

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
SERTÃO PERNAMBUCANO
CAMPUS PETROLINA ZONA RURAL

CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO LATO SENSU EM MANEJO DE SOLO
E ÁGUA

**BIOCARVÃO: CARACTERÍSTICAS QUÍMICO-FÍSICAS E USO NA
AGRICULTURA. UMA REVISÃO**

NATÁLIA TEIXEIRA DE LIMA

PETROLINA - PE

2023

NATÁLIA TEIXEIRA DE LIMA

**BIOCARVÃO: CARACTERÍSTICAS QUÍMICO-FÍSICAS E USO NA
AGRICULTURA. UMA REVISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao IF SERTÃO-PE *Campus*
Petrolina Zona Rural, exigido como parte dos
requisitos para a obtenção do título de
Especialista em Manejo de Solo e Água.

Orientador: Prof. Dr. Cícero Antônio de Sousa Araújo

PETROLINA - PE
2023

L732 Lima, Natália Teixeira de.

Biocarvão: características químico-físicas e uso na agricultura. Uma revisão / Natália Teixeira de Lima. - Petrolina, 2023.
25 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Manejo de Solo e Água) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Cícero Antônio de Sousa Araújo.

1. Ciências Agrárias. 2. Biochar. 3. Propriedades hidráulicas. 4. Melhoria da qualidade do solo. I. Título.

CDD 630

NATÁLIA TEIXEIRA DE LIMA

**BIOCARVÃO: CARACTERÍSTICAS QUÍMICO-FÍSICAS E USO NA
AGRICULTURA. UMA REVISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao IF SERTÃO-PE *Campus*
Petrolina Zona Rural, exigido como parte dos
requisitos para a obtenção do título de
Especialista em Manejo de Solo e Água.

Aprovada em: 29 de junho de 2023.

Prof. Dr. Cícero Antônio de Sousa Araújo
Orientador/Presidente
IF Sertão-PE, Campus Petrolina Zona Rural

Prof. Dr. Fábio Freire de Oliveira
2º Examinador
IF Sertão-PE, Campus Petrolina Zona Rural

Dr. Luis Fernando de Souza Campeche
3º Examinador
IF Sertão-PE, Campus Petrolina Zona Rural

EPÍGRAFE

O domínio de uma profissão não
exclui o seu aperfeiçoamento. Ao
contrário, será mestre quem continuar
aprendendo.

(Pierre Feuter)

RESUMO

O biocarvão ganhou atenção nos últimos anos por causa de suas potenciais aplicações na gestão de resíduos, energia renovável, sequestro de carbono, redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e remediação de solo e água bem como seu potencial para melhorar a fertilidade dos solos e promover o crescimento das plantas. A presente revisão tem por objetivo descrever aspectos químicos, físicos e biológicos dos biocarvões e sua aplicação tecnológica na agricultura. Para a realização do presente trabalho, utilizou-se os descritores “biocarvão”, “*biochar*”, “*biochar and agricultural*” e “aplicação de biocarvão”, para o levantamento bibliográfico. Observou-se a partir da revisão que o biocarvão tem características físico-químicas variáveis e inconsistentes, dependente da sua origem, temperatura de pirólise e composição mineral da biomassa original. De modo geral, o biocarvão apresenta características importantes para solos desérticos ou com baixa precipitação, como os solos do Semiárido brasileiro, uma vez que apresenta como efeitos a redução da densidade do solo, o aumento da porosidade do solo, e consequente aumento da retenção de água no solo, aumento da disponibilidade de água para as plantas e maior eficiência no uso da água. Ficou evidente a partir da revisão que a relação C/N do solo é incrementada com o uso do biocarvão, o que contribui para a atividade microbiológica do solo, promovendo alterações positivas. Também, demonstrou aumentar o pH do solo, favorecendo a disponibilização em solos ácidos, em detrimento da função fertilizante.

Palavras-chave: Biochar; Propriedades hidráulicas; Melhoria da qualidade do solo.

ABSTRACT

Biochar has gained attention in recent years because of its potential applications in waste management, renewable energy, carbon sequestration, greenhouse gas (GHG) emissions reduction, and soil and water remediation as well as its potential to improve fertility. soil and promote plant growth. The present review aims to describe chemical, physical and biological aspects of biochars and their technological application in agriculture. To carry out this work, the descriptors “biochar”, “biochar”, “biochar and agricultural” and “biochar application” were used for the bibliographic survey. It was observed from the review that biochar has variable and inconsistent physicochemical characteristics, depending on its origin, pyrolysis temperature and mineral composition of the original biomass. In general, biochar presents important characteristics for desert soils or those with low precipitation, such as the soils of the Brazilian Semiarid region, since its effects include reducing soil density, increasing soil porosity, and consequently increasing soil retention. water in the soil, increased water availability for plants and greater efficiency in water use. It was evident from the review that the soil C/N ratio is increased with the use of biochar, which contributes to the microbiological activity of the soil, promoting positive changes. It has also been shown to increase soil pH, favoring availability in acidic soils, to the detriment of the fertilizer function.

