

Efeito do biocarvão de serragem de eucalipto sobre a simbiose de fungos micorrízicos arbusculares nativos

Effect of eucalyptus sawdust biochar on the symbiosis of native arbuscular mycorrhizal fungi

DOI: 10.34188/bjaerv6n2-051

Recebimento dos originais: 05/01/2023

Aceitação para publicação: 31/03/2023

João Carlos Ferreira Mendonça

Graduando em Agronomia pela Universidade Federal de Uberlândia/Instituto de Ciências Agrárias
Instituição: Universidade Federal de Uberlândia/campus Monte Carmelo
Endereço: Rodovia LMG,746 - km 01, Monte Carmelo - MG, Brasil
E-mail: joaomendoncaagro1805@ufu.br

Bruna Teodoro Naves

Graduanda em Agronomia pela Universidade Federal de Uberlândia/Instituto de Ciências Agrárias
Instituição: Universidade Federal de Uberlândia/campus Monte Carmelo
Endereço: Rodovia LMG,746 - km 01, Monte Carmelo - MG, Brasil
E-mail: bruna.naves@ufu.br

Luis Fernando Vieira da Silva

Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade de São Paulo/Escola Superior de
Agricultura Luiz de Queiroz
Instituição: Universidade de São Paulo/Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
Endereço: Av. Professor Pádua Dias, 11, CEP 13418900, Piracicaba, SP, Brasil
E-mail: vieira.silva@usp.br

Edmar Isaias de Melo

Doutor em química analítica pela Universidade Federal de Uberlândia/Instituto de Química
Instituição: Universidade Federal de Uberlândia/campus Monte Carmelo
Endereço: Rodovia LMG,746 - km 01, Monte Carmelo - MG, Brasil
E-mail: emelo@ufu.br

RESUMO

O biochar material produzido a partir da pirólise de materiais lignocelulósicos, pode contribuir para aumento da fertilidade, melhoria da disponibilidade de nutrientes e favorecer a atividade microbiana do solo, em específico a influenciar a simbiose micorrízica arbuscular. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de doses de biochar produzido a partir da serragem de eucalipto, na simbiose micorrízica arbuscular de fungos nativos presentes no solo do bioma cerrado. O delineamento experimental aplicado foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e cinco repetições, correspondendo a doses de biochar (0, 5, 10 e 15 % m/m). Utilizou-se a gramínea (*Panicum miliaceum* L.) em LATOSSOLO VERMELHO distrófico e após trinta dias foram avaliados a densidade de esporos (DE), porcentagem de colonização radicular (Col), pH, condutividade elétrica (CE) e respiração basal do solo (RBS). O biochar proporcionou aumento nos valores de pH e DE em função das doses de biochar, apresentando diferença significativa pelo teste de *tukey* ($p < 0.05$) em relação ao tratamento sem adição de biochar, o inverso ocorreu para RBS. Já para as variáveis CE e Col, ocorreu o aumento e redução em função das doses, respectivamente. Os resultados

permitiram verificar que o biochar da serragem de eucalipto favoreceu a simbiose FMA nativos, além de garantir a redução da acidez e não provocar o aumento da condutividade elétrica do solo.

Palavras-chave: qualidade do solo, pirólise, reaproveitamento de resíduo, micorriza

ABSTRACT

The biochar material produced from the pyrolysis of lignocellulosic materials can contribute to increased fertility, improved nutrient availability, and favor soil microbial activity, in particular to influence the arbuscular mycorrhizal symbiosis. The objective of this work was to evaluate the influence of biochar doses produced from eucalyptus sawdust on the arbuscular mycorrhizal symbiosis of native fungi present in the soil of the cerrado biome. The experimental design was entirely randomized, with four treatments and five repetitions, corresponding to doses of biochar (0, 5, 10 and 15% m/m). The gramineous plant (*Panicum miliaceum* L.) was used in Dystrophic RED LATOSOL. After thirty days the spore density (SD), percentage of root colonization (Col), pH, electrical conductivity (EC) and basal soil respiration (BSR) were evaluated. The biochar provided increased pH and DE values as a function of biochar doses, presenting significant difference by the Tukey test ($p < 0.05$) in relation to the treatment without biochar addition, the opposite occurred for RBS. For the variables EC and Col, there was an increase and reduction in function of the doses, respectively. The results allowed verifying that the biochar from eucalyptus sawdust favored the symbiosis of native AMF, besides guaranteeing the reduction of acidity and not causing an increase in the electrical conductivity of the soil.

