca e seca da raiz, diâmetro do caule e massa fresca e seca do caule. O solo com adição de biocarvão aumentou o pH e matéria orgânica e diminuiu o alumínio, além de ter aumentado também os níveis de fósforo, potássio, cálcio e magnésio. A produtividade da alface, baseado na massa fresca da parte aérea, teve incremento de até 141,97 e 178,35% para o biocarvão de bucha de dendê e casca de guaraná, respectivamente. O biocarvão de bucha de dendê possui melhor efeito no desenvolvimento vegetal e produtividade de alface, comparado ao biocarvão de casca de guaraná, com melhor desempenho agronômico na maior dose de 20 t ha⁻¹. Nessa mesma dose, o biocarvão de casca de guaraná apresentou efeito negativo no desenvolvimento vegetal e produtividade da alface, diminuindo altura, massa fresca e seca da parte aérea e também a massa fresca do caule. Os biocarvões consistem em uma alternativa sustentável para o cultivo de alface, conseguindo suprir parte das necessidades nutricionais da cultura, promovendo seu melhor desenvolvimento e aumento da produtividade.

Palavras-chave: biochar, resíduos orgânicos, substrato alternativo, carvão vegetal.

BIOCARBON FROM GUARANÁ PEEL AND PALM BEAM ON THE AGRONOMIC PERFORMANCE OF LETTUCE (*Lactuca sativa* L.)

Abstract: Lettuce is the most produced and consumed leafy vegetable in the world and in Brazil. However, its production is dependent on high levels of fertilizer, resulting in the need to search for economically and ecologically viable alternatives that meet its nutritional needs. Biochars constitute a cheap and viable alternative for vegetable production, being rich in nutrients and organic matter. Therefore, the objective of the work was to evaluate the agronomic performance of lettuce, grown in soil with palm bush and guarana bark biochars, at different doses. The experiment was conducted in a completely randomized design, in a 2 (types of biochar) x 5 (different doses) factorial scheme. The biochars used were palm bushing and guarana bark in four different doses, 0, 5, 10, 15 and 20 t ha⁻¹. Lettuce seedlings were transplanted into 3.8 L pots with soil + different doses of biochar. After 35 days after transplanting, the total number of leaves, number of commercial and non-commercial leaves, plant height, fresh and dry leaf mass, fresh and dry root mass, stem diameter and fresh and dry stem mass were evaluated. Soils with the addition of biochar increased pH and organic matter and consequently decreased aluminum, as well as increased levels of phosphorus, potassium, calcium and magnesium. Lettuce productivity, based on the fresh mass of the aerial part, increased by up to 141.97 and 178.35% for biochar from palm bush and guarana bark, respectively. Palm bush biochar has a better effect on plant development and lettuce productivity, compared to guarana bark biochar, with better agronomic performance at the

highest dose of 20 t ha⁻¹. At the same dose, guarana peel biochar had a negative effect on plant development and lettuce productivity, reducing height, fresh and dry mass of the shoot and also the fresh mass of the stem. Biochars are a sustainable alternative for lettuce cultivation, managing to meet part of the crop's nutritional needs, promoting its better development and increased productivity.

Keywords: biochar, organic waste, alternative substrate, charcoal.

1 INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma herbácea anual, pertencente a família Asteraceae, tendo como centro de origem a Bacia Ocidental do Mediterrâneo. Rica em vitaminas e sais minerais, seu consumo se dá principalmente *in natura* em preparo de saladas, sendo, entre as hortaliças folhosas, a mais produzida e consumida no Brasil e no mundo. No Brasil, a produção de mais 1.317,6 toneladas distribui-se entre alface (43,7%), repolho (31,7%), couve (9,1%), agrião (7,6%), espinafre (3,1%), rúcula (2,0%) e outras (2,1%) (CARVALHO et al., 2005, SANTI et al., 2010; SALA; NASCIMENTO, 2014; CAMPOS & NEGÓCIOS, 2022).

No mercado, é grande a variedade de cultivares de alface, sendo as principais, crespa, americana, lisa, romana, mimosa e vermelha, diferenciando entre si de acordo com formato das folhas, do tamanho, arquitetura e coloração, tendo as variedades de folhas crespas e coloração verde-clara, as mais consumidas no Brasil (SALA; COSTA, 2012; EMBRAPA 2019). Sua produção é dependente de altos níveis de adubação e disponibilidade de água. Nesse sentido, a busca por alternativas, como uso de biochar como substrato, que possuem capacidade de fornecer nutrientes e aumentar a capacidade de retenção e absorção de água e nutrientes pelas plantas, vem sendo estudadas (LIU et al., 2017; DU et al., 2019; MAIA et al., 2021).

Biochar, também chamado de biocarvão, consiste na pirólise de qualquer fonte de matéria orgânica a partir da decomposição térmica na ausência ou mínima presença de oxigênio atmosférico em altas temperaturas (ZHANG et al., 2018). São materiais ricos em carbono e nutrientes, como potássio, cálcio, fósforo e sódio, possuindo alta capacidade de troca catiônica e de diminuir o pH do solo aumentando assim sua porosidade, sua condutividade elétrica e a sua atividade microbiana (PETTER; MADARI, 2012; BAIAMONTE et al., 2015). Nesse sentido, os biocarvões, além de reduzirem custos com adubação, promovem também o aumento significativo da raiz, potencializando o desenvolvimento das plantas e aumento da produtividade (LIMA et al., 2016).

Diante disso, o aproveitamento de resíduos orgânicos para produção agrícola, principalmente em escalas menores, como as hortaliças, consiste em uma alternativa para diminuir os custos e os impactos ambientais negativos gerado pelo descarte de resíduos (ARAÚJO et al., 2017). Estudos relatam que a adição de biocarvão ao solo aumenta a

condutividade hidráulica e o fornecimento de água para a planta, bem como o aumento nas concentrações de carbono e nitrogênio (FERNÁNDEZ-UGALDE et al., 2017; GAO et al., 2017; LIN et al., 2017; ZHANG et al., 2017; ZHOU et al., 2017; RAMLOW et al., 2018; ZHANG et al., 2019; MAIA et al., 2021). Além disso, estudos já mostraram a capacidade do biocarvão em promover o desenvolvimento vegetativo e aumento produtivo de várias hortaliças, como cenoura (TAVARES et al., 2020; MENDONÇA, 2017), rúcula (SANTOS et al., 2020; CRISPIM et al., 2020) e alface (SILVA et al., 2019).

