

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**Jéssica Costa de Oliveira**

**Qualidade do solo e crescimento inicial de plantas do Cerrado após adubação com resíduos de  
cana-de-açúcar e biochar de torta de filtro**

**Montes Claros**

**2022**

**Jéssica Costa de Oliveira**

**Qualidade do solo e crescimento inicial de plantas do Cerrado após adubação com resíduos de cana-de-açúcar e biochar de torta de filtro**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Leidivan de Almeida Frazão

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria das Dores Magalhães Veloso

Coorientador: Dr. Evander Alves Ferreira

Montes Claros  
Setembro de 2022

Oliveira, Jéssica Costa de.

O48q  
2022

Qualidade do solo e crescimento inicial de plantas do cerrado após adubação com resíduos de cana-de-açúcar e biochar de torta de filtro [manuscrito]/ Jéssica Costa de Oliveira. Montes Claros, 2022.

83 f.: il.

Tese (doutorado) - Área de concentração em Produção Vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientadora: Leidivan Almeida Frazão

Banca examinadora: Maria das Dores Magalhães Veloso, Evander Alves Ferreira, Rodinei Facco Pegoraro, Fernando Colen, Alessandro de Paula Silva, Yule Roberta Ferreira Nunes.

Inclui referências: f. 19-26; 35-40; 65-67; 79-82

1. Crescimento (Plantas) -- Teses. 2. Solos -- Qualidade -- Teses. 3. Solos -- Degradação -- Teses. 4. Solos -- Composição -- Teses. 5. Fisiologia vegetal -- Teses. 6. Resíduos industriais -- Teses. 7. Pirólise -- Teses. I. Frazão, Leidivan Almeida. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 631.4



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS  
GERAIS INSTITUTO DE CIÊNCIAS  
AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO  
VEGETAL

**ATA DE DEFESA DE TESE**

Aos 30 dias do mês de setembro de 2022, às 13:30 horas, sob a Presidência da Professora Leidivan Almeida Frazão, D. Sc. (Orientadora UFMG/ICA) e com a participação dos Professores Maria das Dores Magalhães Veloso, D. Sc. (Coorientadora; UNIMONTES), Evander Alves Ferreira, D. Sc. (Coorientador; ICA/UFMG), Rodinei Facco pegoraro, D. Sc. (ICA/UFMG), Fernando Colen, D. Sc. (ICA/UFMG), Alessandro de Paula Silva, D. Sc. (IFNMG) e Yule Roberta Ferreira Nunes, D. Sc. (UNIMONTES), reuniu-se, por videoconferência, a banca de tese de **Jéssica Costa de Oliveira**, aluna do Curso de Doutorado em Produção Vegetal. O resultado da defesa de tese intitulada: **“Qualidade do solo e crescimento inicial de plantas do Cerrado após adubação com resíduos de cana-de-açúcar e biochar de torta de filtro”**, sendo a aluna considerada **APROVADA**.

Obs.: A aluna somente receberá o título após cumprir as exigências do **ARTIGO 65** do regulamento do Curso de Doutorado em Produção Vegetal, conforme apresentado a seguir:

**Art. 65 Para dar andamento ao processo de efetivação do grau obtido, o candidato deverá, após a aprovação de sua Dissertação ou Tese e da realização das modificações propostas pela banca examinadora, se houver, encaminhar à secretaria do Colegiado do Programa, com a anuência do orientador, 1 (um) exemplar impresso e 1 (um) exemplar eletrônico da dissertação ou tese, no prazo de 60 (sessenta) dias.**

Nada mais havendo a tratar, eu, Professora Leidivan Almeida Frazão, Presidente da Banca, lavrei a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora.

Montes Claros, 30 de setembro de 2022.

Leidivan Almeida Frazão  
Orientadora

Maria das Dores Magalhães Veloso  
Coorientadora

Evander Alves Ferreira  
Coorientador

Rodinei Facco Pegoraro  
Membro

Fernando Colen  
Membro

Alessandro de Paula Silva  
Membro

Yule Roberta Ferreira Nunes  
Membro

---



Documento assinado eletronicamente por **Leidivan Almeida Frazao, Professora do Magistério Superior**, em 03/10/2022, às 09:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rodinei Facco Pegoraro, Professor do Magistério Superior**, em 03/10/2022, às 15:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Colen, Membro**, em 03/10/2022, às 18:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Evander Alves Ferreira, Professor do Magistério Superior - Visitante**, em 03/10/2022, às 18:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria das Dores Magalhaes Veloso, Usuário Externo**, em 03/10/2022, às 19:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alessandro de Paula Silva, Usuário Externo**, em 04/10/2022, às 15:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Yule Roberta Ferreira Nunes, Usuária Externa**, em 05/10/2022, às 08:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1801332** e o código CRC **1ACC2848**.

**Jéssica Costa de Oliveira**

**Qualidade do solo e crescimento inicial de plantas do Cerrado após adubação com resíduos de cana-de-açúcar e biochar de torta de filtro**

Aprovado pela banca examinadora constituída pelos professores:

Maria das Dores Magalhães Veloso (Coorientadora – UNIMONTES)

Evander Alves Ferreira (Coorientador – ICA/UFMG)

Rodinei Facco Pegoraro (Professor – ICA/UFMG)

Fernando Colen (Professor – ICA/UFMG)

Alessandro de Paula Silva (Professor – IFNMG)

Yule Roberta Ferreira Nunes (Professora – UNIMONTES)



---

Leidivan de Almeida Frazão (Orientadora – ICA/ UFMG)

Montes Claros, 30 de Setembro de 2022

*A Deus, meu pai, meu protetor,  
minha luz, dedico  
este trabalho que marca o  
final de um percurso  
recheado de experiências  
inesquecíveis.*

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço, primeiramente a Deus e à Virgem Maria pela força e direcionamento.

À minha família, por sempre me apoiarem. Sei que foram momentos difíceis, mas serão compensados no futuro.

Aos meus pais por todo apoio recebido.

Ao meu esposo Wátilla, pela paciência, compreensão, carinho e amor.

À minha filha Isadora, que me inspirou e motivou com seu nascimento durante o doutorado.

Aos meus irmãos, familiares e amigos pelo incentivo.

Ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais – ICA/UFMG, por possibilitar a realização do doutorado.

Ao Instituto Federal do Norte de Minas Gerais por me conceder o afastamento e bolsa para a realização do Doutorado.

À minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Leidivan Almeida Frazão, pela orientação e amizade ao longo desses anos.

Aos meus coorientadores Prof. Dr. Evander Alves Ferreira e Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria das Dores Magalhães Veloso pela orientação e presteza em auxiliar na execução deste estudo.

Aos professores da banca examinadora, pela participação e sugestões prestadas.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, pelos ensinamentos transmitidos.

Aos técnicos de laboratório e todos os funcionários do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais – ICA/UFMG, pelo auxílio.

Ao Grupo de Estudos em Sistemas de Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais – ICA/UFMG e à equipe do Laboratório de Ecologia Vegetal da UNIMONTES, que me ajudaram em campo e laboratório para realização desta pesquisa.

Agradeço a TODOS que, de alguma forma, me ajudaram durante esses quatro anos. Muito obrigada!