Keywords: soil quality, pyrolysis, waste reuse, mycorrhiza

1 INTRODUÇÃO

A qualidade do solo está relacionada a serviços ecossistêmicos, como purificação e regulação de água, produção de alimentos, fibras e manutenção de funções globais do ecossistema (Morel; Acosta, 2022; Vidal Legaz et al. 2017). Recentemente microbiologistas têm voltado sua atenção para a biomassa microbiana do solo, a parte viva da matéria orgânica, que além de armazenar nutrientes pode servir como indicador rápido de mudanças no solo, refletindo a sensibilidade da microbiota às inúmeras interferências do homem nos ecossistemas (Ribeiro da Silva et al. 2010). Segundo Rodrigues et al. (2021), os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), são organismos biotróficos obrigatórios que são capazes de estabelecer relação simbiótica com as raízes das plantas. Os FMAs são componentes muito importante na manutenção da diversidade e produtividade dos ecossistemas, pois atuam nos processos biogeoquímicos fundamentais para o crescimento das plantas e no desenvolvimento do solo (Huang et al. 2021).

A simbiose micorriza arbuscular (MA) é um tipo evolutivamente de coexistência de plantas e fungos. Uma das principais funções da simbiose MA envolvem a troca bidirecional de nutrientes entre o fungo e a planta hospedeira, o que aumenta a absorção de nutrientes pelo hospedeiro. As micorrizas, além de melhorar o estado nutricional, protege as plantas hospedeiras contra estresse biótico e abiótico (Nacoon et al. 2020), melhora a absorção de água (Sampaio, 2012), contribui para

a atividade biológica e ciclagem de matéria orgânica do solo (Paterson et al. 2016), melhoram o vigor das mudas na sua fase de formação (Gao et al. 2020), além de promover melhoria na estrutura do solo e estabilidade agregados (Zhang et al. 2021).

A atividade microbiana, inclusive dos FMA pode ser influenciada por diversos fatores como propriedades do solo, clima, relevo, práticas de manejo, fertilização, rotação de culturas, plantio direto (Sale et al. 2015; Soudzilovskaia et al. 2015), e aplicação de substratos que favorecem o desenvolvimento da comunidade microbiana no solo, dentre eles o biochar (House et al. 2020). Os efeitos do biochar em simbiontes associados a plantas, por exemplo, FMA são de grande importância econômica e ambiental, pois geralmente essas associações são afetadas positivamente pelo biochar (Liu et al. 2020; Yang et al. 2020), por permitir aumentar o enraizamento durante a germinação, e promover a melhoria na biomassa e comprimento radicular (Silva et al. 2019).

O biochar consiste em um substrato que favorece o desenvolvimento da comunidade microbiana no solo (Ravidran et al. 2019), atuando de diversas formas para a melhoria do mesmo, dentre elas o aumento da fertilidade, melhoria da disponibilidade de nutrientes (Aggangan et al. 2019), aumento do pH e a retenção de água, diminuição na perda de nutrientes por lixiviação no solo (Glaser et al. 2002) além de promover alterações na simbiose micorrízica arbuscular. Nesse sentido, objetivou-se avaliar a influência de doses de biochar produzido a partir da serragem de eucalipto na simbiose micorrízica arbuscular de fungos nativos presentes no solo do bioma cerrado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Uberlândia – *Campus* Monte Carmelo, estado de Minas Gerais, no município de Monte Carmelo (18° 43' 36,37" de latitude Sul, 47° 31' 28,55" de longitude Oeste e altitude média de 900 m acima do nível do mar), no período de novembro a dezembro de 2019. A temperatura da casa de vegetação apresentou uma média mínima de 21 °C e uma média máxima de 29 °C durante a realização do experimento. O solo utilizado no ensaio foi coletado na profundidade 0,0 – 0,20 m, no município de Douradoquara – MG, sendo classificado como LATOSSOLO VERMELHO distrófico (Santos et al. 2018).