Key words: Biochar; Hydraulic properties; Improving soil quality.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BET – Brunauer-Emmett-Teller

CE – Condutividade Elétrica

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

DOC – Carbono Orgânico Dissolvido

GGE – Emissões de Gases de Efeito Estufa

LISTA DE SÍMBOLOS

% – porcentagem

°C – graus celsius

μm – micrômetro

cmol_c kg⁻¹ – centimol de carga por quilo

g.kg⁻¹ – grama por quilo

m²/g – metro quadrado por grama

mg.dm⁻³ – miligrama por decímetro cúbico

Mg.ha⁻¹ – Megagrama por hectare

mil.km² – um mil quilômetros por quilômetro quadrado;

min - minuto

nm - nanômetro

s – segundo

t.ha⁻¹ – tonelada por hectare

SÚMARIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS.....	10
3.1 Objetivo Geral.....	10
3.2 Objetivos específicos	10
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
4 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E USO DO BIOCARVÃO NA AGRICULTURA	12
4.1 O biocarvão	12
4.2 Características físicas do biocarvão	13
4.3 Características químicas do biocarvão	14
4.4 O efeito do biocarvão nas propriedades físico-químicas do solo.....	16
4.5 A relação das propriedades do biocarvão e a produtividade de culturas agrícolas	
.....	18
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
REFERÊNCIAS	22

1 INTRODUÇÃO

O biocarvão ganhou atenção nos últimos anos por causa de suas potenciais aplicações na gestão de resíduos, energia renovável, sequestro de carbono, redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e remediação de solo e água (KUPPUSAMY et al., 2016; LEHMANN & JOSEPH, 2015), bem como seu potencial para melhorar a fertilidade dos solos e promover o crescimento das plantas (DING et al., 2016).

Conforme definido por Lehman & Joseph, o biocarvão é um produto da carbonização da biomassa (lingocelulósica) em um ambiente de oxigênio limitado com uma temperatura relativamente baixa ($<700\text{ }^{\circ}\text{C}$) (LEHMAN & JOSEPH, 2015).

A matéria-prima de biomassa para a produção de biocarvão inclui matéria orgânica, como resíduos agrícolas, resíduos florestais e esterco (SUN et al., 2015). Geralmente, o biocarvão pode ser produzido usando várias tecnologias de decomposição termoquímica, pirólise, carbonização hidrotermal, gaseificação e torrefação (YUAN et al., 2019).

Assim, o biocarvão pode ter implicações essenciais no desenvolvimento de uma economia circular na agricultura, uma vez que pode ser integrado em práticas convencionais de fertilização, especialmente em sistemas de produção de alimentos com gestão orgânica (JINDO et al., 2020). Também pode ser uma estratégia sustentável para a gestão de resíduos de poda em fazendas: por exemplo, grandes quantidades de podas de pomares são geradas anualmente causando um problema ambiental se não forem adequadamente descartadas (DI BLASI et al., 1997).

2 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

A presente revisão tem por objetivo descrever aspectos químicos, físicos e biológicos dos biocarvões e sua aplicação tecnológica na agricultura.

3.2 Objetivos específicos

- Definir o que é um biocarvão, sua obtenção e origem;
- Descrever as características físicas do biocarvão;
- Descrever as características químicas do biocarvão;
- Correlacionar as características físico-químicas do biocarvão com suas aplicações na agricultura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

De acordo com Caldas (1986) a pesquisa bibliográfica representa a “coleta e armazenagem de dados de entrada para a revisão, processando-se mediante levantamento das publicações existentes sobre o assunto ou problema em estudo, seleção, leitura e fichamento das informações relevantes”. Para a realização do presente trabalho, utilizou-se os descritores “biocarvão”, “*biochar*”, “*biochar and agricultura*” e “aplicação de biocarvão”, para o levantamento bibliográfico dos artigos, livros e resumos expandidos de congressos, que discutissem o tema do biocarvão, como uma tecnologia para a agricultura, nas bases de dados como Scielo, Periódicos CAPES, Web of Science e Google Acadêmico.

A partir disso, foram lidos os resumos dos artigos disponíveis e selecionados os que tratavam, de alguma forma, do tema em questão, como as caracterizações físico-químicas do biocarvão e aplicação no solo. Posteriormente, foi realizada leituras e releituras dos artigos, bem como a análise de cada um deles.

4 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E USO DO BIOCARVÃO NA AGRICULTURA

4.1 O biocarvão

O biocarvão ou carbono negro pirogênico (*biochar*, em inglês) é um produto carbonáceo, isto é, rico em carbono (>50%), obtido da decomposição térmica da biomassa sob uma presença limitada ou total ausência de oxigênio – processo conhecido como pirólise – (LEHMANN & JOSEPH, 2015; MANGRICH et al., 2011), com rendimento médio de biocarvão recuperado por massa de cerca de $\geq 50\%$ da biomassa utilizada (LAGHARI et al., 2015). O termo *biochar* é a união das palavras em inglês *biomass* (biomassa) e *charcoal* (carvão) (KALINKE, 2019).

Seu uso ganhou imenso interesse desde que os materiais orgânicos carbonizados foram descobertos em solos amazônicos, conhecido como Terra Preta de Índios, formada pelos índios pré-colombianos, que são altamente férteis e escuros. (PARIKH et al., 2014). Alguns pesquisadores calculam que esses solos escuros ocupem 1% (63 mil.km²) de toda a área de floresta na Amazônia, mas outras estimativas atingem até 10% (MANGRICH et al., 2011).

O uso do biocarvão não é uma invenção moderna e, de fato, existe desde os tempos pré-históricos, onde materiais de carbono, como carvão, eram utilizados para correção do solo (GŁODOWSKA et al., 2016; MIA et al., 2017). Desse modo, a tendência recente de usar biocarvão como corretivo de solos é baseada principalmente nessas descobertas na região amazônica, onde as práticas de manejo agrícola indígena levaram à criação de grandes manchas de solo escuro (GLASER et al., 2001; SOHI et al., 2009).