## QUALIDADE DO SOLO E CRESCIMENTO INICIAL DE PLANTAS DO CERRADO APÓS ADUBAÇÃO COM RESÍDUOS DE CANA-DE-AÇÚCAR E BIOCHAR DE TORTA DE FILTRO

### RESUMO

Em virtude do aumento da produção da cana-de-açúcar no Brasil, o manejo adequado dos resíduos provenientes do processamento da indústria sucroalcooleira tornou-se um grande desafio. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de subprodutos de cana-de-açúcar e biochar de torta de filtro no crescimento inicial de espécies do Cerrado e na qualidade do solo. Foram implantados dois experimentos. O primeiro, foi conduzido em uma área em recuperação com plantio de mudas adubadas com subprodutos de cana-de-açúcar com os tratamentos: (T1) sem adição de subproduto ou adubo; (T2) torta de filtro; (T3) bagaço de cana-de-açúcar; (T4) torta de filtro + bagaço de cana-de-açúcar e (T5) fertilizante mineral NPK 4:14:8. Para acompanhar o crescimento das mudas, foram realizadas três avaliações (40, 200 e 400 dias após plantio) de altura total e diâmetro à altura do solo das plantas. A qualidade do solo foi avaliada nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, com a determinação dos teores de carbono e nitrogênio total e microbianos, relação C:N, respiração basal do solo, quociente metabólico e quociente microbiano, após um ano do plantio das mudas. O segundo experimento foi conduzido em casa de vegetação, onde foi avaliado o efeito de quatro doses de biochar de torta de filtro (1%, 2%, 4% e 8% v/v) e dois tratamentos controle (com correção do solo e adubação e sem adubação), na fisiologia e crescimento de três espécies do Cerrado: *Acrocomia aculeata*, *Psidium firmum* e *Anacardium humile* e nos atributos químicos e microbiológicos do solo. Foram avaliadas as variáveis fisiológicas: fotossíntese, transpiração, condutância estomática, CO<sub>2</sub> consumido, carbono interno e taxa de transporte de elétrons; e morfológicas: altura e diâmetro das plantas. Os atributos do solo avaliados foram: pH, teores de Ca, Mg, P, K, CTC, carbono orgânico e nitrogênio total e microbianos. No experimento 1, para a espécie *A. humile*, o T2 favoreceu seu crescimento em diâmetro, e para *H. courbaril* o T3 proporcionou maior crescimento das plantas. Para *H. impetiginosus*, o T1, T2 e T5 proporcionaram maior crescimento em altura. *A. humile*, *B. capitata* e *H. courbaril* tiveram maior crescimento em altura com adição de torta de filtro e bagaço (T2, T3 e T4). Quanto aos atributos do solo, de 0-10 cm, o teor de carbono orgânico, nitrogênio total e microbiano foram os que mais se correlacionaram com T2. De 10-20 cm, as variáveis responderam bem aos tratamentos T1, T2 e T3. No experimento 2, para *A. aculeata*, a aplicação de 2% de biochar, favoreceu a fotossíntese. Para o *P. firmum*, aos 30 dias após o transplante, o tratamento sem adubação obteve as maiores médias para as variáveis fisiológicas. *A. humile* respondeu positivamente à aplicação de biochar. Nos atributos do solo, a dose 1% de biochar e adubação foram os tratamentos que melhor condicionou o solo. Dessa forma, o uso dos resíduos de cana-de-açúcar e biochar de torta de filtro, promoveram bom crescimento e respostas fisiológicas das mudas nativas de Cerrado, assim como melhorias nos atributos do solo, sendo, portanto, indicados para utilização em projetos de recuperação de áreas degradadas.

Palavras-chave: Crescimento de plantas. Atividade microbiana. Recuperação de áreas degradadas. Matéria orgânica do solo. Fisiologia de plantas. Resíduos industriais. Pirólise de resíduos.

## SOIL QUALITY AND INITIAL GROWTH OF CERRADO PLANTS AFTER FERTILIZING WITH SUGAR CANE RESIDUES AND FILTER PIE BIOCHAR

### ABSTRACT

Due to the increase in sugarcane production in Brazil, the proper handling of residues from processing in the sugar and alcohol industry has become a major challenge. The objective of this work was to evaluate the effect of sugarcane by-products and filter cake biochar on the initial growth of Cerrado species and soil quality. Two experiments were implemented. The first was carried out in an area undergoing recovery with the planting of seedlings fertilized with sugarcane by-products with the treatments: (T1) without addition of by-product or fertilizer; (T2) filter cake; (T3) sugarcane bagasse; (T4) filter cake + sugarcane bagasse and (T5) mineral fertilizer NPK 4:14:8. To follow the growth of the seedlings, three evaluations (40, 200 and 400 days after planting) of total height and diameter at ground height of the plants were carried out. Soil quality was evaluated at depths 0-10 and 10-20 cm, with the determination of carbon and total nitrogen and microbial contents, C:N ratio, soil basal respiration, metabolic quotient and microbial quotient, after one year of planting the seedlings. The second experiment was carried out in a greenhouse, where the effect of four doses of filter cake biochar (1%, 2%, 4% and 8% v/v) and two control treatments (with soil correction and fertilization and without fertilization), on the physiology and growth of three Cerrado species: *Acrocomia aculeata*, *Psidium firmum* and *Anacardium humile*, and on the chemical and microbiological attributes of the soil. Physiological variables were evaluated: photosynthesis, transpiration, stomatal conductance, consumed CO<sub>2</sub>, internal carbon and electron transport rate; and morphological: height and diameter of the plants. The evaluated soil attributes were pH, Ca, Mg, P, K, CEC, organic carbon, total and microbial nitrogen. In experiment 1, for the species *A. humile*, T2 favored its growth in diameter, and for *H. courbaril*, T3 provided greater plant growth. For *H. impetiginosus*, T1, T2 and T5 provided greater height growth. *A. humile*, *B. capitata* and *H. courbaril* had greater growth in height with the addition of filter cake and bagasse (T2, T3 and T4). As for soil attributes, from 0-10 cm, organic carbon, total and microbial nitrogen were the ones that most correlated with T2. From 10-20 cm, the variables responded well to treatments T1, T2 and T3. In experiment 2, for *A. aculeata*, the application of 2% biochar favored photosynthesis. For *P. firmum*, 30 days after transplanting, the treatment without fertilization obtained the highest averages for the physiological variables. *A. humile* responded positively to the application of biochar. In terms of soil attributes, the 1% dose of biochar and fertilization were the treatments that best conditioned the soil. Thus, the use of sugarcane residues and filter cake biochar promoted good growth and physiological responses of native Cerrado seedlings, as well as improvements in soil attributes, and are therefore indicated for use in projects of recovery of degraded areas.

Keywords: Plant growth. Microbial activity. Recovery of degraded areas. Soil organic matter. Plant physiology. Industrial waste. Waste pyrolysis.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo Geral.....	14
2.1 Objetivos Específicos.....	14
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
3.1 Cana-de-açúcar: aspectos ambientais, subprodutos e sustentabilidade .....	15
3.2 Uso de subprodutos derivados da cana-de-açúcar em projetos de recuperação de áreas degradadas.....	15
3.3 Uso de biochar no solo.....	17
3.4 Efeitos da aplicação do biochar no crescimento e fisiologia das plantas.....	18
3.5 Referências.....	19
4 ARTIGOS.....	27
4.1 Artigo 1.....	27
4.2 Artigo 2.....	50
4.3 Artigo 3.....	68
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83

## 1 INTRODUÇÃO

O uso de resíduos agroindustriais como subprodutos tornou-se uma forma de agregação de valor às cadeias produtivas. Os processos que utilizam a sustentabilidade como premissa básica fazem com que esses produtos, antes considerados como problema, se transformem em oportunidade. Os principais resíduos gerados no processamento da cana-de-açúcar são o bagaço, a torta do filtro e a vinhaça, os quais foram transformados em subprodutos para outras finalidades (SAQUETI *et al.*, 2019).

A cana-de-açúcar é uma das culturas mais importantes para a economia nacional. O Brasil é o maior produtor mundial, com cerca de 572.874,9 mil de toneladas processadas na safra 2022/2023 (CONAB, 2022), sendo que o Estado de Minas Gerais apresenta grande importância na expansão da cultura, de forma que representa 11% da produção brasileira (SEAPA-MG, 2022).

O avanço dessas áreas cultivadas tem prejudicado a manutenção das áreas remanescentes de Cerrado com elevada fragmentação, sobretudo em áreas de reserva legal e de preservação permanente (matas ciliares) (FERREIRA *et al.*, 2009). Segundo Strassburg *et al.* (2017), se as taxas atuais de expansão de áreas de agricultura no Cerrado continuarem iguais até 2050, é provável que o bioma perca cerca de 34% de sua área de vegetação nativa restante, o que pode levar à extinção de cerca de 480 espécies de plantas endêmicas. Sendo assim, um dos desafios da produção sustentável de cana-de-açúcar no estado é o aumento da capacidade produtiva com a adequação do uso do solo, atendendo aos critérios estabelecidos para manutenção das áreas de preservação e, ou conservação ambiental, visando a manutenção da biodiversidade (TEÓFILO *et al.*, 2015).