O biochar utilizado na composição dos tratamentos foi produzido a partir de serragem de eucalipto (*Eucalyptus* sp.), resíduo da indústria madeireira do município de Monte Carmelo – MG. O biochar foi produzido a partir da pirólise de 5,00 kg de resíduos submetidos a uma temperatura de 500 °C, pelo processo de pirólise lenta, em forno térmico com dois cilindros adaptado de um modelo amplamente utilizado por agricultores tailandeses (Prakongkep et al. 2015).

O delineamento experimental aplicado foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e cinco repetições, totalizando 25 observações. Os tratamentos corresponderam a quatro doses de

biochar (0, 5, 10 e 15 % m m⁻¹ em relação a massa do solo). As unidades experimentais foram vasos de 500 mL onde foram semeadas aproximadamente cinco sementes de painço (*Panicum miliaceum* L.). Trinta dias após a semeadura avaliou-se a influência do biochar na simbiose dos (FMA) pela determinação da densidade de esporos (DE) e colonização micorrízica (Col).

A extração de esporos foi realizada conforme metodologia descrita por Gerdemann & Nicolson (1963). Uma porção de 50 g proveniente do solo rizosférico dos tratamentos foi lavada por três vezes com água de torneira em peneira com malhas de 0,50 mm e 0,035 mm. O material retido na peneira de malha 0,035 mm foi transferido com água destilada para tubo de centrifuga e centrifugado durante 3 min a 1500 rpm. O sobrenadante foi descartado e uma solução de sacarose a 70 % foi acrescentada e o material sedimentado foi agitado com a finalidade de tornar os esporos suspensos na solução. Em seguida foi realizada a centrifugação por 2 min a 700 rpm. Os sobrenadantes foram passados em peneira de 0,035 mm e o material retido foi transferido para placa de Petri para verificação da quantidade de esporos, realizada em Lupa (Nikon – YF100).

A colonização radicular foi avaliada pelo método de Vierheilig et al. (1998), onde as raízes foram lavadas em água corrente para retirada de solo, em seguida foram clarificadas em KOH 10% por 16 horas e acidificadas com HCl 1%, sendo coloridas com tinta de caneta comercial (Pilot, preta) com 5 % de ácido acético e 10 % de lactoglicerol. As raízes coloridas foram cortadas em segmentos de 1 cm de comprimento, onde foram montadas 10 lâminas por repetição, com 10 segmentos de raiz por lâmina. A contagem dos segmentos colonizados foi feita com auxílio de microscópio ótico (100x), conforme descrito por Melloni e Cardoso (1999).

Foram determinados no solo das unidades experimentais dos tratamentos, pH em água, condutividade elétrica em suspensão de solo disperso em água destilada na proporção 1:2,5 (Embrapa, 2011) e a atividade microbiana do solo foi estimada pela avaliação da respiração basal do solo (RBS) conforme metodologia descrita por Dionísio et al. (2016).

Os resultados foram inicialmente utilizados para calcular médias, coeficiente de variação, assimetria e curtose. Em seguida os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk ($p < 0.05$), para verificar a normalidade dos dados e análise de regressão para as doses de biochar. As Correlações de Pearson foram usadas para investigar relações de causa e efeito entre variáveis avaliadas. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software estatístico R (R Core Team, 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As dosagens de biochar (0, 5, 10 e 15 %) influenciaram os valores de média (Tabela 1) das variáveis estudadas. Para todas as variáveis os valores de médias estão bem próximos, exceto com

0 e 15 % de biochar no DE e 0 % na Col. Os valores de pH e DE, aumentaram com o aumento das doses de biochar, o inverso ocorreu para RBS. Já para as variáveis CE e Col, apresentou uma tendência de aumento e redução em função das doses, respectivamente. Segundo Vijayaraghavan, K. (2020), essa variação pode ser explicada pela composição química e estrutural do material pirolisado.