O fator dominante para a melhoria no desenvolvimento das plantas e o aumento na fertilidade do solo após a aplicação do biocarvão ainda precisam ser mais estudados com base nos diferentes tipos de matéria prima utilizada na produção do biocarvão e a dosagem a ser aplicada (WANG; WANG, 2019). Aliado a isso, no Baixo Sul da Bahia ocorre um descarte inadequado do cacho vazio de dendê e casca de guaraná, contaminando o ambiente, principalmente os manguezais. Poucas são as pesquisas para o reaproveitamento com esses resíduos como biocarvão na agricultura local, restritas apenas para a produção de mudas de espécies perenes em viveiro, como cacau, cupuaçu, cravo e cedro. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do uso de biocarvão de casca de guaraná e bucha dendê na composição de substratos para o cultivo de alface.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi conduzido nas instalações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus* Valença, 13° 22'26.05"S e 39°5'0.05". O clima da região é caracterizado como quente e úmido sem estação seca definida (tipo Af), conforme a classificação de Koppen. O solo utilizado foi um latossolo amarelo de onde foram coletadas amostras da camada de 0 -20 cm de profundidade, homogeneizado e enviados para análise no Laboratório de Análise Agronômica, Ambiental e Consultoria LTDA. Os resultados das características químicas estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos físicos e químicos do solo usado no experimento

Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	pH H ₂ O	pH SMP	M.O.
-----cmol _c dm ⁻³ -----									dag kg ⁻¹
2,00	0,70	0,40	1,70	2,81	3,21	4,00	5,10	6,85	3,24
Sat. Ca - CTC (T)		Sat. Mg - CTC (T)		Sat. K - CTC (T)		Sat. Al (m)		V	ISNa
-----%-----									
44,00		16,00		2,00		12,00		70,25	0,80
P	K	S	Fe	Zn	Cu	Mn	B	Na	
-----mg dm ⁻³ -----									
6,00	42,00	4,00	352,80	3,90	0,40	9,70	0,20	8,00	

Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al: Alumínio; SB: Soma de Bases; t: CTC efetiva; T: CTC a pH 7,0; M.O.: Matéria Orgânica; V: Saturação de Bases; ISNa: Índice de Saturação de Sódio; P: Fósforo Mehlich; K: Potássio; S: Enxofre; Fe: Ferro; Zn: Zinco; Cu: Cobre; Mn: Manganês; B: Boro; Na: Sódio.

2.2 PRODUÇÃO DO BIOCARVÃO

A produção do biocarvão foi feita a partir da casca de guaraná e da bucha de dendê (cacho vazio após a colheita do fruto), mantidas por 55 e 45 minutos respectivamente, tempo suficiente para o material chegar a carbonização, formando cinzas, à temperatura aproximada de 500 °C, em um forno adaptado a um modelo desenvolvido pela IBI (Iniciativa Internacional de Biocarvão), composto por uma câmara de combustão em formato de cilindro (forno de queima) de nove orifícios (25 mm), com diâmetro de 56 cm e altura 68 cm, e um reator cujo peso é de 13,615 kg (Figura 1). Inicialmente os resíduos agroindustriais foram secados a temperatura ambiente (Figura 1.1 e 1.2), pesados e colocados dentro do reator, em seguida o reator com o resíduo foi levado a câmara de combustão para o processo de pirólise.



Figura 1. Processo de combustão dos materiais vegetais de dendê e guaraná. 1: Bucha de dendê; 2: casca de guaraná; 3: câmara de combustão (artesanal); 4: reator artesanal; 5: queima de material. Fonte: Matias Junior (2021)

Para condução do experimento, foram processados 1,300 e 0,915 kg de casca de guaraná e bucha de dendê, resultando em rendimento de 73,46% (0,955 kg) e 55,19% (0,505 kg) de biocarvão, respectivamente (Figura 2). Após a pirólise dos resíduos, os biocarvões produzidos foram caracterizados para matéria volátil, cinzas, carbono fixo, umidade, pH, teores totais de N, P, K, Ca, Mg, S (Tabela 2). Todas as análises foram realizadas com três repetições e reagentes de grau analítico. O biocarvão foi incorporado ao solo trinta dias antes do transplante das mudas e montagem do experimento, com intuito de ser absorvido pelo solo.

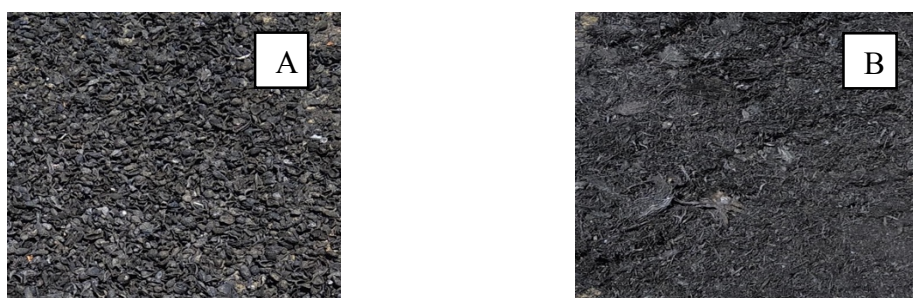


Figura 2. Produto do material vegetal após a pirólise (biocarvão), sendo biocarvão de guaraná (A) e biocarvão de dendê (B)

Tabela 2. Características químicas do biocarvão de bucha de dendê e casca de guaraná usado no experimento

Biocarvão de bucha de dendê								
N	P	K	Ca	Mg	C	C/N	CTC	pH
----- (g kg ⁻¹) -----							-	
14,50	3,54	73,50	19,65	9,50	318,21	22,00	103,67	9,80
B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	M.O.	Umidade	
----- (mg kg ⁻¹) -----						-- g kg ⁻¹ --	----- % -----	
32,30	75,00	11310,00	281,00	177,00	1020,00	548,60	10,20	
Biocarvão de casca de guaraná								
N	P	K	Ca	Mg	C	C/N	CTC	pH
----- (g kg ⁻¹) -----							-	
21,75	3,63	57,00	18,95	10,30	369,23	17,00	87,01	9,60
B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	M.O.	Umidade	
----- (mg kg ⁻¹) -----						-- g kg ⁻¹ --	----- % -----	
87,40	47,00	10370,00	126,00	72,00	760,00	636,54	23,60	

N: nitrogênio; P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; C: carbono; C/N: relação carbono e nitrogênio; CTC: capacidade de troca catiônica; B: Boro; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; Zn: zinco; Na: sódio; M.O.: Matéria Orgânica.

2.3 ENSAIO EM VASOS

As sementes de alface foram semeadas em bandejas de polietileno de 288 células com substrato comercial e as bandejas foram mantidas em telado, onde permaneceram por 21 dias, para germinação e desenvolvimento das mudas em períodos diferentes. Após o período de 21 dias, foram transplantadas para vasos com capacidade de 3,8 L preenchidos com solo peneirado, e adubadas com diferentes doses de biocarvões. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 (tipos de biocarvões) x 5 (doses dos biocarvões) e seis repetições (Figura 3). Os biocarvões usados foram bucha de dendê e casca de guaraná nas dosagens de 0 g vaso⁻¹, 9,5 g vaso⁻¹, 19 g vaso⁻¹, 28,5 g vaso⁻¹ 38 g vaso⁻¹, correspondente ao respectivo de 0, 5, 10, 15 e 20 t ha⁻¹. Os vasos foram mantidos em telado durante 35 dias, irrigados manual e diariamente.



Figura 3. Disposição dos tratamentos da alface com diferentes doses de biocarvão

As avaliações foram feitas 35 dias após o transplântio, avaliando o número total de folhas (NTF), número de folhas comerciais (NFC) e não comerciais (NFNC), altura de planta (AP), massa fresca da folha (MFF), massa fresca da raiz (MFR), diâmetro do caule (DC), obtido com uso de paquímetro digital logo abaixo das primeiras folhas, e massa fresca do caule (MFC). Posteriormente, as plantas foram submetidas a pré-secagem e levadas à estufa com circulação de ar na temperatura de 65 ° C por 72 h para obtenção da massa seca da folha (MSF), massa seca da raiz (MSR) e massa seca do caule (MSC).