Neste contexto, o bioma Cerrado pode ter exploração comercial sem supressão da vegetação uma vez que conta com uma quantidade expressiva de espécies frutíferas, madeireiras e medicinais como *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos, *Myracrodruon urundeuva* Allemão, *Butia capitata*, *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos, *Jacaranda brasiliana* (Lam.) Pers., *Magonia pubescens* A.St., *Hymenaea courbaril* L., *Anacardium humile* A. St.-Hil., *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius e *Psidium firmum* O. Berg. (SOARES *et al.*, 2017), dentre outras. Assim, considerando as diversas ações antrópicas no bioma Cerrado, necessitam-se de trabalhos voltados para proteção, recuperação e produção de espécies desses ambientes.

Áreas de preservação permanente (APP) que sofreram algum processo de exploração, assim como áreas agrícolas com manejo inadequado, podem desencadear a remoção ou perda por erosão do horizonte superficial do solo, juntamente com a matéria orgânica, causando sérios problemas físicos, químicos e biológicos ao substrato remanescente (LARA *et al.*, 2017). Uma das formas de recuperação destas áreas é o uso da revegetação com espécies nativas. Assim, a utilização de resíduos orgânicos para recuperar áreas degradadas é uma prática promissora que traz benefícios aos atributos do solo, desde que a sua composição e o seu potencial de liberação de nutrientes sejam conhecidos.

Uma alternativa que visa contribuir para o bom desempenho das plantas em ambientes degradados é a incorporação ao solo dos subprodutos derivados do processamento industrial da cana-de-açúcar. Para Nolla *et al.* (2015), os resíduos resultantes do processo de fabricação de açúcar e álcool (vinhaça, torta de filtro e bagaço) têm sido capazes de recompor o potencial produtivo devido à liberação gradativa de nutrientes presentes nesses materiais. Outra estratégia utilizada para o aproveitamento e destinação sustentável destes resíduos é por meio da produção de biochar, que consiste na pirolização

da matéria orgânica. Esse produto apresenta benefícios como a alcalinização de solo, o aumento da capacidade de retenção de água e a diminuição da lixiviação de nutrientes (LI *et al.*, 2019).

O êxito nos projetos de recuperação de áreas degradadas, é dependente de adequado monitoramento das espécies, por meio de avaliação de parâmetros de crescimento e produtividade de plantas ao longo do tempo, os quais baseiam-se nos aspectos morfológicos e fisiológicos destes vegetais (FONSECA *et al.*, 2002). As alterações fisiológicas que ocorrem nas plantas são os maiores indicativos de sua capacidade para resistir às adversidades causada pelo estresse (CHAUMONT; TYERMAN, 2014; KIRKHAM, 2014). Isso porque a fotossíntese é responsável por fornecer energia necessária à manutenção e desenvolvimento da planta, sendo assim, comprometer esse processo, provoca redução no potencial de crescimento das mesmas (SOARES DE MELO *et al.*, 2010). Adicionalmente, também é importante que se faça o acompanhamento da qualidade do solo, uma vez que a recuperação de ambientes degradados promove grandes melhorias aos atributos do solo (MENDONÇA *et al.*, 2013), sobretudo quando há aporte de resíduos orgânicos, que é essencial para manutenção e,ou melhoria da estrutura do solo (STEFANOSKI *et al.*, 2013).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar o crescimento inicial de mudas de espécies nativas do Cerrado e a qualidade do solo após a aplicação de subprodutos de cana-de-açúcar e biochar de torta de filtro.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar, em condições de campo, o crescimento inicial de mudas de oito espécies nativas do Cerrado plantadas após a aplicação de subprodutos da cana-de-açúcar;
- Avaliar os teores de carbono e nitrogênio total e microbianos, relação C:N, respiração basal do solo, quociente metabólico e quociente microbiano, após 1 ano de plantio das mudas;
- Produzir e caracterizar o biochar proveniente da torta de filtro da agroindústria de cana-de-açúcar;
- Avaliar, em condições controladas, o crescimento inicial de três espécies do Cerrado após a aplicação de diferentes doses de biochar;
- Avaliar os parâmetros fisiológicos: fotossíntese, transpiração, condutância estomática, CO<sub>2</sub> consumido, carbono interno e taxa de transporte de elétrons de três espécies do Cerrado em função das doses de biochar aplicadas;
- Determinar a qualidade química e biológica do solo em função das doses de biochar aplicadas.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Cana-de-açúcar: Aspectos ambientais, subprodutos e sustentabilidade

A cultura da cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil no início do século XVI, na Região Nordeste, e no século XIX o cultivo se expandiu em direção ao sul do país, estabelecendo-se, predominantemente, no Estado de São Paulo, tornando este estado o maior produtor de cana-de-açúcar e seus derivados, principalmente açúcar e álcool (VIEIRA, 2017). Continuando a expansão, no final do século XX a cana-de-açúcar avançou para o centro-oeste brasileiro, no contexto da produção de etanol.

A necessidade da redução da dependência dos combustíveis de origem fóssil, aliada à preocupação com as questões ambientais, têm culminado na elaboração de políticas de incentivos governamentais para a produção de biocombustíveis em várias partes do mundo (KAMMEN *et al.*, 2008). Neste contexto, o Brasil ocupa lugar de destaque, haja vista ser o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e o segundo maior produtor mundial de etanol (CONAB, 2022).

Apesar dos reconhecidos benefícios ambientais dos biocombustíveis, muitas são as preocupações em relação aos impactos sobre a biodiversidade, os recursos hídricos e a produção de alimentos. A produção de cana-de-açúcar, sem o atendimento às devidas normatizações e planejamentos, pode resultar em impactos negativos para a biodiversidade, uma vez que a inserção de novas áreas com supressão da vegetação nativa provoca a diminuição de habitats e compromete a prestação de serviços ambientais, além da degradação do solo e alteração do clima (MENANDRO *et al.*, 2019).

Assim, a necessidade de se ordenar a expansão do cultivo da cana-de-açúcar no Brasil motivou, por iniciativa do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA, em parceria com o Ministério do Meio Ambiente - MMA, a elaboração do Zoneamento Agroecológico – ZAE da cultura, com base em características edafo-climáticas, relevo, situação da cobertura vegetal, localização de áreas protegidas e presença de áreas urbanas e de mineração (MANZATTO *et al.*, 2009). Visando atender à este zoneamento, sobretudo das áreas protegidas, e à legislação vigente, muitos produtores tiveram que reverter o uso do solo, sendo necessária a recuperação destes ambientes, que foram degradados pelo cultivo inadequado na cana-de-açúcar (RIBEIRO *et al.*, 2015).

Diante disso, é necessário aprimorar o conhecimento sobre as melhores espécies e o manejo adequado do solo, de forma a acelerar o restabelecimento das principais funções ecossistêmicas desses ambientes (CAMPELLO *et al.*, 2017). Uma alternativa que visa contribuir para o bom desenvolvimento das plantas em ambientes degradados é a incorporação de resíduos orgânicos ao solo, que podem ser aqueles subprodutos derivados da cana-de-açúcar. Estes materiais podem ser utilizados como fonte de nutrientes e de matéria orgânica, em níveis que dependem das características do resíduo adicionado (MODESTO *et al.*, 2009).

#### 3.2 Uso de subprodutos derivados da cana-de-açúcar em projetos de recuperação de áreas degradadas

A produção de cana-de-açúcar no Brasil vem crescendo a cada ano (CONAB, 2022). Consequentemente, a geração de resíduos é diretamente proporcional à produção agrícola, sendo estes

potencialmente impactantes ao meio ambiente, caso não sejam devidamente tratados e destinados. Segundo Bonassa *et al.* (2015) a quantidade de 1 tonelada de cana moída, gera aproximadamente 250 kg de bagaço e 35 kg de torta de filtro. Os impactos ambientais associados aos resíduos decorrem da alta geração em termos quantitativos e da lenta degradabilidade, e, da geração de resíduos que podem ser tóxicos, cumulativos ou de difícil degradação (IPEA, 2012).