Tabela 1. Estatística descritiva (média, desvio padrão, assimetria, curtose e teste de normalidade) correspondente às variáveis (RBS, pH, CE, DE, Col).

Variáveis	Média	CV (%)	Cs	Ck	Normalidade
RBS0	9.1	1.2	0.4	1.9	0.81*
RBS5	9.0	7.4	1.7	3.2	0.05*
RBS10	8.6	1.6	-0.2	0.8	0.20*
RBS15	7.7	24.6	-2.2	4.5	0.00
pH0	7.3	3.9	-2.1	4.2	0.01
pH5	8.1	1.0	-0.7	2.4	0.81*
pH10	8.3	1.1	-0.8	1.5	0.37*
pH15	8.4	0.6	-0.1	2.2	0.97*
CE0	80.0	10.3	0.4	0.6	0.20*
CE5	79.3	8.1	1.4	2.6	0.15*
CE10	79.3	4.5	0.4	1.0	0.40*
CE15	80.2	5.1	0.7	1.9	0.83*
DE0	87.6	33.5	1.1	2.6	0.38*
DE5	90.4	19.8	0.9	2.3	0.48*
DE10	108.4	37.3	1.8	3.5	0.04
DE15	131.0	29.8	0.2	1.6	0.75*
Col0	32.0	34.2	-0.6	0.3	0.00
Col5	68.0	26.3	-1.3	2.2	0.04
Col10	84.0	19.9	-0.5	1.7	0.31*
Col15	68.0	16.1	0.6	0.3	0.00

RBS – Respiração basal do solo; pH – Potencial hidrogeniônico; CE – Condutividade elétrica; DE – Densidade de esporos; Col – Colonização micorrizica; CV- Coeficiente de variação; Cs – Coeficiente de assimetria; Ck – Coeficiente de curtose. *Teste de normalidade Shapiro-Wilk.

De acordo com os critérios de classificação de coeficiente de variação, proposto por Pimentel-Gomes (2009), os CVs encontrado para as variáveis RBS, pH e CE, foram considerados como baixo ($CV < 10\%$), exceto com 15 % de biochar no RBS e 0 % na CE. Média variação foi encontrado nas variáveis CE, DE com 0, 5 % de biochar, respectivamente, e na variável Col com 10 e 15 % ($CV 10 - 20\%$). Variação alta ($CV 20 - 30\%$) foi encontrada para as variáveis RBS e DE ambos com 15 % de biochar, e na variável Col com 5 %. Para as variáveis DE na dosagem de 0 e 10 % e Col com 0 % de biochar, foram classificadas como muito alto ($CV > 30\%$). Para Warnock et al. (2007), os CVs evidenciam a grande variação existente nos atributos do solo (RBS, pH e CE), para (DE e Col) que apresentaram variação muito alto em dosagens menores, e explicado pelo fato do aumento do biochar promover melhorias nas condições físico-químicas do solo para as micorrizas.

Para os coeficientes de assimetria (Cs), com exceção das variáveis (RBS com 10 e 15 % de biochar; pH e Col), os valores foram todos positivos indicando afastamento dos valores das variáveis

para a direita (assimetria a direita) em relação ao valor de média, sendo que os valores menores que $|0,15|$ são classificados como pequeno, entre $|0,15$ a $1,0|$ moderada e maiores que $|1,0|$ elevado. Nos coeficientes de curtose foram observadas distribuição superiores a 0,263 para todas as variáveis (leptocúrticas) (Machado et al. 2006). Todas as variáveis apresentaram normalidade de acordo com o teste de Shapiro-Wilk, exceto para as variáveis (RBS, pH e DE) com 15, 0 e 10 %, respectivamente, e Col com (0, 5 e 15 % de biochar).

Conforme os dados da análise de regressão (Tabela 2), a condutividade elétrica não apresentou diferença significativa pelo teste de *Tukey* ($p < 0.05$) em função das doses de biochar.