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos a análise de variância, e quando detectado diferença, foram realizados teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para comparação das médias e feito análise de regressão polinomial. O programa usado para a análise dos dados foi o Sistema para Análise de Variância (SISVAR) (FERREIRA, 2008).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 RESPOSTA DA ANÁLISE DE SOLO AOS DIFERENTES BIOCARVÕES

Houve mudança significativa na composição química do solo sofreu interferência significativa de acordo com as diferentes doses de biocarvão de bucha de dendê. O biocarvão influenciou positivamente em todos os parâmetros químicos do solo, com as maiores doses (15 e 20 t ha⁻¹), apresentando os melhores resultados, exceto para CTC a pH 7, saturação de cálcio na CTC e saturação de bases (V%), que não diferiu entre as doses do biocarvão (Tabela 3).

Tabela 3. Média dos valores dos componentes químicos da análise de solo para as diferentes doses de biocarvão de bucha de dendê, após condução do experimento

Bucha de dendê								
Parâmetro analisado	Un.	Controle	5	10	15	20	Média geral	CV (%)
		Médias (t ha ⁻¹)						
Fósforo extraível		8,33 b	6,67 b	6,67 b	7,00 b	11,33 _a	8,00	20,41
Potássio	mg dm ⁻³	24,33 b	34,00 b	55,33 b	87,67 a	115,33 _a	63,33	27,78
Sódio		10,67 b	13,00 b	15,00 b	17,67 a	18,67 _a	15,00	12,65
Cálcio		1,97 b	2,17 b	2,23 b	2,53 a	2,17 b	2,21	5,95
Magnésio		0,57 c	0,67 b	0,73 a	0,80 a	0,87 a	0,73	7,11
Alumínio		0,40 a	0,27 b	0,17 b	0,00 c	0,00 c	0,17	34,64
H+Al	cmol _c dm ⁻³	5,80 a	5,40 a	4,90 b	4,70 b	4,50 b	5,06	6,25
Soma de bases (SB)		2,57 c	2,90 b	3,10 a	3,57 a	3,33 a	3,09	5,60
CTC efetiva (t)		3,00 b	3,00 b	3,00 b	3,67 a	3,00 b	3,13	8,24
CTC a pH 7 (T)		8,37 a	8,37 a	8,07 a	8,33 a	7,93 a	8,21	2,59
pH em H ₂ O		5,17 c	5,37 b	5,53 b	5,87 a	5,97 a	5,58	1,91
pH SMP		5,70 b	5,77 b	5,85 a	5,90 a	5,93 a	5,83	1,06
Relação Ca/Mg	-	3,43 a	3,24 a	3,02 a	3,25 a	2,44 b	3,07	6,90
Relação Ca/K		31,42 a	25,20 a	16,94 b	11,44 b	7,61 b	18,52	20,88
Relação Mg/K		9,14 a	7,77 a	5,61 b	3,51 c	3,10 c	5,83	19,25
Sat. Ca na CTC (T)		23,04 a	25,83 a	27,37 a	30,66 a	27,11 _a	26,80	7,78
Sat. Mg na CTC (T)		6,73 d	7,98 c	9,07 b	9,45 b	11,14 _a	8,87	6,16
Sat. K na CTC (T)	%	0,75 c	1,04 c	1,75 c	2,70 b	3,73 a	1,99	28,05
Índice saturação sódio (ISNa)		0,57 b	0,67 b	0,80 a	0,93 a	1,03 a	0,80	14,07
Sat. alumínio (m)		13,33 a	8,33 b	5,00 c	0,00 d	0,00 d	5,33	34,23
Sat. de bases (V)		30,67 a	35,00 a	38,00 a	42,67 a	42,00 _a	37,67	5,60

*Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os resultados da análise química do solo na presença do biocarvão de bucha de dendê foram interpretados baseado em Sobral et al. (2015) e Prezotti e Guarçoni (2013). A acidez ativa (pH em H₂O) do solo apresentou nível médio (5,0 - 5,9) para todas as doses, com as duas maiores doses (15 e 20 t ha⁻¹), apresentando resultados superiores as demais, o que também ocorreu para H⁺Al. Apesar disso, o pH foi considerado baixo para cultivo da alface, visto que a faixa ideal é de 6,5 a 8,0. Além disso, o nível de pH do solo está altamente relacionado aos níveis de alumínio tóxico (Al³⁺), sendo inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior o nível de pH, menor será os níveis de Al³⁺, resultado este observado, onde o nível de Al³⁺ foi estatisticamente superior nos tratamentos onde foi usado o biocarvão, com o controle diferindo das demais doses, apresentando os maiores valores. Assim, é possível afirmar que, apesar do biocarvão de bucha de dendê por si só não suprir os níveis de pH ideal para o cultivo de alface, consegue reduzir o Al³⁺ no solo, deixando em níveis classificado como baixo (<0,3).

A saturação de bases (V%) não diferiu entre as doses apresentando média geral (37,67%) considerada baixa (<50%), indicando a necessidade de calagem para sua elevação, visto que o recomendado para o cultivo da alface é entre 72 e 80%. Já a saturação por alumínio (m), apesar de todos os tratamentos apresentarem níveis baixo (<50%), o controle apresentou os maiores níveis (13,33%), diferindo de todas as demais doses, indicando assim que o uso do biocarvão de bucha de dendê reduz os níveis de alumínio no solo, o que é um parâmetro desejável para produção. Já para soma de bases (SB) apresentou resultados superiores nas três maiores doses. Semelhantemente, a CTC efetiva (t) na dose de 15 t ha⁻¹ foi única que conseguiu diferir das demais. Já a CTC efetiva não apresentou diferença entre os tratamentos.

Para o teor de sódio (Na) e índice de saturação de sódio (ISNa) as duas maiores doses apresentaram médias superiores. Contudo, em ambos tratamentos, os níveis foram baixos, visto que um solo sódico apresenta ISNa superior a 15%. Assim, visto que o Na em altas concentrações pode causar efeito depressivo sobre a produtividade da cultura por dificultar a absorção de água e nutrientes (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013), no experimento isso não foi prejudicial.

Os teores de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e fósforo (P) diferiram entre os tratamentos. O K apresentou média superior nas duas maiores doses, o Ca apenas na dose de 15 t ha⁻¹, o Mg nas três maiores doses e o P na maior dose. De maneira geral, nas doses com médias superiores, o K, Ca e Mg apresentaram níveis médios (80 - 200 mg dm⁻³; 1,5 - 4,0 cmol_c dm⁻³ e 0,5 - 1,0 cmol_c dm⁻³, respectivamente) e o P foi considerado na faixa de teor adequada para o cultivo (>80 mg dm⁻³). Esses incrementos sugerem que o biocarvão de bucha de dendê pode ser uma fonte eficaz de nutrientes para o solo, influenciando positivamente no desenvolvimento das plantas.