A aplicação desses resíduos ao solo apresenta-se como importante alternativa como fertilizantes orgânicos, tanto para as culturas agrícolas quanto para o reflorestamento de áreas degradadas. Dessa forma, o que é visto como problema pode se transformar em oportunidade, pois a aplicação de resíduos como fontes de matéria orgânica ao solo pode tornar a atividade mais sustentável, diminuindo as implicações no meio ambiente e na saúde humana (PAIVA; MARIA, 2018).

Os principais resíduos gerados do processamento da cana-de-açúcar são o bagaço, a torta de filtro e a vinhaça (NOGUEIRA; GARCIA 2013). Estes resíduos podem ser denominados como subprodutos, desde que sejam aproveitados de maneira eficiente. A torta de filtro e o bagaço, subprodutos da agroindústria de açúcar e álcool, são considerados excelentes fertilizantes, além de propiciar melhores condições para desenvolvimento das mudas (SCHNEIDER *et al.*, 2012). A torta de filtro é um composto proveniente da filtração do caldo extraído das moendas no filtro rotativo, obtido de uma mistura de bagaço moído e lodo da decantação (RAMOS *et al.*, 2017), apresenta cerca de 70% de umidade, constituída com altos teores de matéria orgânica, cálcio, potássio, magnésio e nitrogênio (ROSSETO; SANTIAGO, 2022).

Vale ressaltar que, para o setor canavieiro, é considerado altamente viável o desenvolvimento de processos que permitam transformar resíduos e subprodutos da atividade em compostos com reatividade e estabilidade, apropriadas para o uso como adubos orgânicos (MONTEIRO *et al.*, 2002). A recuperação dos ambientes degradados, principalmente onde já não existe mais vegetação remanescente, apresenta grandes dificuldades com relação ao alto custo de implantação sobretudo com fertilizantes convencionais. Desse modo, o uso de subprodutos orgânicos, oriundos da cadeia produtiva da cana-de-açúcar torna-se uma alternativa que minimiza este problema. Além de custo baixo, o uso desses subprodutos traz benefícios para os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Em áreas degradadas, os solos possuem deficiência em relação aos seus atributos físico-químicos devido aos processos erosivos, o que dificulta o plantio de mudas como método de recuperação desses ambientes. A inserção da matéria orgânica presente nos subprodutos auxilia nos processos de recuperação de áreas, atuando como condicionador de solos (NOVAIS *et al.*, 2007; VAN LIER, 2010).

Os principais benefícios dos resíduos orgânicos para a fertilidade do solo são o fornecimento de nutrientes para as mudas, aumento da capacidade de troca de cátions do solo, aumento da superfície específica do solo, aumento da disponibilidade de nutrientes para as plantas, complexação de substâncias tóxicas (LIMA *et al.*, 2011). O tipo de fonte de resíduos a ser utilizada em recuperação de áreas deve ser definido de acordo com o tipo de atividade das indústrias, e outro fator a ser observado é o tipo de vegetação a ser utilizada em projetos de recuperação, pois diferentes espécies de plantas necessitam de teores dos elementos em quantidades diferentes.

Os principais benefícios da aplicação de resíduos orgânicos em relação aos atributos físicos do



solo são a melhoria da estrutura, densidade, porosidade, capacidade de retenção e infiltração de água. Quanto a biota do solo, o uso de resíduos orgânicos atua como uma fonte de alimento para microrganismos decompositores, responsáveis pela decomposição e mineralização da matéria orgânica no solo, além de proporcionar um ambiente favorável para o aparecimento e desenvolvimento de insetos, fungos bactérias e outros organismos (VAN LIER, 2010).

Uma questão que deve ser considerada é que a aplicação de resíduos orgânicos tem efeito limitado sobre o carbono do solo ao longo do tempo. Estudos indicam que grande quantidade de C aplicado ao solo é transformado durante o processo de decomposição (SCALA *et al.*, 2006) sem o aproveitamento adequado por parte das plantas. Uma estratégia que vem sendo preconizada para retardar o processo de decomposição da matéria orgânica e, um aumentar o aproveitamento pelas plantas é submeter esses resíduos ao processo de pirólise, e consequente produção de biochar (KRULL *et al.*, 2009).

### 3.3 Uso do biochar no solo

O biochar é um produto formado a partir da decomposição térmica da biomassa vegetal, com baixo suprimento de oxigênio e em altas temperaturas (SÁNCHEZ-REINOSO; ÁVILA; RESTREPO, 2020). Uma das hipóteses de sua origem está relacionada às terras pretas de índio na Amazônia, que são manchas de solos ricas em carbono, alta fertilidade e elevada atividade biológica. Essas terras pretas estão relacionadas às atividades de índios pré-colombianos, em que a matéria orgânica se encontra em estado recalcitrante e dessa forma reduz a emissão de carbono e contribui para o seu sequestro (MANGRICH *et al.*, 2011). Entretanto, Silva *et al.* (2021) apresenta outra explicação, de que os povos indígenas usaram seus conhecimentos para identificar e povoar preferencialmente áreas de alta fertilidade antes do cultivo de plantas. Essa hipótese implica que os pré-colombianos exploraram os processos naturais da paisagem e não foram responsáveis por sua gênese.

Com essas informações, pesquisadores passaram a estudar a produção de um condicionador de solo a partir de resíduos orgânicos que se assemelhe às características dessas terras pretas (MANGRICH *et al.*, 2011). O uso deste produto é avaliado como alternativa para melhoria da fertilidade do solo em longo prazo (TRAZZI, 2014), pois além de ser quimicamente estável, permanece ativo no solo por vários anos (KÄTTERER *et al.*, 2019). Quando comparado ao resíduo *in natura*, têm as vantagens de reduzir seu volume final e fornecer nutrientes e carbono em formas mais estáveis ao solo (GWENZI *et al.* 2018; SHENG *et al.* 2016). Estudo indica que uma grande quantidade de carbobo aplicado diretamente, na forma de resíduos orgânicos não é aproveitado pelas plantas por meio do processo de decomposição (SCALA *et al.*, 2006).

Em relação ao aspecto químico, os efeitos da adição de biochar ao solo incluem a liberação de nutrientes nele contidos, maior retenção de nutrientes do solo, mitigação de valores extremos de pH do solo, retenção e neutralização de contaminantes por adsorção (KÄTTERER *et al.*, 2019; ZEESHAN *et al.*, 2020). Há evidências que indicam que o biochar pode diminuir a adsorção de P no solo, resultando em maior disponibilidade do fosfato inorgânico adicionado (MORAIS *et al.*, 2013).

Da Silva *et al.* (2017), em estudo de biochar de diferentes resíduos, observaram aumento linear do pH do solo à medida que se aumentou a dose de biochar aplicada. Fernandes *et al.* (2018), em trabalho

com biochar de cama de frango em Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, verificaram aumentos dos níveis de potássio, cálcio, magnésio, sódio e capacidade de troca de cátions, além de aumentar o pH, diminuindo a acidez potencial do solo. Teutscherova *et al.* (2018), em suas pesquisas, demonstram que o efeito da aplicação de biochar para elevação do pH do solo depende do tipo de solo e do tempo decorrido desde a aplicação até a ação do biochar.

Quanto às características físicas do solo, o biochar auxilia na redução da compactação, melhorias na aeração e estrutura do solo (KALU *et al.*, 2021; LIANG *et al.*, 2021). Acrescenta-se a isso a redução da densidade do solo e maior estabilidade de agregados (BURREL *et al.*, 2016). Com essas melhorias das características físicas do solo, o desenvolvimento dos microrganismos do solo em qualidade e quantidade é favorecido (HAGNER *et al.*, 2016). Dessa forma, o biochar é considerado um insumo de baixo custo utilizado em sistemas de produção agrícola (ZEESHAN *et al.*, 2020; SHAKOOR *et al.*, 2021).