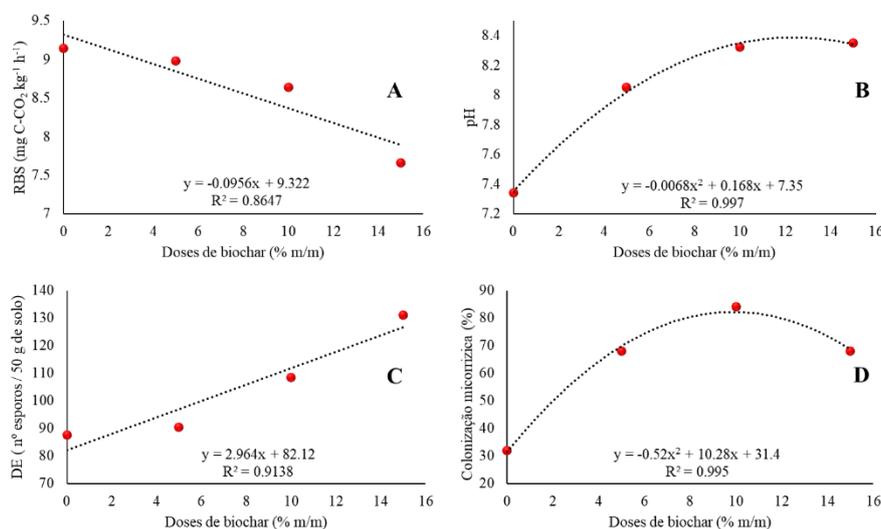
Tabela 2. Análise de regressão para as variáveis respiração basal do solo (RBS), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), densidade de esporo (DE) e colonização micorrízica (Col).

Fonte de Variação	Análise de Regressão				
	RBS	pH	CE	DE	Col
Linear	5.68*	107.83*	0.00 ^{ns}	5.06*	18.30*
Quadrática	0.84 ^{ns}	23.00*	0.09 ^{ns}	0.45 ^{ns}	16.10*

*: significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: não significativo

Na figura 1 é possível verificar o comportamento crescente nas variáveis pH, colonização micorrízica e densidade de esporo em relação às doses de biochar, exceto para a respiração basal do solo que apresentou comportamento linear decrescente em relação ao aumento de biochar. A adição de biochar favoreceu o aumento do pH e Col em função das doses, apresentando diferença significativa pelo teste de *tukey* ($p < 0.05$) em relação ao tratamento sem adição de biochar. Para a densidade de esporos do fungo micorriza no solo verifica-se o aumento crescente dessa variável em relação à dose de biochar, onde para todas as doses foi verificada diferenças significativas pelo teste de *tukey* ($p < 0.05$).

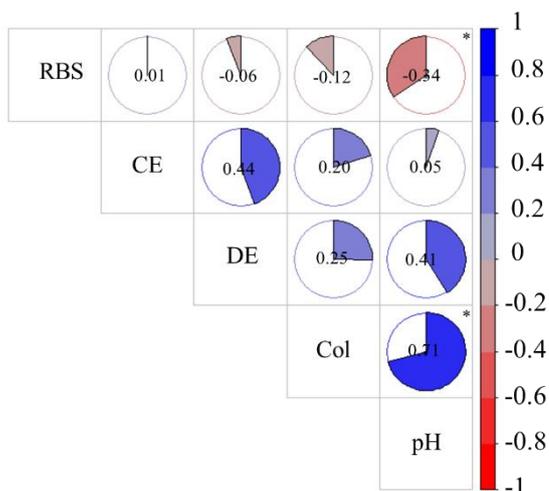
Figura 1. Análise de regressão para as variáveis RBS (A), pH (B), DE (C) e Col (D) em função das doses de biochar no solo.



A adição de biochar nos tratamentos proporcionou um decréscimo linear na respiração basal do solo (figura 1). Tal fato pode ser explicado pela temperatura em que o material foi pirolisado. De acordo com os estudos Sagrilo et al. (2014), biochar pirolisado em temperaturas abaixo de 350 °C aumentou significativamente a respiração basal do solo, enquanto aqueles pirolisados acima de 350 °C não tiveram nenhum efeito. Resultados semelhantes foram encontrado por Liu et al. (2016), ao estudar doses crescente de biochar em resposta a respiração basal do solo, sendo que o biochar pirolisados em temperaturas de pirólise mais elevadas são geralmente mais recalcitrantes do que aqueles pirolisados em baixas temperaturas.