Para biocarvão de casca de guaraná, também foi observado interferências significativas na composição química do solo de acordo com as diferentes doses de biocarvão. O biocarvão influenciou positivamente nos parâmetros químicos do solo, com a maior dose (20 t ha⁻¹) apresentando melhores resultados em níveis de potássio, cálcio, magnésio, soma de bases, relação Ca/K, relação Mg/K, saturação de Ca na CTC, saturação de K na CTC e saturação de alumínio (Tabela 4).

Tabela 4. Média dos valores dos componentes químicos da análise de solo para as diferentes doses de biocarvão de casca de guaraná, após condução do experimento

Casca de guaraná								
Parâmetro analisado	Un.	Controle	5	10	15	20	Média geral	CV (%)
		Médias (t ha ⁻¹)						
Fósforo extraível		8,33 a	7,00 a	7,33 a	7,67 a	7,33 a	7,57	22,73
Potássio	mg dm ⁻³	24,33 b	35,00 b	51,67 b	64,00 b	175,67 a	72,64	77,80
Sódio		10,67 a	14,50 a	15,33 a	16,33 a	19,33 a	15,29	17,60
Cálcio		1,97 b	2,10 b	2,20 b	2,53 a	2,30 a	2,23	5,46
Magnésio		0,57 b	0,60 b	0,67 a	0,73 a	0,73 a	0,66	8,19
Alumínio		0,40 a	0,20 b	0,07 b	0,00 b	0,13 b	0,16	57,44
H+Al	cmol _c dm ⁻³	5,80 a	5,20 a	5,23 a	4,67 a	5,33 a	5,25	8,80
Soma de bases (SB)		2,57 b	2,80 b	3,00 b	3,40 a	3,47 a	3,06	9,44
CTC efetiva (t)		3,00 a	3,00 a	3,00 a	3,33 a	3,33 a	3,15	12,25
CTC a pH 7 (T)		8,37 a	8,05 a	8,30 a	8,17 a	8,90 a	8,38	4,24
pH em H ₂ O		5,17 a	5,50 a	5,63 a	5,87 a	5,67 a	5,57	3,72
pH SMP		5,70 a	5,80 a	5,80 a	5,90 a	5,78 a	5,80	1,43
Relação Ca/Mg	-	3,43 a	3,35 a	3,26 a	3,38 a	3,17 a	3,32	3,98
Relação Ca/K		31,42 a	23,87 a	17,63 b	15,72 b	6,51 c	18,68	22,68
Relação Mg/K		9,14 a	7,15 a	5,38 b	4,64 b	2,05 c	5,57	21,64
Sat. Ca na CTC (T)		23,04 b	25,95 b	26,59 b	30,82 a	25,93 b	26,50	5,86
Sat. Mg na CTC (T)		6,73 a	7,74 a	8,18 a	9,12 a	8,19 a	8,01	8,31
Sat. K na CTC (T)		0,75 b	1,12 b	1,60 b	2,01 b	5,09 a	2,18	75,31
Índice saturação sódio (ISNa)	%	0,57 a	0,80 a	0,83 a	0,87 a	0,93 a	0,80	18,00
Sat. alumínio (m)		13,33 a	7,00 b	2,00 b	0,00 b	4,00 b	5,14	52,92
Sat. de bases (V)		30,67 a	34,50 a	36,33 a	42,00 a	39,33 a	36,71	9,46

*Médias seguida pela mesma letra na linha não difere estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os resultados da análise química do solo na presença do biocarvão de casca de guaraná foram interpretados baseado em Sobral et al. (2015) e Prezotti e Guarçoni (2013). A acidez ativa (pH em H₂O) do solo apresentou nível médio (5,0 - 5,9) para todas as doses, não observado diferindo entre as doses, o que também ocorreu para H+Al. Apesar disso, o pH foi considerado

baixo para cultivo da alface, visto que a faixa ideal é de 6,5 a 8,0. Além disso, o nível de pH do solo está altamente relacionado aos níveis de alumínio tóxico (Al^{3+}), sendo inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior o nível de pH, menor será os níveis de Al^{3+} , resultado este observado, onde o nível de Al^{3+} foi estatisticamente superior nos tratamentos onde foi usado o biocarvão, com o controle diferindo das demais doses, apresentando os maiores valores. Assim, é possível afirmar que, apesar do biocarvão de casca de guaraná por si só não suprirem os níveis de pH ideal para o cultivo de alface, conseguiu reduzir o Al^{3+} no solo, deixando em níveis classificado como baixo ($<0,3$).

A saturação de bases (V%) não diferiu entre as doses apresentando média geral (36,71%) considerada baixa ($<50\%$), indicando a necessidade de calagem para sua elevação, visto que o recomendado para o cultivo da alface é entre 72 e 80%. Já a saturação por alumínio (m), apesar de todos os tratamentos apresentarem níveis baixo ($<50\%$), o controle apresentou os maiores níveis (13,33%), diferindo de todas as demais doses, indicando assim que o uso do biocarvão de casca de guaraná reduz os níveis de alumínio no solo, o que é um parâmetro desejável para produção. Já para soma de bases (SB), apenas as duas maiores doses conseguiram diferir das demais, enquanto que para CTC efetiva (t) não foi observado diferença entre as doses.

Para o teor de sódio (Na) e índice de saturação de sódio (ISNa), não foi observado diferença entre as doses, com níveis considerados baixos, visto que um solo sódico apresenta ISNa superior a 15%. Assim, visto que o Na em altas concentrações pode causar efeito depressivo sobre a produtividade da cultura por dificultar a absorção de água e nutrientes (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013), no experimento isso não foi prejudicial.

Os teores de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) diferiram entre os tratamentos. O K apresentou média superior na maior dose, o Ca nas duas maiores doses e o Mg nas três maiores doses, enquanto que o P não diferiu entre as doses. De maneira geral, nas doses com médias superiores, para ambos os biocarvões, o K, Ca e Mg apresentaram níveis médios ($80 - 200 \text{ mg dm}^{-3}$; $1,5 - 4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $0,5 - 1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente) e o P foi considerado na faixa de teor adequada para o cultivo ($>80 \text{ mg dm}^{-3}$). Esses incrementos sugerem que os biocarvões podem ser uma fonte eficaz de nutrientes para o solo, influenciando positivamente no desenvolvimento das plantas.