Segundo Albuquerque *et al.* (2014), o biochar por possuir estrutura aromática predominantemente resistente à degradação química e biológica apresenta capacidade de permanência no solo da ordem de milhares de anos. No entanto, esses mesmos autores relatam que os efeitos do biochar para as plantas podem ser variáveis e sofrem interferência de características como o tipo, taxa de aplicação, propriedades do solo e condições ambientais e, de acordo com sua variabilidade, as respostas podem ser negativas ou positivas. Estudo utilizando restos de madeira para produção do biochar em diferentes temperaturas e posterior aplicação ao solo, verificou que houve a elevação do pH na maior temperatura de pirólise do biochar (475°C) enquanto na temperatura menor (300°C) não foi possível observar diferença de pH e umidade em relação ao controle (HAGNER *et al.*, 2016).

O biochar também influencia a biomassa microbiana do solo por interferir em diversos processos de forma direta ou indireta, como a alteração das propriedades químicas e físicas do solo, que podem interferir no crescimento e abundância dos microrganismos (WANG *et al.*, 2017; LU *et al.*, 2020). Além disso, o biochar pode fornecer um habitat que predispõe o crescimento microbiano (KHADEM; RAIESI 2017), devido às estruturas de seus poros, protegendo-os da ação dos predadores.

Teutscherova *et al.* (2018) afirmam que o biochar influencia no carbono da biomassa microbiana, sugerindo que o aumento do pH do solo ou o declínio da toxicidade do Al, podem ter estimulado a mineralização da M.O. e o crescimento microbiano a curto prazo, o que também está de acordo com o aumento da respiração basal do solo. Entretanto, Lopes *et al.* (2021) observaram em estudo da qualidade microbiana em solo com biochar, que doses muito elevadas de biochar podem reduzir a qualidade microbiana total do solo ao longo do tempo.

Outro aspecto importante do biochar é a melhor destinação e aproveitamento de resíduos sólidos. Portanto, estudos de produção e aplicação de biochar estão aliados a necessidade ambiental de reduzir ou mesmo eliminar a grande quantidade de resíduos oriunda das atividades humanas ou, ainda, diminuir a emissão de carbono permitindo o armazenamento do mesmo no solo (NOVOTNY *et al.*, 2015).

### **3.4 Efeitos da aplicação do biochar no crescimento e fisiologia das plantas**

A aplicação do biochar no solo favorece a absorção de nutrientes pelas plantas, incrementa os teores de carbono orgânico e nitrogênio, além de favorecer a mineralização destes nutrientes, promovendo aumento na produtividade da cultura (NIE *et al.*, 2018; QUAN *et al.*, 2020). Estudos têm

mostrado que o biochar, utilizado juntamente com fertilizantes orgânicos e inorgânicos, melhora as características químicas, físicas e microbiológicas do solo, a produtividade de culturas e a disponibilidade de nutrientes para as plantas (GRABER *et al.*, 2010 SILBER *et al.*, 2010).

O biochar utilizado como condicionante de substrato aumentou significativamente os parâmetros de crescimento de *Tachigali vulgaris* (SOUCHIE *et al.*, 2011). Quando adicionado ao substrato comercial, o biochar foi suficiente para melhorar os parâmetros de crescimento de *Tectona grandis* (REZENDE *et al.*, 2016). O biochar associado a outras fontes de nutrientes, N e P ao substrato, apresenta potencial de uso para a produção de mudas de qualidade de *Anadenanthera colubrina* (LIMA *et al.*, 2016). Estudo realizado por Holanda (2019), onde foi avaliado o crescimento de moringa em plantios homogêneos sob diferentes adubações, foi observado que o tratamento biochar + adubação mineral apresentou resultados significativos quanto a altura e diâmetro da espécie.

A desenvolvimento das plantas está diretamente relacionada às características da espécie cultivada, já que a avaliação de tais características nos possibilita acompanhar o seu crescimento e desenvolvimento, além da resposta às condições nas quais é submetida. Um dos principais fatores que influenciam as variáveis de crescimento e fisiológicas das espécies do Cerrado são as condições de solo.

### 3.5 Referências

ALBURQUERQUE, J. A.; CALERO, J. M.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CAMPILLO, M. C. D.; GALLARDO, A.; VILLAR, R. Effects of biochars produced from different feedstocks on soil properties and sunflower growth. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, v. 177, p. 16–25, 2014.

ALGUACIL, M. M.; TORRES M. P.; TORRECILLAS, E.; DÍAZ, G.; ROLDÁN, A. Plant type differently promote the arbuscular mycorrhizal fungi biodiversity in the rhizosphere after revegetation of a degraded, semiarid land. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 43, n. 1, pp. 167-173, 2011.

BONASSA, G.; SCHNEIDER, L. T.; FRIGO, K. D. A.; FEIDEN, A.; TELEKEN, J. G.; FRIGO, E. P. Subprodutos gerados na produção de bioetanol: bagaço, torta de filtro, água de lavagem e palhagem. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v.4, p.144-166, 2015.

BURRELL, L. D.; ZEHETNER, F.; RAMPAZZO, N.; WIMMER, B.; SOJA, G. Long-term effects of biochar on soil physical properties. *Geoderma*, v. 282, p. 96–102, 2016.

CAMPELLO, E. F.C.; FRANÇA JUNIOR, H. M.; LELES, P. S. S.; LASTE, K. C. D.; FARIA, S. M.; RESENDE, A. S. Escolha de espécies e de espaçamento como ferramentas de controle de plantas daninhas em restauração florestal. In: RESENDE, A. S. de; LELES, P. S. dos S. **Controle de plantas daninhas em restauração florestal**. Brasília, DF : Embrapa, 2017. p. 29-43.

CHAUMONT, F.; TYERMAN, S. D. A. Highly regulated channels controlling plant water relations. *Plant physiology*, v. 164, n. 4, p. 1600-1618, 2014.

COLE, R. J.; HOLL, K. D.; KEENE, C. L.; ZAHAWI, R. A. Direct seedling of latesuccessional trees to restore tropical montane forest. **Forest Ecology and Management**, v. 26, n. 10, p. 1590-1597, 2011.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento**: Cana-de-açúcar, Safra 2022/2023. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 20 de Agosto de 2022.

EVANS, D. M.; ZIPPE, C. E.; BURGER, J. A.; STRAHM, B. D.; VILLAMAGNA, A. M. Reforestation practice for enhancement of ecosystem services on a compacted surface mine: path toward ecosystem recovery. **Ecological Engineering**, v. 51, p. 16-23, Feb. 2013.

FERNANDES, J. D.; CHAVES, L. H. G.; MENDES, J. S.; CHAVES, I. B.; TITO, G. A. Soil Chemical Amendments and the Macronutrients Mobility Evaluation in Oxisol Treated With Biochar. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, p. 238-247, 2018.

FERREIRA M. J.; PEREIRA I. M.; BOTELHO S. A.; MELLO C. R. Avaliação da regeneração natural em nascentes perturbadas no município de Lavras, MG. **Ciência Florestal**, v.19, n.2, p.109-129, 2009.

FONSECA, E.P.; VALÉRI, S.V.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, N.A.N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, p. 515-523, 2002.

FURTADO, C. **Formação Econômica do Brasil**. São Paulo, Companhia Editora Nacional, 2005.

GRABER, E. R.; HAREL, Y. M.; KOLTON, M.; CYTRYN, E.; SILBER, A.; DAVID, D. R.; TSECHANSKY, L.; BORENSHTEIN M.; ELAD, Y. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. **Plant Soil**. v.337, p.481-496, 2010.

GWENZI W.; NYAMBISHI T. J.; CHAUKURA N.; MAPOPE N. Synthesis and nutrient release patterns of a biochar-based N–P–K slow-release fertilizer. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v.15, n.2, p.405-414, 2018.