De acordo com a classificação de Devore (2006), ocorreu uma correlação positiva forte e significativa entre pH e Col ($r = 0.71$; $p < 0.05$) (Figura 2). Observa-se que os valores de pH estão associados com a % de colonização, indicando que a simbiose pode sofrer influência com o aumento do pH, promovido pela adição de biochar, isto pode ser confirmado na (Tabela 1). Corroborando com os estudos de Miranda et al. (2015), valores de pH baixo (ácido) contribui para menor % de colonização, indicando que a acidez trocável apresenta correlação com a porcentagem de Col.

Figura 2. Correlação entre respiração basal do solo (RBS), condutividade elétrica (CE), densidade de esporo (DE), colonização micorrizica (Col) e potencial hidrogeniônica (pH). ($n = 22$). *: significativo ($p < 0,05$).



Correlação positiva bem fraca entre CE e RBS ($r = 0.01$) e fraca entre CE e Col ($r = 0.20$) demonstra que o aumento da salinidade promovida pelo biochar, tende a ter uma redução na colonização micorrízica radicular e na respiração basal do solo, porém não influenciou a densidade de esporos de FMA, que apresentou uma correlação moderada ($r = 0.44$), corroborando com as evidências de Mascena (2010). Correlação negativa fraca e significativa entre pH e RBS ($r = -0.34$; $p < 0.05$) indica que o biochar em concentrações altas, eleva o pH do solo e conseqüentemente reduz a atividade microbiana, de fato, podemos verificar está relação na (Tabela 1), onde dosagens elevadas de biochar o pH torna-se alcalino, e a RBS sofre redução.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Regressões entre doses de biochar e pH ($R^2 = 0.99$), doses de biochar e Col ($R^2 = 0.99$) e linear decrescente entre doses de biochar e RBS ($R^2 = 0.86$), revelam que dosagens elevadas de biochar pirolisados acima de 350 °C, proporciona redução nestes parâmetros. Portanto, o biochar produzido a partir do resíduo da indústria madeireira em dosagens menores, apresenta potencial de ser aplicado no solo para favorecer a colonização micorrízica de fungos nativos do bioma cerrado, além de garantir o aumento da densidade de esporo e provocar a redução da condutividade elétrica do solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro para a condução dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AGGANGAN, N. S.; JOMAO-AS, J. G. Biochar from sugarcane bagasse and arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrient status of cacao (*Theobroma cacao* L.) seedlings under nursery conditions. *Philippine Journal of Science*, v. 184, n. 4, p. 647-657, 2019.
- DEVORE, C. V. *Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências*. São Paulo: Thomson Pioneira, 706p., 2006.
- DIONÍSIO, A. P.; WURLITZER, N. J.; GOES, T. S.; BORGES, M. F.; GARRUTI, D. S.; ARAUJO, I. M. S. Estabilidade de uma bebida funcional de frutas tropicais e yacon (*Smallanthus sonchifolius*) durante o armazenamento sob refrigeração. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, v. 66, n. 2, p. 148-155, 2016. Disponível em: <http://ve.scielo.org/pdf/alan/v66n2/art08.pdf>. Acessado em 20 dezembro, 2022.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Centro Nacional de Pesquisas de Solo. *Manual de métodos de análise do solo*. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa, 2011.
- GAO, X.; GUO, H.; ZHANG, Q.; GUO, H.; ZHANG, L.; ZHANG, C.; GOU, Z.; LIU, Y.; WEI, J.; CHEN, A.; CHU, Z.; ZENG, F. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) enhanced the growth, yield, fiber quality and phosphorus regulation in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Scientific Reports*, v. 10, n. 1, p. 1-12, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-59180-3
- GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, London, v. 46, n. 2, p. 235-244, 1963. DOI: 10.1016/S0007-1536(63)80079-0
- GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: a review. *Biology and Fertility of Soils*, v. 35, n. 1, p. 219-230, 2002. DOI: 10.1007/s00374-002-0466-4
- HOUSE, G. L.; BEVER, J. D. Biochar soil amendments in prairie restorations do not interfere with benefits from inoculation with native arbuscular mycorrhizal fungi. *Restoration Ecology*, v. 28, n. 4, p. 785-795, 2020. DOI: 10.1111/rec.12924
- HUANG, Q.; JIAO, F.; HUANG, Y.; LI, N.; WANG, B.; GAO, H.; AN, S. Response of soil fungal community composition and functions on the alteration of precipitation in the grassland of Loess Plateau. *Science of the Total Environment*, v. 751, n. 1, p. 1-12, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142273
- LIU, M.; ZHAO, Z.; CHEN, L.; WANG, L.; JI, L.; XIAO, Y. Influences of arbuscular mycorrhizae, phosphorus fertilizer and biochar on alfalfa growth, nutrient status and cadmium uptake. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 196, n. 1, p. 1-8, 2020. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.123919
- LIU, X.; ZHENG, J.; ZHANG, D.; CHENG, K.; ZHOU, H.; ZHANG, A.; LI, L.; JOSEPH, S.; SMITH, P.; CROWLEY, D.; KUZYAKOV, Y.; PAN, G. Biochar has no effect on soil respiration across Chinese agricultural soils. *Science of the total environment*, v. 554-555, n. 1, p. 259-265, 2016. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.02.179
- MACHADO, S. A.; BARTOSZECK, A. C. P. S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica da distribuição diamétrica de bracatingais na região metropolitana de Curitiba. *Árvore*, v. 30, n. 5, p. 759-768, 2006. DOI: 10.1590/S0100-67622006000500009