3.2 ALFACE CULTIVADA NOS DIFERENTES BIOCARVÕES

O número de folhas não comerciais não apresentou diferença significativa entre os dois biocarvões e as diferentes doses usadas (Tabela 5). Já o número total de folhas e o número de folhas comerciais, foram significativos apenas para o biocarvão de bucha de dendê, que

apresentou médias superiores nas três maiores doses, com incremento numérico de acordo com aumento das doses, até a dose de 15 t ha^{-1} , seguido de um decréscimo na maior dose (20 t ha^{-1}), representado por regressão polinomial negativa (Figura 4). De maneira semelhante, para a altura de planta e massa fresca da parte aérea, o biocarvão de bucha de dendê apresentou médias superiores nas três maiores doses ($10, 15$ e 20 t ha^{-1}), e na massa seca da parte aérea, apenas a maior dose (20 t ha^{-1}), enquanto que para o biocarvão de casca de guaraná a menor (0 t ha^{-1}) e maior dose (20 t ha^{-1}) apresentaram médias inferiores para os três parâmetros. Isso demonstra que, o biocarvão de bucha de dendê mesmo em doses maiores, consegue promover o aumento da produtividade (incremento de até $4,16$ folhas comerciais e $35,08 \text{ g}$ na massa fresca da parte aérea), enquanto que o biocarvão de casca de guaraná apresenta menor potencial nesse parâmetro produtivo, não apresentando incremento significativo em número de folhas comerciais, e em dose alta (20 t ha^{-1}), reduz a altura, massa fresca e seca da parte aérea (Figura 3), mostrando que o possível excesso de alguns nutrientes presentes no biocarvão pode causar um desbalanço nutricional prejudicial a produção. Tendo em vista que a folhagem é o produto consumido da alface, é possível inferir que o biocarvão de bucha de dendê e casca de guaraná aumentaram a produtividade em até $141,97$ e $178,35\%$, respectivamente, baseado na massa fresca da folha.

Por ser composta basicamente por folhas, a alface é altamente dependente do nitrogênio para seu desenvolvimento, sendo este o nutriente que promove o maior efeito na sua produção, aumentando o tamanho e melhorando a aparência das plantas e contribuindo para o metabolismo fisiológico, tendo relação direta na formação de proteínas (MANTOVANI et al., 2002; ZAGO et al., 2008). Os biocarvões, por terem o material vegetal como matéria prima, possuem quantidades consideráveis de nitrogênio, como foi o caso dos biocarvões usados nesse trabalho, possuindo $14,50$ e $21,75 \text{ g kg}^{-1}$ (biocarvão de bucha de dendê e casca de guaraná, respectivamente). Isso explica o fato de os biocarvões terem contribuído para incremento na altura, massa fresca e seca da parte aérea das plantas de alface. Aliado a isso, os biocarvões possuíam fósforo em sua composição, e esse macronutriente também contribui ativamente no desenvolvimento foliar, e sua deficiência pode resultar em menor quantidade de folhas e a menor expansão delas, acarretando consequentemente uma menor captação da radiação fotossinteticamente ativa e a deficiência no desenvolvimento (RIPLEY et al., 2004). Sabe-se que o biocarvão pode promover aumento da disponibilidade de fósforo para as plantas (GLASER; LEHR, 2019), devido ao aumento do pH do solo (LIMA et al., 2018), conferindo um ambiente mais propício para o desenvolvimento vegetal, o que foi observado nesse estudo, onde o teor de fósforo e pH foi superior nos tratamentos com uso de biocarvões (Tabela 3 e 4).

Contudo, o excesso de nutrientes pode não ser benéfico a planta. Ferreira et al. (2001) afirma que altas doses de nitrogênio podem causar fitotoxicidade pela liberação de amônio durante o processo de hidrólise da uréia elevando os níveis de amônio do meio. O amônio sendo absorvido pela planta em excesso é tóxico pois dissipa o gradiente de pH através da membrana citoplasmática, podendo causar perdas produtivas pela queima das folhas, além de dificultar a absorção de outros nutrientes, reduzindo a produtividade (Filgueira, 2012). O biocarvão de casca de guaraná usado no experimento detinha de teores mais elevados de nitrogênio comparado ao biocarvão de bucha de dendê, e isso pode explicar o fato da maior dose (20 t ha⁻¹) desse biocarvão ter apresentado médias inferiores as demais doses nos parâmetros altura de planta, massa fresca e seca da parte aérea e massa fresca do caule, o que não aconteceu com biocarvão de bucha de dendê, que, possuindo teores menores de nitrogênio, mesmo na maior dose foi observado efeito positivo.

Petter et al. (2012) ao testar o efeito de biocarvão de madeira de eucalipto na produção de mudas de alface observou melhor desempenho produtivo das mudas para as variáveis, altura de plantas, número de folhas verdadeiras, massa seca e fresca das raízes. Os autores concluíram, assim como no nosso estudo, que altas concentrações de biocarvão prejudicaram a produção de mudas de alface, mostrando que o excesso de nutrientes presentes foi prejudicial. De forma semelhante, Lima et al. (2020), ao testarem o biocarvão de lodo de esgoto, adicionado ao solo, no cultivo da alface, observaram aumento crescente na produção de alface, com aumento chegando até 470% na biomassa fresca da planta. Os autores inferiram que esse aumento produtivo se deve ao biocarvão possuir maiores teores de nutrientes, principalmente fosforo e nitrogênio, além de maior pH e capacidade na eficiência do uso da água. Também, Gunes et al. (2014) avaliaram o efeito de biocarvão feito de esterco de aviário na biomassa da cultura da alface e encontraram que o biocarvão promoveu um aumento significativo de 446%, quando comparado com o tratamento testemunha, corroborando, portanto, os resultados da nossa pesquisa.