HAGNER, M.; KEMPPAINEN, R.; JAUHAINEN, L.; TIILIKKALA, K.; SETÄLÄ, H. The effects of birch (*Betula* spp.) biochar and pyrolysis temperature on soil properties and plant growth. **Soil and Tillage Research**, v. 163, p. 224–234, 2016.

HOLANDA, R. F. **Crescimento inicial de *Moringa oleifera* (Moringa) em plantios homogêneos com diferentes adubações**. 2019. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba, 2019.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos**

**do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas.** Brasília, 2012.

KALU, S.; SIMOJOKI, A.; KARHU, K.; TAMMEORG, P. Long-term effects of softwood biochar on soil physical properties, greenhouse gas emissions and crop nutrient uptake in two contrasting boreal soils. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.316, n.8, p.107-454, 2021.

KAMMEN, D. M.; FARREL, A. E.; PLEVIN, R. J.; JONES, A. D. Energy and greenhouse impacts of biofuels: A framework for analysis. **Paper presented at the OECD Roundtable on Biofuels**, v.7, p.1-28, 2008.

KÄTTERER, T.; ROOBROECK, D.; GEOFFREY, O. A.; HOLGER, K. E. K.; GERT, K.; BERNARD, N.; Biochar addition persistently increased soil fertility and yields in maize-soybean rotations over 10 years in sub-humid regions of Kenya. **Field Crops Research**, v.235, n.4, p.18-26, 2019.

KHADEM, A.; RAIESI, F. Responses of microbial performance and community to corn biochar in calcareous sandy and clayey soils. **Applied Soil Ecology**, v.114, p.16-27, 2017.

KIRKHAM, M. B. **Principles of soil and plant water relations.** Academic Press, 2014.

KRULL, E.S.; BALDOC, J.A.; SKJEMSTAD, J.O.; SMERNIK, R.J. Characteristics of Biochar: Organo-chemical Properties, In: LEHMANN, J., JOSEPH, S. (Eds.), **Biochar for Environmental Management: Science and Technology.** Earthscan, London, UK, pp. 53–65, 2009.

LARA, R. O.; PEREIRA, I. M.; FERREIRA, E. A.; PEREIRA, G. A. M.; SILVA, D. V.; SILVA, E. B.; ARAÚJO, F. V.; OLIVEIRA, P. A. Análise de cobertura, levantamento florístico e fitossiológico de uma área em recuperação com topsoil na Serra do Espinhaço, **Brasil. Revista Espacios**, n.39, v.38, p.31-37, 2017.

LI,Q.; FENG,J.; WU,J.; JIA,W.; ZHANG,Q.; CHEN,Q.; ZHANG,D.; CHENG,X. Spatial variation in soil microbial community structure and its relation to plant distribution and local environments following afforestation in central China. **Soil & Tillage Research**, v.193, p.8-16, 2019.

LIANG, J.; LI, Y.; SI, B.; WANG, Y.; CHEN, X.; WANG, X.; CHEN, H.; WANG, H.; ZHANG, F.; BAI, Y.; Optimizing biochar application to improve soil physical and hydraulic properties in saline-alkali soils. **Science of The Total Environment**, v.771, n.6, p.144-802, 2021.

LIMA, P. A. F.; PACHÊCO, B. S.; SOUSA, S. R.; GATTO, A.; AQUINO, F. G. & ALBUQUERQUE, L. B. **Indicadores ecológicos: ferramentas para o monitoramento do processo de restauração ecológica.** Embrapa Cerrados, 2015.

LIMA, J.A. de; SANTANA, D.G. de; NAPPO, M.E. Comportamento inicial de espécies na revegetação da

- mata de galeria na Fazenda Mandaguari, em Indianópolis, MG. **Revista Árvore**, v.33, p.685-694, 2009.
- LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; SOFIATTI, V.; GHEYI, H. R.; ARRIEL, N. H. V. Atributos químicos de substrato de composto de lixo orgânico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.2, p.185-192, 2011.
- LIMA, S. L.; MARIMON JUNIOR, B. H.; MELO-SANTOS, K. 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, n. 2, p. 120-131, 2016.
- LOPES, E. M. G.; REIS, M. M.; FRAZÃO, L. A.; TERRA, L. E. M.; LOPES, E. F.; SANTOS, M. M.; FERNANDES, L. A. Biochar increases enzyme activity and total microbial quality of soil grown with sugarcane. **Environmental Technology & Innovation**, v. 21, p. 101-270, 2021.
- LU, H.; YAN, M.; WONG, M. H.; MO, W. Y.; WANG, Y.; CHEN, X. W.; WANG, J. J. Effects of biochar on soil microbial community and functional genes of a landfill cover three years after ecological restoration. **Science of The Total Environment**, v.717, p.133-137, 2020.
- MANGRICH, A. S.; MAIA, C. M. B. F.; NOVOTNY, E. H. Biochar: as terras pretas de índios e o sequestro de carbono. **Ciência Hoje**, v. 47, p. 48-52, 2011.
- MANZATTO, C. V.; ASSAD, E. D.; BACA, J. F. M.; ZARONI, M. J.; PEREIRA, S. E. M. (Org.). **Zoneamento agroecológico da canade-açúcar** — Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2009. 55 p.
- MARTINS, S. V. **Recuperação de matas ciliares**. 3ª Ed. Revista e ampliada. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2014. 255 p.
- MENANDRO, L. M. S.; DE MORAES, L. O.; BORGES, C. D.; CHERUBIN, M. R.; CASTIONI, G. A.; CARVALHO, J. L. N. Soil Macrofauna Responses to Sugarcane Straw Removal for Bioenergy Production. **Bioenergy Research**, v.12, n.4, p.944–957, 2019.
- MENDONÇA, V. Z.; MELLO, L.M.M.; ANDREO, T.T.I. M.; PEREIRA, F.C.B.L.; LIMA, R.C.; VALÉRIO FILHO, W.V.; YANO, E.H. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras, milho em sucessão com soja em região de cerrados. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, n.37, p. 251-259. 2013.
- MODESTO, P. T.; SCABORA M. H.; COLODRO, G.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Alterações em algumas propriedades de um latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, n. 33, p. 1489-1498, 2009.
- MONTEIRO, H.C.F.; CANTARUTTI, R.B.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Dinâmica de Decomposição e

Mineralização de Nitrogênio em Função da Qualidade de Resíduos de Gramíneas e Leguminosas Forrageiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.3, p.1092-1102, 2002.

MORAES, M.M.; COMERFORD, N.; GUERRINI, I. A.; FALCÃO, N. P. S.; REEVES, J. B. Sorption and desorption of phosphate on biochar and biochar–soil mixtures. **Soil Use and Management**, v.29, p.306-3016, 2013.

NIE, C. et al. Impact of sugarcane bagasse-derived biochar on heavy metal availability and microbial activity: a field study. **Chemosphere**, v. 200, p. 274-282, 2018.

NOGUEIRA, M. A. F.; GARCIA, M. S. Gestão dos resíduos do setor industrial sucroenergético: estudo de caso de uma usina no município de Rio Brilhante, Mato Grosso do Sul. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas**, v.17, n.17, p.3275-3283, 2013.

NOLLA, A.; VILA, EJP.; SILVA, W.; BERTICELLI, CL.; CARNEIRO, AR. Atributos e estratégias de utilização de torta de filtro como fertilizante de cana-de-açúcar. **Journal of Agronomic Science**, v.4, p.121-135, 2015.

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ. V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.LF.; CANTARUTTI, R.B; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

NOVOTNY, E.H.; MAIA, C.M.B.F.; CARVALHO, M.T.M.; MADARI, B.E. Biochar: pyrogenic carbon for agricultural use – a critical review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 321-344, 2015.

OLIVEIRA, L. S. B. L.; OLIVEIRA, D. S. B. L.; BEZERRA, B. S.; PEREIRA, B. S.; BATISTTELLE, R. A. G. Environmental of analysis of organic waste treatment focusing on composting scenarios. **Journal of Cleaner Production**, v.155, p.229-237, 2017.