A pirólise é o método mais comumente usados para a produção de biocarvão; e é dividido em pirólise rápida, pirólise lenta, pirólise flash, pirólise solar e assistida por micro-ondas (TAN et al., 2017), onde as temperaturas variam de 300 a 1200°C, com mediana de 500°C (RAZZAGHI et al., 2020). A combustão (ou seja, a queima na presença de ar) se diferencia da pirólise por permitir reter, nas cinzas, apenas 2% a 3% do carbono inicialmente contido na biomassa (MANGRICH et al., 2011).

As matérias-primas usadas para a produção de biocarvão variam de produtos à base de madeira (por exemplo, lascas de madeira e pellets de madeira, casca de árvore), resíduos orgânicos e industriais (por exemplo, lodo, estrume) e materiais à base de plantas (folhas, cascas, sementes, espigas) (RAZZAGHI et al., 2020).

Assim, o biocarvão pode ser misturado com outros materiais e aditivos, como materiais orgânicos frescos, fertilizantes ou outros materiais inorgânicos, incluindo minerais de argila antes da sua aplicação no solo – que será mais discutida à frente –, ou co-compostado, isto é, pode ser tratado pelo processo de compostagem antes de ser usado como corretivo do solo (EL-NAGGAR et al., 2019).

4.2 Características físicas do biocarvão

Uma das características do biocarvão é a porosidade, sendo uma característica física altamente variável, que inclui nano ($< 0,9 \mu\text{m}$), micro ($< 2\text{--}50 \mu\text{m}$) e a macroporos ($> 50 \mu\text{m}$) (DOWNIE et al., 2012), enquanto que o tamanho das partículas dos biocarvões variam de 0,03 a 8,0 mm, com mediana de 2,0 mm (RAZZAGHI et al., 2020).

O efeito da temperatura da pirólise influencia nos tamanhos dos poros, como observado por Shaaban et al. (2014), que verificaram no biocarvão produzido a 700 °C, com 3 h como tempo de espera, tem uma área de superfície BET maior (5,5 m²/g) com microporos mais largos (diâmetro médio dos poros foi de 7,0 nm) (AJENG et al., 2020). Analogamente, Jeffery et al., (2015) descreveram tamanho médio dos poros do biocarvão submetido a 400 °C foi de 24 μm e para o biocarvão submetido a 600 °C foi de 17 μm .

Relata-se que o alto grau de porosidade e extensa área de superfície do biocarvão fornecem um microambiente para o crescimento dos micróbios imobilizados e os protegem contra predadores da fauna do solo, como ácaros, protozoários, nematoides e colêmbolos (CHEN et al., 2019; RAWAT et al., 2019). Tal fato é corroborado por Atkinson et al. (2010), nos quais os macroporos de biochars ($> 50 \text{ nm}$) fornecem um ambiente para o crescimento de micróbios benéficos, bem como aeração e hidrologia para o solo alterado. Embora, outros autores relatem uma baixa área superficial BET (Brunauer-Emmett-Teller) e volume de poros como uma

característica física do biocarvão (LAGHARI et al., 2015), podendo ser em função do material que sofreu pirólise.

Também, o biocarvão possui uma estrutura de poros e alta capacidade de adsorção de água e fertilizantes, que proporcionam um bom habitat para microrganismos do solo e, assim, promovem a propagação e atividade de microrganismos benéficos (PALANSOORIYA et al., 2019).

Análises de microtomografia de raios-X mostraram que o ângulo de contato de uma gota de água desmineralizada em biocarvão seco ao ar foi em média 101-118°, isto é, ângulos de contato maiores que 90°, o que os caracterizam como biocarvões hidrofóbicos quando secos ao ar, com o biocarvão produzido na temperatura mais baixa sendo mais hidrofóbico do que o biocarvão produzido na temperatura mais alta, sendo apoiado pelo fato de que o tempo de penetração da gota de água no biocarvão submetido a 400 °C (>1 min) excedeu aquele submetido a 600 °C (<10 s) (JEFFERY et al., 2015).

Gray et al. (2014) sugeriram que a hidrofobicidade de biocarvões pode impedir a entrada de água no espaço poroso destes, independentemente do tamanho e estrutura dos poros. Além disso, eles também relataram que a temperatura de produção dos biocarvões está positivamente correlacionada com a absorção de água, conforme demonstrado e relatado por Jeffery et al. (2015). Eles atribuíram isso a uma relação negativa entre a temperatura de produção do biocarvão e os compostos hidrofóbicos que permanecem na superfície do biocarvão (GRAY et al., 2014).

Uma implicação dos resultados de hidrofobicidade é que biocarvões produzidos em temperaturas mais altas devem ser usados para solos propensos à seca, como solos muito arenosos, ou em áreas propensas à seca, onde os efeitos de retenção de água no solo precisam ser maximizados (JEFFERY et al., 2015).

4.3 Características químicas do biocarvão

Análises elementares demonstraram que o conteúdo de Carbono (C) foi em média de 65% e variou de 19 a 88% e dependeu tanto da matéria-prima quanto das condições de pirólise (RAZZAGHI et al., 2020). Outros resultados de estudos descrevem percentuais entre 25 e 63%, e atribuem a produção de carbono como

dependente puramente do tipo de biomassa original, teor de umidade e mais precisamente com a composição mineral na biomassa (PARIYAR et al., 2020).