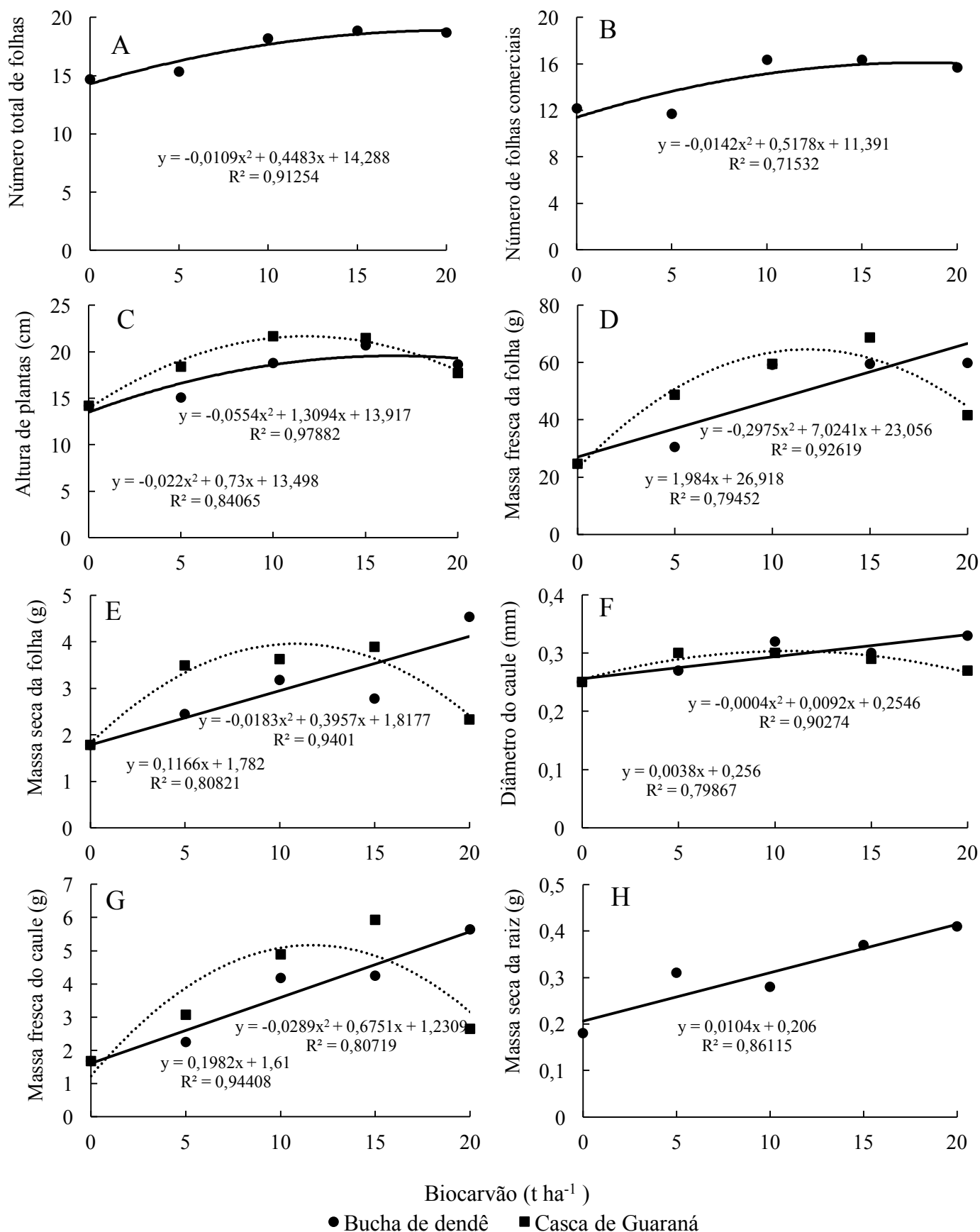


Figura 4. Número total de folhas (A), número de folhas comerciais (B), altura de plantas (C), massa fresca da folha (D), massa seca da folha (E), diâmetro do caule (F), massa fresca do caule (G), massa seca da raiz (H) de alface aos 35 dias após o transplântio das mudas em vasos com solo e biocarvões de bucha de dendê e casca de guaraná em diferentes doses.

Tabela 5. Número total, de folhas comerciais e não comerciais, altura de planta e massa fresca e seca da folha de alface aos 35 dias após o transplântio das em vasos com colo e biocarvões de bucha de dendê e casca de guaraná em diferentes doses

Dose de biocarvão (t ha ⁻¹)	Nº folhas não comerciais		Nº folhas comerciais		Nº total de folhas		Altura de planta (cm)		Massa fresca da folha (g)		Massa seca da folha (g)	
	Bucha de dendê	Casca de guaraná	Bucha de dendê	Casca de guaraná	Bucha de dendê	Casca de guaraná	Bucha de dendê	Casca de guaraná	Bucha de dendê	Casca de guaraná	Bucha de dendê	Casca de guaraná
0	2,5 Aa	2,50 Aa	12,17 Ba	12,17 Aa	14,67 Ba	14,67 Aa	14,22 Ba	14,22 Ca	24,71 Ba	24,71 Ba	1,79 Ba	1,79 Ba
5	3,67 Aa	2,50 Aa	11,67 Ba	14,50 Aa	15,33 Ba	17,00 Aa	15,08 Ba	18,40 Ba	30,52 Ba	48,76 Aa	2,45 Ba	3,50 Aa
10	1,83 Aa	2,67 Aa	16,33 Aa	15,50 Aa	18,17 Aa	18,17 Aa	18,82 Aa	21,70 Aa	59,21 Aa	59,56 Aa	3,18 Ba	3,63 Aa
15	2,50 Aa	2,17 Aa	16,33 Aa	17,50 Aa	18,83 Aa	19,67 Aa	20,72 Aa	21,48 Aa	59,56 Aa	68,78 Aa	2,78 Ba	3,90 Aa
20	3,00 Aa	3,67 Aa	15,67 Aa	14,50 Aa	18,67 Aa	18,17 Aa	18,65 Aa	17,73 Ba	59,79 Aa	41,56 Ba	4,54 Aa	2,34 Bb

*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si (p<0,05) pelo teste de Scott-Knott. Letras maiúsculas definem o efeito das doses dentro de cada biocarvão. Letras minúsculas definem o efeito de cada biocarvão dentro de cada dose.

Tabela 6. Diâmetro, massa fresca e seca do caule, massa fresca e seca da raiz de alface aso 35 dias após o transplântio das em vasos com colo e biocarvões de bucha de dendê e casca de guaraná em diferentes doses

Dose de biocarvão (t ha ⁻¹)	Diâmetro do caule (mm)		Massa fresca do caule (g)		Massa seca do caule (g)		Massa fresca da raiz (g)		Massa seca da raiz (g)	
	Bucha de dendê	Casca de guaraná	Bucha de dendê	Casca de guaraná	Bucha de dendê	Casca de guaraná	Bucha de dendê	Casca de guaraná	Bucha de dendê	Casca de guaraná
0	0,25 Ba	0,25 Ba	1,67 Ba	1,67 Ba	0,16 Aa	0,16 Aa	1,03 Aa	1,03 Aa	0,18 Ba	0,18 Aa
5	0,27 Ba	0,30 Ba	2,25 Ba	3,07 Ba	0,26 Aa	0,25 Aa	1,63 Aa	1,78 Aa	0,31 Ba	0,24 Aa
10	0,32 Aa	0,30 Aa	4,17 Aa	4,89 Aa	0,31 Aa	0,25 Aa	2,22 Aa	2,11 Aa	0,28 Ba	0,28 Aa
15	0,30 Aa	0,29 Aa	4,24 Aa	5,92 Aa	0,56 Aa	0,30 Aa	2,30 Aa	2,05 Aa	0,37 Aa	0,27 Aa
20	0,33 Aa	0,27 Ab	5,63 Aa	2,65 Bb	0,85 Aa	0,13 Ab	3,41 Aa	1,74 Ab	0,41 Aa	0,23 Ab

*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si (p<0,05) pelo teste de Scott-Knott. Letras maiúsculas definem o efeito das doses dentro de cada biocarvão. Letras minúsculas definem o efeito de cada biocarvão dentro de cada dose.

O diâmetro do caule foi superior nas três maiores doses para ambos biocarvões, e o biocarvão de bucha de dendê apresentou média superior na maior dose quando comparado ao biocarvão de casca de guaraná, demonstrando que, dose alta (20 t ha^{-1}), o biocarvão de bucha de dendê apresenta melhores resultados no incremento do diâmetro do caule, observado pela regressão linear positiva, mediante a regressão polinomial negativa para o biocarvão de casca de guaraná (Figura 4), resultado também observado na massa fresca e seca do caule. Na massa fresca do caule, a três maiores doses (biocarvão de bucha de dendê) e as doses de 10 t ha^{-1} (biocarvão de casca de guaraná), apresentaram médias superiores. Assim como para altura de plantas, massa fresca e seca da parte aérea, a maior dose (20 t ha^{-1}) de biocarvão de casca de guaraná reduziu a massa fresca do caule, reafirmando que dose alta desse biocarvão não é vantajoso para a produção de alface. Essa redução nesses parâmetros vegetativos na dose mais alta de biocarvão de casca de guaraná pode ser atribuído a compostos fenólicos ou poliaromáticos adicionados pelo biocarvão que pode apresentar um aumento na fitotoxicidade e prejudicar o desenvolvimento da planta e também, pode estar associado, ao desequilíbrio nutricional ocasionado pelo excesso de matéria orgânica presente nesse biocarvão, ou também pelo fato do biocarvão ter a capacidade de modificar a quantidade de microporos considerada adequada para produção de hortaliças (SANTOS et al., 2010; BUENO, 2017).