MASCENA, A. M. Desenvolvimento inicial da bananeira micorrizada e atividade microbiana em Neossolo Quartzarênico irrigado com água salina. 2010. 88f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – UFC, Ceará, 2010. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/4975>. Acessado em 15 de Janeiro de 2022.

MELLONI, R.; CARDOSO, E. J. B. N. Quantificação de micélio extra radicular de fungos micorrízicos arbusculares de plantas cítricas. II. Comparação entre diferentes espécies cítricas e endófitos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa, MG, v. 23, n. 1, p. 59-67, 1999. DOI: 10.1590/S0100-06831999000100008

MIRANDA, V. F. L.; MELO, E. I.; BERTINI, S. C.; FERNANDES, M. A. R.; SILVA, J. R.; ZAMPIROLI, R. Rede neural artificial aplicada na avaliação da população de fungos micorrízicos arbusculares na rizosfera de cafeeiros. *Sigmae*, v. 4, n. 2, p. 24-30, 2015. Disponível em: <https://publicacoes.unifal-mg.edu.br/revistas/index.php/sigmae/article/view/240/pdf>. Acessado em 20 Dezembro de 2022

MOREL, A.; ACOSTA, O. O. Calidad del suelo en diferentes usos y manejo por medio de la macrofauna como indicador biológico / Quality of the soil in the different uses and managements through macrofauna as a biological indicator. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 5, n. 1, 2022. DOI: 10.34188/bjaerv5n1-074

NACCOON, S.; JOGLOY, S.; RIDDECH, N.; MONGKOLTHANARUK, W.; KUYPER, T. W.; BOONLUE, S. Interaction bet ween phosphate solubilizing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on growth promotion and tuber inulin content of helianthus tuberosus L. *Scientific Reports*, v. 10, n. 1, p. 1-10, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-61846-x

PATERSON, E.; SIM, A.; DAVIDSON, J.; DANIELL, T. J. Arbuscular mycorrhizal hyphae promote priming of native soil organic matter mineralization. *Plant and Soil*, v. 408, n. 1-2, p. 243-254, 2016. DOI: 10.1007/s11104-016-2928-8

PIMENTEL-GOMES, F. *Curso de estatística experimental*. 15 ed., Piracicaba: Fealq, 451p, 2009.

PRAKONGKEP, N.; GILKES, R. J.; WIRIYAKITNATEEKUL, W. Forms and solubility of plant nutrient elements in tropical plant waste biochars. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 178, n. 5, p. 732-740, 2015. DOI: 10.1002/jpln.201500001

R CORE TEAM. R: *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016.