Temperaturas de pirólise superiores a 500 °C produzem biocarvões com teor de carbono > 80%, enquanto o teor de carbono em temperaturas entre 400 e 500 °C varia entre 60 e 80%, e em temperaturas inferiores a 350 °C o teor de carbono fica entre 15 e 60% (LAIRD et al., 2011; RONSSE et al., 2013).

A relação C/N e teor de nutrientes do biocarvão são parâmetros químicos a serem avaliados. A composição elementar, além do carbono, inclui nitrogênio, hidrogênio e alguns nutrientes, como K, Ca e Mg (ZHANG et al. 2015). Em biocarvão de serragem de pinheiro observou-se redução de 66% da relação C/N da matéria-prima e aumento de teores de nutrientes essenciais para as plantas como Ca, P e K (LAGHARI et al., 2015).

Fenólicos como hidroxila (OH), carboxila (CO), carbonil e grupos éster são os grupos funcionais mais abundantes nas superfícies de biocarvões, onde são responsáveis pelas suas propriedades, como alcalinidade, tamponamento de pH, hidrofobicidade ou hidrofiliicidade, carga superficial, capacidade de troca catiônica (CTC), sorção induzida por ligação de hidrogênio e melhoria da capacitância (LAGHARI et al., 2015; XIAO et al., 2018).

Em geral, o pH do biocarvão é neutro para alcalino, variando de 7,83 a 11,67, o que é benéfico para melhorar o pH do solo e melhorar a nitrificação, e mesmo quando misturado ao solo pode não ter um efeito significativo no pH das misturas (SHAABAN et al., 2014; VILLAGRA-MENDOZA & HORN, 2018). Contudo, há exceções e o pH pode ser diferente a depender da matéria-prima, bem como em geral as temperaturas de pirólise mais altas aumentam o pH da maioria dos biocarvões (PARIYAR et al., 2020), o que pode ser devido à presença de hidrólise de sais de elementos alcalinos e alcalinos como cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e potássio (K) (GASKIN et al., 2008).

A exemplo disso, os biocarvões obtidos de cama de aves (esterco), casca de arroz, pó de serra de pinus, resíduos de alimentos e lodo de fábrica de papel, e preparados em diferentes temperaturas (350°C, 450°C, 550°C e 650°C) apresentaram valores de pH que variaram de 5 a 10,5 (PARIYAR et al., 2020).

A pirólise da madeira de mangueira (*Mangifera indica* L.) apresentou pH neutro (7,12) e uma relação C/N de 163, e também apresentou pH na faixa da neutralidade, variando de 6,83 a 7,54, quando misturado a diferentes solos (VILLAGRA-MENDOZA

& HORN, 2018). Os autores relatam que os níveis de pH podem ser devidos à presença de altos níveis de alcalinos, no caso de arenitos, Ca^{2+} e na franco-arenosa Ca^{2+} e Mg^{2+} (LAIRD et al., 2011; YARGICOGLU et al., 2015).

Do mesmo modo, a capacidade de troca catiônica (CTC) do biocarvão também varia de acordo a matéria-prima utilizada. Pariyar et al. (2020) relataram que o valor de CTC varia de 6,69 a 67,23 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, onde o biocarvão à base de esterco tem o maior valor de CTC seguido pelo biocarvão de lodo de fábrica de papel, pó de serra de pinus, casca de arroz e resíduos de alimentos.

Com relação aos metais pesados, resultados de estudos relatam que a concentração de metais pesados depende puramente da composição do tipo de biomassa e da temperatura de pico de pirólise, onde a concentração de metais aumentou com a temperatura, como por exemplo do biocarvão de cama de aves e lodo de fábrica de papel maior parte da concentração de metais pesados (PARIYAR et al., 2020).

4.4 O efeito do biocarvão nas propriedades físico-químicas do solo

Os efeitos do biocarvão nas propriedades físicas do solo são inconsistentes e muito variáveis, principalmente em relação à retenção de água no solo, condutividade hidráulica e estabilidade de agregados, devendo estes efeitos serem investigados “biocarvão por biocarvão” (JEFFERY et al., 2015).

Em estudo investigando o efeito da adição de biocarvão nas funções hidráulicas de dois solos texturais, Villagra-Mendoza & Horn (2018) relataram que a adição do biocarvão tem efeitos importantes nas características físicas e hidráulicas de solos arenosos e franco-arenosos, sendo mais evidentes no solo de textura grossa. No mesmo estudo, o biocarvão potencializou a formação de poros estreitos e médios e também aumentou a rigidez de solos de textura grossa, o que segundo os autores pode ser um recurso valioso para melhorar as funções físicas e ajudar a mitigar o impacto de condições extremas de secagem devido à maior retenção de água e à redução da perda rápida de água em condições de secagem (VILLAGRA-MENDOZA & HORN, 2018).

Diferentemente, Jeffery et al. (2015) não encontram efeitos significativos da aplicação de biocarvão em um solo arenoso (que potencialmente poderia se beneficiar mais) na retenção de água do solo, água disponível para as plantas e condutividade

hidráulica ou estabilidade agregada em dois experimentos de campo separados, em taxas de aplicação de até 50 t.ha⁻¹ após 5 meses de aplicação.