A massa seca do caule e massa fresca da raiz não sofreram alteração em função das diferentes doses em ambos os biocarvões (Tabela 5). Já a massa seca da raiz foi significativa apenas para o biocarvão de bucha de dendê, com as duas maiores doses apresentando médias superiores. Entre os dois biocarvões, a diferença foi observada apenas na maior dose, onde o biocarvão de bucha de dendê apresentou melhores médias para diâmetro, massa fresca e seca do caule e massa fresca e seca da raiz, mostrando que, esse biocarvão tem efeito superior nesses parâmetros quando usado em dose mais alta (20 t ha^{-1}).

Alterações do solo, ocasionada pela adição de biocarvão, podem afetar várias propriedades do solo e influenciar, por exemplo, na capacidade de retenção de água, quantidade de água disponível para a planta e permeabilidade de água, que por consequência, podem influenciar no desenvolvimento vegetal (BOHARA et al., 2019; NORINI, et al., 2019), como aumento de massa fresca de parte aérea e raiz, observado nesse estudo. Além disso, Scotti et al. (2015) relatam que o biocarvão provoca aumento do pH, também observado nesse estudo, da capacidade de troca de cátions e teor de água, o que por sua vez pode aumentar os nutrientes disponíveis para as plantas e, consequentemente, o acúmulo de biomassa. Esses mesmos autores observaram que a adição de biocarvão no solo aumentou a atividade de enzimas envolvidas no ciclo de fósforo, nitrogênio e carbono, como as enzimas fosfatas alcalina e ácida, fosfohidrolase, lipase, esterase, esterase quimotripsina e tripsina. Nesse sentido, a presença de

biocarvão no solo pode estimular a comunidades microbianas relacionadas ao nitrogênio, fósforo e ciclagem de carbono (ZHANG et al., 2018) e, por conseguinte, um maior desenvolvimento da planta.

4 CONCLUSÕES

O solo, condicionado com biocarvões proporcionou um maior desempenho nas plantas de alface, com aumento na produção, constituindo uma ótima alternativa para a produção e desenvolvimento sustentável.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, E. F.; AGUIAR, A. S.; ARAUCO, A. M. de S.; GONÇALVES, E. de O.; ALMEIDA, K. N. S. de. Crescimento e qualidade de mudas de paricá produzidas em substratos à base de resíduos orgânicos. **Nativa**, v. 5, n. 1, p. 16-23, 2017.
- BAIAMONTE, G.; DE PASQUALE, C.; MARSALA, V.; CIMÒ, G.; ALONZO, G.; CRESCIMANNO, G.; CONTE, P. Structure alteration of a sandy-clay soil by biochar amendments. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, n. 4, p. 816-824, 2015.
- BOHARA, H.; DODLA, S.; WANG, J. J.; DARAPUNENI, M.; ACHARYA, B. S.; MAGDI, S.; PAVULURI, K. Influence of poultry litter and biochar on soil water dynamics and nutrient leaching from a very fine sandy loam soil. **Soil & Tillage Research**, v. 189, n. 1, p. 44-51, 2019.
- BUENO, C. C. **Biochar: caracterização estrutural e interações com nutrientes e microrganismos pedológicos**. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Sorocaba, SP, Brasil, 2018. p. 158.
- CAMPO & NEGÓCIOS, 2022. **Produção de hortaliças folhosas no Brasil**. Disponível em: < <https://revistacampoenegocios.com.br/producao-de-hortalicas-folhosas-no-brasil/> >. Acesso em: 15 fev. 2024.
- CARVALHO, J. E.; ZANELLA, F.; MOTA, J. H.; LIMA, A. L. S. Cobertura morta do solo no cultivo de alface Cv. Regina 2000, em Ji-Paraná/RO. **Revista Ciência e Agrotecnologia**. 2005, v.29, p.935-939.
- CRISPIM, J. F.; LIMA, J. S. S.; SILVA, J. K. B.; SILVA, A. G. C.; FERNANDES, G. K. F.; BENTO, J. E. A. Aspecto nutricional do biocarvão na produção de mudas de rúculas em condições semiáridas. In: **Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215**. 2020. p. 12-17.
- DU, J.; ZHANG, Y.; QU, M.; YIN, Y.; FAN, K.; HU, B.; ZHANG, H.; WEI, M.; MA, C. Effects of biochar on the microbial activity and community structure during sewage sludge composting. **Bioresource Technology**, v. 272, n. 1, p. 171-179, 2019.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Novas cultivares de alface crespa suportam até dez dias mais o calor**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA. 2019. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/> >

/noticia/45214606/novas-cultivares-de-alfacecrespa-suportam-ate-dez-dias-mais-o-calor.>
Acesso em: 20 fev. 2024.

FERREIRA, V.P.; ROCIO, A.C.; LAUER, C.; ROSSONI, E.; NICOULAUD, B. A. L. Resposta de alface à fertilização nitrogenada. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, suplemento CD-ROM, 2001.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3 ed. Viçosa-MG: Editora UFV, 2012. 421p.

FERNÁNDEZ-UGALDE, O.; GARTZIA-BENGOETXEA, N.; AROSTEGI, J.; MORAGUES, L.; ARIAS-GONZÁLEZ, A. Storage and stability of biochar-derived carbon and total organic carbon in relation to minerals in an acid forest soil of the Spanish Atlantic area. **Science of The Total Environment**, v. 587-588, p. 204-213, 2017.

FERREIRA, D. F. **Estatística multivariada**. Lavras: Ed. Ufla, 2008. 662 p.

GAO, X.; DRIVER, L. E.; KASIN, I.; MASIELLO, C. A.; PYLE, L. A.; DUGAN, B.; OHLSON, M. Effect of environmental exposure on charcoal density and porosity in a boreal forest. **Science of The Total Environment**, v. 592, p. 316-325, 2017.

GLASER, B.; LEHR, V. I. Biochar effects on phosphorus availability in agricultural soils: A meta-analysis. **Scientific Reports**, v. 9, p. 9338, 2019.

GUNES, A.; INAL, A.; TASKIN, M. B.; SAHIN, O.; KAYA, E. C.; ATAKOL, A. Effect of phosphorus-enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv.) grown in alkaline soil. **Soil Use and Management**, v. 30, p. 182-188, 2014.

LIMA, S. L.; MARIMON JUNIOR, B. H.; DA SILVA MELO-SANTOS, K.; REIS, S. M.; PETTER, F. A.; VILAR, C. C.; MARIMON, B. S. Biochar no manejo de nitrogênio e fósforo para a produção de mudas de angico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.2, p.120–131, 2016.