RAVINDRAN, B.; NGUYEN, D. D.; CHAUDHARY, D. K.; CHANG, S. W.; KIM, J.; LEE, S. R.; SHIN, J. D.; JEON, B. H.; CHUNG, S.; LEE, J. Influence of biochar on physico-chemical and microbial community during swine manure composting process. *Journal of Environmental Management*, v. 232, n. 1, p. 592-599, 2019. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.11.119

RIBEIRO DA SILVA, R.; NAVES SILVA, M. L.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N.; ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes – MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 5, p. 1585-1592, 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000500011

RODRIGUES, M. Â.; PIROLI, L. B.; FORCELINI, D.; RAIMUNDO, S.; SILVA DOMINGUES, L.; CASSOL, L. C.; CORREIA, C. M.; ARROBAS, M. Use of commercial mycorrhizal fungi in stress-free growing conditions of potted olive cuttings. *Scientia Horticulturae*, v. 275, n. 1, p. 1-11, 2021. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109712

SAGRILO, E.; JEFFERY, S.; HOFFLAND, E.; KUYPER, T. W. Emission of CO₂ from biochar-amended soils and implications for soil organic carbon. *GCB Bioenergy*, v. 7, n. 6, p. 1294-1304, 2014. DOI: 10.1111/gcbb.12234

SALE, V.; AGUILERA, P.; LACZKO, E.; MADER, P.; BERNER, A.; ZIHLMANN, U.; HEIJDEN, M. G. A. V.; OEHL, F. Impact of conservation tillage and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 84, n. 1, p. 38-552, 2015. DOI: 10.1016/j.soilbio.2015.02.005

SAMPAIO, A. M. N. C. O papel das micorrizas no modo de produção biológico da alface (*Lactuca sativa* L.). 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Biológica) – Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Portugal, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/20.500.11960/1173>. Acessado em 19 de dezembro, 2022

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. *Sistema brasileiro de classificação de solo*, (353p.). Brasília: Embrapa Solos.

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, n. 1, p. 1-8, 2019. DOI: 10.36725/agries.v5i0.1614

SOUZILOVSKAIA, N. A.; DOUMA, J. C.; AKHMETZANOVA, A. A.; BODEGOM, P. M. V.; CORNWELL, W. K.; MOENS, E. J.; TRESEDER, K. K.; TIBBETT, M.; WANG, Y. P.; CORNELISSEN, J. H. C. Global patterns of plant root colonization intensity by mycorrhizal fungi explained by climate and soil chemistry. *Global Ecology and Biogeography*, v. 24, n. 3, p. 371-382, 2015. DOI: 10.1111/geb.12272

VIDAL LEGAZ, B.; SOUZA, D. M.; TEIXEIRA, R. F. M.; ANTÓN, A.; PUTMAN, B.; SALA, S. Soil quality, properties, and functions in life cycle assessment: an evaluation of models. *Journal of Cleaner Production*, v. 140, n. 2, p. 502-515, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.05.077

VIERHEILIG, H.; COUGHLAN, A. P.; WYSS, U.; PICHÉ, Y. Inky and vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhizal fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 64, n. 12, p. 5004-5007, 1998. DOI: 10.1128/AEM.64.12.5004-5007.1998

VIJAYARAGHAVAN, K. The importance of mineral ingredients in biochar production, properties and applications. *Critical reviews in environmental science and technology*, v. 51, n. 4, p. 1-27, 2020. DOI: 10.1080/10643389.2020.1716654

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

YANG, Q.; RAVNSKOV, S.; NEUMANN ANDERSEN, M. Nutrient uptake and growth of potato: Arbuscular mycorrhiza symbiosis interacts with quality and quantity of amended biochars. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 183, n. 2, p. 220-232, 2020. DOI: 10.1002/jpln.201900205

ZHANG, Z.; SHI, Z.; YANG, J.; HAO, B.; HAO, L.; DIAO, F.; WANG, L.; BAO, Z.; GUO, W. A new strategy for evaluating the improvement effectiveness of degraded soil based on the synergy and diversity of microbial ecological function. *Ecological Indicators*, v. 120, n. 2, p. 1-12, 2021. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106917