Ainda, no mesmo estudo, adicionando uma variável na produção do biocarvão, os autores não observaram diferenças na retenção de água no solo e na água disponível para as plantas quando aplicado biocarvões produzidos sob pirólise a 400 e 600°C, apesar da maior porosidade do biocarvão a 600°C (57% contra 48%) (JEFFERY et al., 2015), o que em teoria estaria positivamente correlacionada com a temperatura de produção (GRAY et al., 2014). Esses resultados sugerem que a alta porosidade por si só não é suficiente para que o biocarvão afete a retenção de água no solo (JEFFERY et al., 2015), bem como o efeito do biocarvão nessa característica do solo é variável.

Razzaghi et al. (2020) ao fazerem uma revisão sistemática e metanálise chegaram à conclusão de que dentre as propriedades físicas do solo investigadas, o biocarvão, em geral, reduziu a densidade do solo e aumentou a disponibilidade de água para as plantas. Mudanças no teor de água do solo retido na capacidade de campo e no ponto de murcha mostraram um aumento nos solos de textura grossa e média, mas diminuíram nos solos de textura fina, sugerindo que o impacto do biochar no teor de água do solo pode ser dependente do tipo de solo (RAZZAGHI et al., 2020).

No geral, a incorporação de biocarvão no solo demonstrou aumentar o pH do solo, a capacidade de troca de cátions e a quantidade de nutrientes extraíveis, como K, Ca e Mg (por exemplo, Laird et al., 2010; Wang et al., 2014), que são benéficas para a retenção de nutrientes e fertilidade do solo. O biocarvão produzido a partir de lodo de esgoto melhorou teores de nutrientes do solo, com exceção de K, e elevou os valores dos indicadores de fertilidade do solo representados pela saturação por bases, CTC e a soma de base, mas não alterou o pH do solo (SOUSA, 2015).

Assim, no solo que recebeu o biocarvão de lodo de esgoto, a maior diferença entre doses foi verificada para o P cujos teores se elevaram de 0,39 (dose 0) para 100,31 mg.dm⁻³ (dose 100 Mg.ha⁻¹), com incremento de 257 vezes. Enquanto, a concentração de potássio teve pouca variação com a adição do biocarvão (SOUSA, 2015).

Do mesmo modo, Silva (2016) relatou que o uso de biocarvão de resíduos de café (casca e borra do café) em Neossolo Regolítico promoveram mudanças nas propriedades químicas do solo, mas nesse caso aumentando o pH, por apresentarem caráter alcalino, e aumentaram os teores de P e K. Com relação ao caráter alcalino,

outro estudo sinaliza o contrário, que o pH do biocarvão é neutro e assim não tem um efeito significativo no pH das misturas alteradas (VILLAGRA-MENDOZA & HORN, 2018).

Ainda, independentemente do tipo de biocarvão (casca ou borra do café), as maiores doses (16 Mg.ha^{-1}) promoveram alterações nas propriedades microbiológicas do solo, aumentando a biomassa microbiana do solo, o carbono orgânico total e o quociente microbiano, e diminuindo o quociente metabólico (SILVA, 2016).

Percebe-se que na literatura que não há um padrão para aumento do teor de K e pH, o que pode ser em função do material que é transformado em biocarvão. O efeito do biocarvão depende da textura, das propriedades do material de origem e das características do processo térmico (BREWER, 2012). Uma vez que o pH do biochar é neutro, não tem um efeito significativo no pH das misturas alteradas (VILLAGRA-MENDOZA & HORN, 2018).

4.5 A relação das propriedades do biocarvão e a produtividade de culturas agrícolas

Segundo o estudo de revisão de El-Naggar et al. (2019), o aumento da produtividade das culturas a partir da aplicação de biocarvão é mais comumente observado em solos pobres em nutrientes e degradados (LAGHARI et al., 2015), enquanto sua eficácia nem sempre é significativa em solos férteis ou saudáveis (HUSSAIN et al., 2017).

Em estudo avaliando as respostas de crescimento do repolho chinês (*Brassica rapa* L.) cultivar do grupo Pak Choi, Forma Peciolada Verde (sinônimo = *B. rapa* L. subsp. *chinensis* (L.) Hanelt) à aplicação de biocarvão, verificou-se que a previsão do modelo mostrou que amassa fresca da parte aérea foi apenas significativamente diferente nos ciclos experimentais ou ciclos de crescimento, e que os tratamentos com biocarvão em substituição ao solo (0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60%) não afetaram significativamente o crescimento dessa cultivar de repolho em comparação com o tratamento do solo nos quatro ciclos de crescimento testados (SONG et al., 2020).

No mesmo estudo, chegou-se à conclusão de que a aplicação de biocarvão pode melhorar a retenção de NO_3^- e K^+ no solo, e de que pode potencialmente aumentar o teor de açúcar, bem como a produção de glucosinolatos e flavonoides do

repolho 'Pak Choi' sem afetar negativamente seu rendimento (SONG et al., 2020). Portanto, sendo indicado pelos autores como um substituto parcial do solo para fins de agricultura urbana.

No plantio de pepino com incorporação de biocarvão e vermicomposto, a aplicação única e conjunta dos dois produtos geralmente melhorou as propriedades do solo e aumentou o rendimento e a qualidade do pepino. O pH do solo mostrou tendências de diminuição significativa no solo tratado com Biocarvão, Vermicomposto e Biocarvão+Vermicomposto com diferentes anos de cultivo contínuo, com aumentos médios de 1,24–2,46%, 0,73–1,18% e 0,34–0,44%, respectivamente. Os tratamentos com Biocarvão+Vermicomposto geralmente foram os melhores em diminuir a condutividade elétrica (CE) do solo, regular os nutrientes e aumentar o carbono orgânico dissolvido (DOC) e as quantidades de fungos e bactérias (WANG et al., 2021).