OLIVEIRA, M. C.; RIBEIRO, J. F.; PASSO, F. B.; AQUINHO, F. G.; OLIVEIRA, F. F.; SOUZA, S. R. Crescimento de espécies nativas em um plantio de recuperação de Cerrado sentido restrito no Distrito Federal, **Brasil. R. bras. Bioci**, v. 13, n. 1, p. 25-32, 2015.

PAIVA, F. F. G.; MARIA, V. P. K. Gestão ambiental de resíduos industriais: análise de gestão e reaproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v.5, n.9, p. 157-166, 2017.

QUAN, G. et al. Effects of laboratory biotic aging on the characteristics of biochar and its watersoluble organic products. **Journal of hazardous materials**, v. 382, p. 121-171, 2020.

RAMOS, L. A.; LANA, R. M. Q.; KORNDORFER, G. H.; SILVA, A. A. Effect of organomineral fertilizer and poultry litter waste on sugarcane yield and some plant and soil chemical properties. **African Journal of**

**Agricultural Research**, v.12, n. 1, p.20-27, 2017.

REZENDE, F. A.; SANTOS, V. A. H. F.; MAIA, C. M. B. F.; MORALES, M. M. Biochar in substrate composition for production of teak seedlings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1449-1456, 2016.

RIBEIRO, R. B.; FILGUEIRAS, R.; RAMOS, M. C. A.; NASCIMENTO, C. R. Análise temporal das variações de parâmetros biofísicos da cana-de-açúcar em Jaíba – MG. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 03, n. 03, p.150-155, 2015.

RODRIGUES, R. R.; Lima, R. A. F.; Gandolfi, S.; Nave, A. G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1242-1251, 2009.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. **Adubação**: resíduos alternativos. Brasília, DF: EMBRAPA - 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/correcao-e-adubacao/diagnose-das-necessidades-nutricionais/recomendacao-de-correcao-e-adubacao/adubacao-residuos-alternativos>. Acesso em: 30 Agosto. 2022.

SANCHEZ-REINOSO A. D.; AVILA-PEDRAZA E. A.; RESTREPO-DIAZ H. Use of biochar in agriculture. **Acta biol**, v.25, n.2, p.327-338, 2020.

SCALA N. J.; BOLONHEZI D.; PEREIRA G. T. Short term soil CO<sub>2</sub> emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.91, p.244-248, 2006.

SCHNEIDER, C. F.; SCHULZ, D. G.; LIMA, P. R.; GONÇALVES JÚNIOR, A. C. Formas de gestão e aplicação de resíduos da cana-de-açúcar visando redução de impactos ambientais. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 5, p. 08-17, 2012.

SAQUETI, B. H F.; DONADONE, D. B. S.; SAKAI, O. A.; SAMPAIO, A. R.; BOLANHO, B. C. Efeito da adição de farinha de bagaço da maçã e hidrolato da canela encapsulado sobre as propriedades físico-químicas, sensoriais e reológicas de bebida láctea. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n.12, p. 36-54, 2019.

SEAPA-MG – **Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em: <<http://www.agricultura.mg.gov.br>>. Acesso em: 20 de Agosto de 2022.

SHAKOOR, A.; MUHAMMAD, S.; NILOVNA, S.; MUHAMMAD, C.; ARIF, S.; HASSAN, T.; MUHAMMAD, F.; TUFAL, A. Nitrous oxide emission from agricultural soils: Application of animal manure or biochar? A



global metaanalysis. **Journal of Environmental Management**, v.285, n.5, p.112-170, 2021.

SHENG Y.; ZHAN Y.; ZHU L. Reduced carbon sequestration potential of biochar in acidic soil. **Science of the Total Environment**, v.572, n.1, p.129-137, 2016.

SILBER, A.; LEVKOVICH, I.; GRABER, E.R. pH-dependent mineral release and surface properties of cornstraw biochar: agronomic implications. **Environ. Sci. Technol.** v.44, p. 9318-9323, 2010.

SILVA, L. C. R.; CORRÊA, R. S.; WRIGHT, J. L.; BOMFIM, B.; HENDRICKS, L.; GAVIN, D. G.; MUNIZ, A. W.; MARTINS, G. C.; MOTTA, A. C. V.; BARBOSA, J. Z.; MELO, V. de F.; YOUNG, S. D.; BROADLEY, M. R.; SANTOS, R. V. A new hypothesis for the origin of Amazonian Dark Earths. **Nature Communications**, v.12, n.127, 2021.

SILVA, I. C. B.; BASÍLIO, J. J. N.; FERNANDES, L. A.; COLEN, F.; SAMPAIO, R. A.; FRAZÃO, L. A. Biochar from different residues on soil properties and common bean production. **Scientia Agricola**, v. 74, n.5, p. 378-382, 2017.

SOARES DE MELO, A. Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 73-79, 2010.

SOARES, L. V.; MELO, R.; OLIVEIRA, W. S.; SOUZA, P. M.; SCHMIELE, M. Brazilian Cerrado fruits and their potential use in bakery products. In H. Lewis (Ed.), **Bread: Consumption, cultural significance and health effects** (Chap. 5, pp. 125-160). New York: Nova Publisher, 2017.

SOUCHIE, F. F.; MARIMON JUNIOR, B. H.; PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; MARIMON, B. S.; LENZA. Carvão pirogênico como condicionante para substrato de mudas de *Tachigali vulgaris* LG Silva & HC Lima. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 811-821, 2011.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.12, p. 1301-1309, 2013.

STRASSBURG, B. B. N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A. E.; OLIVEIRA FILHO, F. J. B.; SCARAMUZZA, C. A. M.; SCARANO, F. R.; SOARES-FILHO, B.; BALMFORD, A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**, v. 1, n. 4, p. 13–15, 2017.

TEÓFILO, T. S.; LOPES, C. L.; BARROS, Z. Z. X. Área cultivada com cana-de-açúcar confrontada com o zoneamento agroambiental utilizando análise supervisionada de imagem. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 30, n.2, p.137-142, 2015.

TEUTSCHEROVA, N.; LOJKA, B.; HOUŠKA, J.; MASAGUER, A.; BENITO, M.; VAZQUEZ, E. Application of holm oak biochar alters dynamics of enzymatic and microbial activity in two contrasting Mediterranean soils. **European journal of soil biology**, v.88, p.15-26, 2018.

TRAZZI, P. A. **Uso do biochar na produção de mudas e no crescimento inicial de *Pinus taeda* L.** Curitiba: FPA, 2014. 117p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná.

VAN LIER, Q.J. **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298 p.

VIEIRA, C. A. C. Sentido da colonização e revolução brasileira: crítica de caracterizações do modo de produção colonial. **Revista Serviço Social & Sociedade**, v. 129, p.205-224, 2017.

VIEIRA, C. A. C. Sentido da colonização e revolução brasileira: crítica de caracterizações do modo de produção colonial. **Revista Serviço Social & Sociedade**, v. 129, p.205-224, 2017.

WANG H.; ZHENG H.; JIANG Z.; DAI Y.; LIU G.; CHEN L.; WANG Z. Efficacies of biochar and biochar-based amendment on vegetable yield and nitrogen utilization in four consecutive planting seasons. **Sci Total Environ**, v.593, p.124- 133, 2017.

ZEESHAN, M.; AHMAD, W.; HUSSAIN, F.; AHAMD, W.; NUMAN, M.; SHAH, M.; AHMAD, I. Phytostabalization of the heavy metals in the soil with biochar applications, the impact on chlorophyll, carotene, soil fertility and tomato crop yield. **Journal of Cleaner Production**, v.10, n.5, p.1203-1218, 2020.

#### **4 ARTIGOS**

##### **4.1 Artigo 1 – Recuperação da qualidade do solo e crescimento de plantas nativas adubadas com resíduos de cana-de-açúcar**

Este artigo foi elaborado conforme normas do periódico Journal of Tropical Forest Science.