LIMA, J. R. S.; SILVA, W. M.; MEDEIROS, E. V.; DUDA, G. P.; CORREA, M. M.; FILHO MARTINS, A. P.; CLERMONT-DAUPHIN, C.; ANTONINO, A. C. D.; HAMMECKER, C. Effect of biochar on physicochemical properties of a sandy soil and maize growth in a greenhouse experiment. **Geoderma**, v. 319, p. 14-23, 2018.

DE SOUSA LIMA, J. R.; DE ARAÚJO, M. B.; DE OLIVEIRA, C. L.; BARROS, C. T.; DA SILVA AMORIM, A.; BEZERRA, A. L.; DILL, P. R. J.; MEDEIROS, E. V.; HAMMECKER, C.; ANTONINO, A. C. D.; LEITE, M. C. D. B. S. Biochar de lodo de esgoto aumenta a produção e eficiência no uso de água da alface. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 4, p. 1720-1729, 2020.

LIN, Z.; LIU, Q.; LIU, G.; COWIE, A. L.; BEI, Q.; LIU, B.; WANG, X.; MA, J.; ZHU, J.; XIE, Z. Effects of different biochars on *Pinus elliottii* growth, N use efficiency, soil N₂O and CH₄ emissions and C storage in a subtropical area of China. **Pedosphere**, v. 27, p. 248–261, 2017.

LIU, N.; ZHOU, J.; HAN, L.; MA, S.; SUN, X.; HUANG, G. Role and multi-scale characterization of bamboo biochar during poultry manure aerobic composting. **Bioresource Technology**, v. 241, n. 1, p. 190-199, 2017.

MAIA, C. M. B. F.; GUIOTOKU, M.; PEIXOTO, R. T. G.; VARGAS, L. M. P. Biochar e o eucalipto. **O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento**, p. 589-610, 2021.

MANTOVANI, J. R.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P da. Acúmulo de nitrato em cultivares de alface. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 2, 2002.

MENDONÇA, A. R. **Crescimento de cenoura em solo com diferentes combinações de doses e granulometrias de carvão vegetal** (Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Mestrado em Ciência do Solo). Jaboticabal, SP, 2017.

NORINI, M. P.; THOUIN, H.; MIARD, F.; BATTAGLIA, F.; GAUTRET, P.; GUÉGAN, R.; LE, F. L.; MORABITO, D.; BOURGERIE, S.; MOTELICA, M. Mobility of Pb, Zn, Ba, As and Cd toward soil pore water and plants (willow and ryegrass) from a mine soil amended with biochar. **Journal of Environmental Management**, v. 232, n. 1, p. 117-130, 2019.

PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; MARIMON, B. J.; GONÇAVES, L. G.; SCHOSSLER, T. R. Biochar como condicionador de substrato para a produção de mudas de eucalipto. **Agrarian**, v. 5, n. 17, p. 243-250, 2012.

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, A. M. **Guia de interpretações de análise de solo e foliar**, 2013. 106 p.

RAMLOW, M.; RHOADES, C. C.; COTRUFO, M. F. Promoting revegetation and soil carbon sequestration on decommissioned forest roads in Colorado, USA: a comparative assessment of organicsoil amendments. **Forest Ecology and Management**, v. 427, p. 230-241, 2018.

RIPLEY, B. S.; REDFERN, S. P.; DAMES, J. Quantification of the photosynthetic performance of phosphorus-deficient Sorghum by means of chlorophyll-a fluorescence kinetics. **South African Journal of Science**, v. 100, n. 11, p. 615-618, 2004.

SALA, F. C.; NASCIMENTO, W. M. **Produção de sementes de hortaliças**. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 17-42 p.

SANTOS, M. R.; SEDIYAMA, M. A. N.; SALGADO, L. T.; VIDIGAL, S. M.; REIGADO, F. R. Produção de mudas de pimentão em substratos à base de vermicomposto. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 4, p. 572-578, 2010.

SANTI, C. L.; JUNIOR, S. S.; LALLA, J. G.; TEHODORO, V. C. A.; NESPOLI, A. Desempenho de cultivares de alface tipo crespa sob altas temperaturas em Cáceres-MT. **Agrian**, v. 2, n. 3, 2009.

SANTOS, A. Y. O.; SILVA JÚNIOR, D. N.; FREIRE, M. M.; EMERENCIANO NETO, J. V.; 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.

SCOTTI, R.; BONANOMI, G.; SCELZA, R.; ZOINA, A.; RAO, M. A. Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agricultural systems. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 15, n. 2, p. 333-352, 2015.

SILVA, L. F. V.; MELO, E. I.; GONÇALVES, P. A. S. Biochar de serragem de eucalipto como condicionador de substratos para produção de mudas de alface. **Revista Agri-Environmental Sciences**, v. 5, p. e019005, 2019.

SOBRAL, L. F.; BARRETO, M. D. V.; Da SILVA, A. J.; DOS ANJOS, J. L. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos**, 2015. 15 p.

TAVARES, Q. G.; DE OLIVEIRA ABRANCHES, M.; RIBEIRO, C. H. M.; DA SILVA, G. A. M.; DE PAULA, L. B. Uso do biochar como alternativa na melhoria da qualidade de substrato para o cultivo de cenoura. **Revista Científica Rural**, v. 23, n. 2, p. 103-109, 2020.

ZAGO, V. C. P.; EVANGELISTA, M. R.; ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M.; RUMJANEK, N. G.; NEVES, M. C. P. Influência de diferentes fontes e doses de adubos nitrogenados nos teores de n-nitrato e na produtividade de alface. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon-PR, v. 7, n. 1, p. 15-24, 2008.

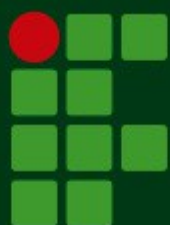
ZHANG, R.; ZHAO, Y.; LIN, J.; HU, Y.; HÄNNINEN, H.; WU, J. Biochar application alleviates unbalanced nutrient uptake caused by N deposition in *Torreya grandis* trees and seedlings. **Forest Ecology and Management**, v. 432, p. 319-326, 2019.

ZHANG, G.; GUO, X.; ZHU, Y.; LIU, X.; HAN, Z.; SUN, K.; JI, L.; HE, Q.; HAN, L. The effects of different biochars on microbial quantity, microbial community shift, enzyme activity, and biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil. **Geoderma**, v. 328, n. 3, p.100-108, 2018.

ZHANG, R.; ZHANG, Y.; SONG, L.; SONG, X.; HÄNNINEN, H.; WU, J. Biochar enhances nut quality of *Torreya grandis* and soil fertility under simulated nitrogen deposition. **Forest Ecology and Management**, v. 391, p. 321-329, 2017.

ZHOU, G.; ZHOU, X.; ZHANG, T.; DU, Z.; HE, Y.; WANG, X.; SHAO, J.; CAO, Y.; XUE, S.; WANG, H.; XU, C. Biochar increased soil respiration in temperate forests but had no effects in subtropical forests. **Forest Ecology and Management**, v. 405, p. 339-349, 2017.

WANG, J.; WANG, S. Preparation, modification and environmental application of biochar: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 227, p. 1002-1022, 2019.



**INSTITUTO
FEDERAL**

Baiano

Campus
Serrinha