A modelagem de equações estruturais mostrou que o pH do solo, DOC, fósforo disponível, potássio total e as quantidades de fungos e bactérias contribuíram positivamente para a produtividade e qualidade dos frutos de pepino, enquanto a CE do solo teve um efeito negativo. Essas propriedades também interagiram entre si (por exemplo, houve fortes correlações entre CE do solo, pH, DOC, nutrientes e as quantidades de fungos e bactérias) e, portanto, afetaram indiretamente o rendimento e a qualidade do pepino. A aplicação conjunta de biocarvão e vermicomposto ($7,5 \text{ t.ha}^{-1} + 7,5 \text{ t.ha}^{-1}$) é, portanto, recomendada para aliviar os obstáculos de cultivo contínuo no cultivo em ambiente protegido (WANG et al., 2021).

Os resultados de Lima et al. (2016) com mudas de beterraba cultivar Tall Top Early Wonder, não foram satisfatórios, pois a adição de biocarvão ao Latossolo Vermelho sem fertilização não promoveu incremento no crescimento e na qualidade das mudas. Esperava-se nesse estudo que o biocarvão apresentasse função de fertilizante, já que verificou-se altas concentrações de K na sua composição, porém não foi registrada estímulos no desenvolvimento das plantas, o que segundo os autores provavelmente é devido ao desbalanço nutricional promovido pelo suprimento inadequado dos outros elementos essenciais (LIMA et al., 2016).

Para as culturas de milho e feijão cultivados em Neossolo Regolítico não foram verificadas diferenças significativas quanto aos componentes de produção (altura de plantas e diâmetro do caule) do milho e do feijão, sendo que as maiores produções de biomassa seca de milho foram encontradas nos tratamentos com

adubação química e biocarvão de borra de café (nas doses de 12 e 16 Mg.ha⁻¹), enquanto para o feijão não houve diferença entre os tratamentos. O tratamento com biocarvão de borra de café (dose de 16 Mg.ha⁻¹) promoveu maior eficiência no uso de água, consumindo 45,6 e 47% menos água nas culturas do milho e feijão, respectivamente (SILVA, 2016).

O material lodo de esgoto também foi testado para a produção de biocarvão, visando o aproveitamento agrícola do material. Em testes com rabanete (*Raphanus sativus* L.), a adição do biocarvão produzido a partir do lodo de esgoto a 300°C alteraram o desenvolvimento agrônomo da cultura, como número de folhas, altura da planta, comprimento da folha e massa seca da parte aérea. Os efeitos foram de acordo com o aumento da dose do produto, com as melhores respostas obtidas entre as doses 20 a 60 Mg.ha⁻¹, sendo observada uma leve redução a partir da dose 60 Mg.ha⁻¹, que segundo os autores pode ser em função de possíveis desbalanços nutricionais ou a elevada presença (19,4 g.Kg⁻¹) de ácido húmico no biocarvão (SOUSA, 2015).

O biocarvão derivado da pirólise rápida de serragem de pinheiro melhorou o crescimento e o rendimento do sorgo em dois diferentes solos arenosos do deserto sob experimento em vaso. A maior produtividade de sorgo foi alcançada na taxa de aplicação de 22 t.ha⁻¹, enquanto diminuiu significativamente na taxa de aplicação mais alta (45 t.ha⁻¹) de biocarvão (LAGHARI et al., 2015).

A supressão do crescimento da cultura em maiores taxas de aplicação de biocarvão, segundo os autores se deve principalmente ao aumento da relação C/N do solo e à perda de alguns micronutrientes como Cu, Fe e Mn, e desse modo pode ser usado para melhorar a qualidade dos solos arenosos desérticos para o desenvolvimento sustentável (LAGHARI et al., 2015).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se a partir da revisão que o biocarvão tem características físico-químicas variáveis e inconsistentes, dependente da sua origem, temperatura de pirólise e composição mineral da biomassa original. Além disso, ficou evidente que os melhores resultados agronômicos foram obtidos por meio de elevadas doses de biocarvão.

De modo geral, o biocarvão apresenta características importantes para solos desérticos ou com baixa precipitação, como os solos do Semiárido brasileiro, que em sua maioria apresentam problemas de compactação e salinização, uma vez que tem como efeitos a redução da densidade do solo, o aumento da porosidade do solo, e consequente aumento da retenção de água no solo e disponibilidade para as plantas. Além de promover um melhor fluxo de água no solo, favorecendo a lixiviação dos sais.

A partir da revisão foi possível observar que a relação C/N do solo é incrementada com o uso do biocarvão, o que contribui para a atividade microbológica do solo, promovendo alterações positivas. Também, demonstrou aumentar o pH do solo, favorecendo a disponibilização em solos ácidos, em detrimento da função de fertilizante.

REFERÊNCIAS

- AJENG, A.A.; ABDULLAH, R.; LING, T.C.; ISMAIL, S.; LAU, B.F.; ONGM H.C.; CHEW, K.W.; SHOW, P.L.; CHANG, J. Bioformulation of biochar as a potential inoculant carrier for sustainable agriculture. **Environmental Technology & Innovation**, v. 20, p. 101168, 2020.
- BREWER, C.E. **Biochar characterization and engineering**. 2012. 196f. Tese (Doutorado) – Iowa State University, Ames, 2012.
- CALDAS, M.A.E. **Estudos de revisão de literatura: fundamentação e estratégia metodológica**. São Paulo: Hucitec, 1986.
- CHEN, H.; ZHANG, J.; TANG, L.; SU, M.; TIAN, D.; ZHANG, L.; LI, Z.; HU, S. Enhanced Pb immobilization via the combination of biochar and phosphate solubilizing bacteria. **Environment International**, v. 127, p. 395-401, 2019.
- DI BLASI, C.; TANZI, V.; LANZETTA, M. A study on the production of agricultural residues in Italy. **Biomass and Bioenergy**, v. 12, n. 5, p. 321-331, 1997.
- DOWNIE, A.; CROSKY, A.; MUNROE, P. Physical properties of biochar. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for Environmental Management: Science and Technology**. Earthscan; London, UK: 2009. p. 20.
- EL-NAGGAR, A.; LEE, S.S.; RINKLEBE, J.; FAROOQ, M.; SONGE, H.; SARMAH, A.K.; ZIMMERMAN, A.R.; AHMAD, M.; SHAHEEN, S.M.; OK, Y.S. Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. **Geoderma**, v. 337, p. 536–554, 2019.
- GASKIN, J.W.; STEINER, C.; HARRIS, K.; DAS, K.C.; BIBENS, B. Effect of low-temperature py-rolysis conditions on biochar for agricultural use. **Transactions of the ASABE**, v. 51, p. 2061–2069, 2008.
- GLASER, B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. The “Terra Preta” phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, v. 88, p. 37–41, 2001.
- GŁODOWSKA, M.; HUSK, B.; SCHWINGHAMER, T.; SMITH, D. Biochar is a growth-promoting alternative to peat moss for the inoculation of corn with a pseudomonad. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 36, p. 1-10, 2016.
- GRAY, M.; JOHNSON, M.G.; DRAGILA, M.I.; KLEBER, M. Water uptake in biochars: the roles of porosity and hydrophobicity. **Biomass Bioenergy**, Reino Unido, v. 61, p. 196–205, 2014.
- HUSSAIN, M.; FAROOQ, M.; NAWAZ, A.; AL-SADI, A.M.; SOLAIMAN, Z.M.; ALGHAMDI, S.S.; AMMARA, U.; OK, Y.S.; SIDDIQUE, K.H. Biochar for crop production: potential benefits and risks. **Journal of Soils and Sediments**, v. 17, p. 685–716, 2017.

JEFFERY, S.; MEINDERS, M.B.J.; STOOF, C.R.; BEZEMER, T.M.; van de VOORDE, T.F.J.; MOMMER, L.; van GROENIGEN, J.W. Biochar application does not improve the soil hydrological function of a sandy soil. **Geoderma**, Holanda, v. 251–252, p. 47–54, 2015.

JINDO, K.; AUDETTE, Y.; HIGASHIKAWA, F.S.; SILVA, C.A.; AKASHI, K.; MASTROLONARDO, G.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A.; MONDINI, C. Role of biochar in promoting circular economy in the agriculture sector. Part 1: A review of the biochar roles in soil N, P and K cycles. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 7, n. 15, p. 1-12, 2020.

KALINKE, C. **Biochar quimicamente ativado: obtenção, caracterização e aplicação no desenvolvimento de sensores eletroquímicos**. 2019. 218 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Exatas, Curitiba, 2019.

KUPPUSAMY, S.; THAVAMANI, P.; MEGHARAJ, M.; VENKATESWARLU, K.; NAIDU, R. Agronomic and remedial benefits and risks of applying biochar to soil: current knowledge and future research directions. **Environment International**, v. 87, p. 1–12, 2016.

LAGHARI, M.; MIRJAT, M.S.; HU, Z.; FAZAL, S.; XIAO, B.; HU, M.; CHEN, Z.; GUO, D. Effects of biochar application rate on sandy desert soil properties and sorghum growth. **Catena**, v. 135, p. 313–320, 2015.

LAIRD, D.; FLEMING, P.; WANG, B.; HORTON, R.; KARLEN, D. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. **Geoderma**, v. 158, p. 436–442, 2010.

LAIRD, D.A.; ROGOVSKA, N.; GARCÍA-PÉREZ, M.; COLLINS, H.; STREUBEL, J.; SMITH, M. Capítulo 16: Pyrolysis and biochar-opportunities for distributed production and soil quality enhancement. In: Newell, K. (Ed.). **Sustainable Alternative Fuel Feedstock Opportunities, Challenges and Roadmaps for Six U.S. Regions**. United States Department of Agriculture, USDA, 2011.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation**. Routledge, Londres, Reino Unido, 2015. 976 p.

LIMA, S.L.; MARIMON-JUNIOR, B.H.; TAMIOZZO, S.; PETTER, F.A.; MARIMON, B.S.; ABREU, M.F. Biochar adicionado em Latossolo Vermelho beneficiao desenvolvimento de mudas de beterraba?. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 1, p. 97-103, 2016.

MANGRICH, A.S.; MAIA, C.M.B.F.; NOVOTNY, E.H. Biocarvão: As terras pretas de índios e o sequestro de carbono. **Revista Ciência Hoje**, v. 47, p. 48-52, 2011.

MIA, S.; DIJKSTRA, F.A.; SINGH, B. Long-term aging of biochar: A molecular understanding with agricultural and environmental implications. In: **Advances in Agronomy**, v. 141, 2017. p.1-51.

PALANSOORIYA, K.N.; WONG, J.T.F.; HASHIMOTO, Y. Response of microbial communities to biochar-amended soils: a critical review. **Biochar**, v. 1, p. 3–22, 2019.

PARIKH, S.J.; GOYNE, K.W.; MARGENOT, A.J.; MUKOME, F.N.D.; CALDERÓN, F.J. Soil chemical insights provided through vibrational spectroscopy. **Advances in Agronomy**, v. 126, p. 1-148, 2014.

PARIYAR, P.; KUMARI, K.; JAIN, M.K.; JADHAO P.S. Evaluation of change in biochar properties derived from different feedstock and pyrolysis temperature for environmental and agricultural application. **Science of the Total Environment**, v. 713, p. 136433, 2020.

RAWAT, J.; SAXENA, J.; SANWAL, P. Biochar: A sustainable approach for improving plant growth and soil properties. In: ABROL, V. & SHARMA, P. **Biochar - an Imperative Amendment for Soil and the Environment**. Intech Open, 2019. p. 1-18.

RAZZAGHI, F.; OBOUR, P.B.; ARTHUR, E. Does biochar improve soil water retention? A systematic review and metaanalysis. **Geoderma**, v. 361, p.114055, 2020.

RONSE, F.; VAN HECKE, S.; DICKINSON, D.; PRINS, W. Production and characterization of slow pyrolysis biochar: influence of feedstock type and pyrolysis conditions. **Global Change Biology Bioenergy**, v. 5, p. 104–115, 2013.

SHAABAN, A.; SE, S.; DIMIN, M.F.; JUOI, J.M.; HAIZAL, M.; HUSIN, M.; MERRY, N.; MITAN, M. Journal of analytical and applied pyrolysis influence of heating temperature and holding time on biochars derived from rubber wood sawdust via slow pyrolysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 107, p. 31–39, 2014.

SILVA, W.M. **Aplicação de biochar de resíduos de café em Neossolo Regolítico: efeitos nas características químicas e biológicas e na produção de milho e feijão**. 2016. 57 f. Dissertação (Mestrado) –Universidade Federal Rural dePernambuco, Programa de Pós-Graduação em Produção Agrícola, Recife, 2016.

SOHI, S.P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R. A review of biochar and its use and function in soil. **Advances in Agronomy**, v. 105, p. 47–82, 2009.

SONG, S.; ARORA, S.; LASERNA, A.K.; SHEN, Y.; THIAN, B.W.Y.; CHEONG, J.C.; TAN, J.K.N.; CHIAM, Z.; FONG, S.L.; GHOSH, S.; OK, Y.S.; LI, S.F.Y.; TAN, H.T.W.; DAI, Y.; WANG, C. Biochar for urban agriculture: Impacts on soil chemical characteristics and on *Brassica rapa* growth, nutrient content and metabolism over multiple growth cycles. **Science of The Total Environment**, v. 727, p. 138742, 2020.

SOUSA, A.A.T.C. **Biochar de lodo de esgoto: efeitos no solo e na planta no cultivo de rabanete**. 2015. 63 f. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, 2015.

SUN, D.; MENG, J.; LIANG, H.; YANG, E.; HUANG, Y.; CHEN, W.; JIANG, L.; LAN, Y.; ZHANG, W.; GAO, J. Effect of volatile organic compounds absorbed to fresh

biochar on survival of *Bacillus mucilaginosus* and structure of soil microbial communities. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, p. 271-281, 2015.

TAN, Y.L.; ABDULLAH, A.Z.; HAMEED, B.H. Fast pyrolysis of durian (*Durio zibethinus* L) shell in a drop-type fixed bed reactor: Pyrolysis behavior and product analyses. **Bioresource Technology**, v. 243, p. 85-92, 2017.

VILLAGRA-MENDOZA, K.; HORN, R. Effect of biochar addition on hydraulic functions of two textural soils. **Geoderma**, v. 326, p. 88–95, 2018.

WANG, F.; WANG, X.; SONG, N. Biochar and vermicompost improve the soil properties and the yield and quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in plastic shed soil continuously cropped for different years. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 315, p. 107425, 2021.

WANG, Y.; YIN, R.; LIU, R. Characterization of biochar from fast pyrolysis and its effect on chemical properties of the tea garden soil. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 110, p. 375–381, 2014.

XIAO, X.; CHEN, B.; CHEN, Z.; ZHU, L.; SCHNOOR, J.L. Insights into multilevel structures of biochars and their potential environmental applications: a critical review. **Environmental Science & Technology**, v. 52, p. 5027–5047, 2018.

YARGICOGLU, E.N.; YAMINI, B.; REDDY, K.R.; SPOKAS, K. Physical and chemical characterization of waste wood derived biochars. **Waste Management**, v. 36, p. 256–268, 2015.

YUAN, P.; WANG, J.; PAN, Y.; SHEN, B.; WU, C. Review of biochar for the management of contaminated soil: Preparation, application and prospect. **Science of The Total Environment**, v. 659, p. 473-490, 2019.

ZHANG, J.; LÜ, F.; ZHANG, H.; SHAO, L.; CHEN, D.; HE, P. Multiscale visualization of the structural and characteristic changes of sewage sludge biochar oriented towards potential agronomic and environmental implication. **Scientific Reports**, v. 5, p. 1–8, 2015.