## Recuperação da qualidade do solo e crescimento de plantas nativas adubadas com resíduos de cana-de-açúcar

### Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar o uso de subprodutos de cana-de-açúcar, no crescimento de mudas do Cerrado e na qualidade do solo. O experimento foi implantado numa área degradada, onde realizou-se o plantio de mudas com os tratamentos: (T1) testemunha; (T2) torta de filtro (T3) bagaço de cana-de-açúcar; (T4) torta de filtro + bagaço de cana-de-açúcar; e (T5) fertilizante mineral. Foram realizadas três avaliações de altura e diâmetro à altura do solo das plantas. O solo foi avaliado nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, onde determinou-se o carbono e nitrogênio total e microbianos, respiração basal e acumulada, coeficiente microbiano e metabólico. Para *A. humile*, o T2 favoreceu seu crescimento em diâmetro, e para *H. courbaril* o T3 foi o que proporcionou melhor resultado. As mudas de *A. humile*, *B. capitata* e *H. courbaril* teve maior crescimento em altura com torta de filtro e bagaço (T2, T3 e T4). Nos atributos do solo, de 0-10 cm, o teor de carbono e nitrogênio total e nitrogênio microbiano foram maiores em T2, e de 10-20 cm, as variáveis responderam bem aos tratamentos T1, T2 e T3. O uso dos resíduos bagaço-de-cana e torta de filtro promoveram bom crescimento de todas as espécies utilizadas e melhorias nos atributos do solo, sendo indicados em projetos de recuperação de áreas degradadas.

**Palavras-chave:** Crescimento vegetal. Atividade microbiana. Recuperação de áreas degradadas. Matéria orgânica do solo. Resíduos sucroalcooleiro.

### Abstract

The aim of this study was to evaluate the use of sugarcane by products on the growth of Cerrado seedlings and soil quality. The experiment was implemented in a degraded area, where seedlings were planted with the following treatments: (T1) control; (T2) filter cake (T3) sugarcane bagasse; (T4) filter cake + sugarcane bagasse; and (T5) mineral fertilizer. Three evaluations of plant height and diameter at ground level were carried out. The soil was evaluated at depths 0-10 and 10-20 cm, where total and microbial carbon and nitrogen, basal and accumulated respiration, microbial and metabolic coefficient were determined. For *A. humile*, T2 favored its growth in diameter, and for *H. courbaril*, T3 provided the best result. The seedlings of *A. humile*, *B. capitata* and *H. courbaril* had greater growth in height with filter cake and bagasse (T2, T3 and T4). In the soil attributes, from 0-10 cm, the carbon content and total nitrogen and microbial nitrogen were higher in T2, and from 10-20 cm, the variables responded well to treatments T1, T2 and T3. The use of sugarcane bagasse and filter cake residues promoted good growth of all species used and improvements in soil attributes, being indicated in recovery projects for degraded areas.

**Keywords:** Plant growth. Microbial activity. Recovery of degraded areas. Soil organic matter. Sugar and alcohol residues.

## **Introdução**

O bioma Cerrado brasileiro, com aproximadamente 204 milhões de ha, é uma das áreas mais importantes da América do Sul; abrange áreas de recarga de importantes aquíferos e rios, e corresponde a 24% do território brasileiro (Medrado e Lima, 2014); apresenta elevado potencial ecológico e comercial das espécies frutíferas, madeireiras e medicinais (Soares et al. 2017). Entretanto este bioma tem sofrido perda de vegetação devido à expansão da agricultura e pastagem (Silva et al. 2006), o que resultou em um grande número de espécies ameaçadas de extinção (Rodrigues et al. 2020). Portanto faz-se necessária a condução de trabalhos voltados para proteção, recuperação e produção de espécies desses ambientes.

A baixa disponibilidade de nutrientes no solo do Cerrado, como o fósforo (P), que é pouco móvel e apresenta alta tendência à adsorção aos óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) (Sun et al. 2020), associada à intemperização e acidez, limita o desenvolvimento e o estabelecimento de plantas nessas áreas (Peng et al. 2020). Logo, é indispensável a busca por fontes alternativas e sustentáveis que permitam melhorar as condições químicas, físicas e biológicas desses solos e, assim, disponibilizar às plantas parte de sua necessidade por nutrientes.

Segundo Torres et al. (2012), os subprodutos da indústria de cana-de-açúcar obtidos na produção de açúcar e álcool podem ser utilizados de diversas formas, inclusive como fertilizantes, proporcionando considerável redução de custos na adubação e menor impacto ambiental. A cana-de-açúcar é uma das culturas brasileiras mais importantes para a economia nacional. O Brasil é o maior produtor mundial, com cerca de 572.874,9 mil de toneladas processadas na safra 2022/2023 (CONAB, 2022), e a utilização dos subprodutos como fertilizantes podem resolver parcialmente alguns problemas gerados pelo descarte de resíduos, em benefício da sustentabilidade da produção.

Uma das formas de recuperação de áreas é o uso da revegetação com espécies nativas. Assim, a utilização de resíduos orgânicos para recuperar áreas degradadas é uma prática promissora que traz benefícios aos atributos do solo, desde que a sua composição e o seu potencial de liberação de nutrientes sejam efetivados.

Para que se obtenha êxito nos projetos de recuperação de áreas degradadas, e um bom crescimento das espécies é necessário fazer o monitoramento, por meio de avaliação de parâmetros de crescimento e produtividade ao longo do tempo (Fonseca et al. 2002). Por outro lado, também é importante que se faça o acompanhamento da qualidade do solo, uma vez que a recuperação de ambientes degradados promove grandes melhorias aos atributos do solo (Mendonça et al. 2013), sobretudo quando há aporte de resíduos orgânicos, que é essencial para manutenção e, ou melhoria da estrutura do solo (Stefanoski et al. 2013).

Diante do exposto o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de subprodutos de cana-de-açúcar, no crescimento inicial de mudas de espécies nativas do Cerrado e na qualidade do solo numa área em recuperação.

## **Material e métodos**

### ***Localização e caracterização da área experimental***

Este estudo foi realizado em uma área de chapada, no planalto central brasileiro, à 67 km da cidade de João Pinheiro (17°44'16.3" L e 45°49'68.2" N), noroeste de Minas Gerais, Brasil. A área possui relevo plano, com ondulações em sulco, abrangendo um mosaico de veredas de encostas e de encaixe, as quais se encerram em três veredas contíguas no interior de uma área de aproximadamente, 2.785,98 hectares. A principal atividade econômica da fazenda é a cultura da cana-de-açúcar com 1.088,80 hectares plantados, destinada à produção de etanol. A área selecionada para o experimento caracteriza-se por ser uma borda de vereda degradada que foi cultivada com cana-de-açúcar e posteriormente com pastagem.

Fitogeograficamente, a região encontra-se no domínio do Cerrado (Rizzini, 1997). O clima de acordo com Köppen é Aw tropical chuvoso, subúmido, com 4 a 5 meses secos. A média anual de precipitação é de 1.500 mm, variando entre 750 e 2.000 mm (Alvares et al. 2013), e temperatura média anual de 22,5°C.

### **Implantação do experimento**

As oito espécies utilizadas ocorrem na área, pois foram selecionadas a partir de um estudo florístico do estrato arbóreo de áreas dentro da mesma subbacia hidrográfica sendo elas: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos, *Myracrodruon urundeuva* Allemão, *Butia capitata*, *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos, *Jacaranda brasiliana* (Lam.) Pers., *Magonia pubescens* A.St., *Anacardium humile* A. St.-Hil. e *Hymenaea courbaril* L. As mudas das oito espécies utilizadas foram produzidas no viveiro de ecologia vegetal da Unimontes. No momento do plantio, as mudas se encontravam com 180 dias.

Para caracterização do solo da área experimental, foi realizada a análise química e física do solo (Tabela 1), o qual foi classificado como Neossolo Quartzarênico (Embrapa, 2018), com 84% de areia, 6% de silte e 10% de argila.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com cinco repetições e cinco tratamentos: (T1) testemunha, sem adição de resíduo ou adubo; (T2) adição de torta de filtro, com aplicação de 3500 g por cova (equivalente a 8 g de N por cova); (T3) adição de bagaço de cana-de-açúcar, 300 g por cova; (T4) adição de torta de filtro (1750 g) + bagaço de cana-de-açúcar (150 g) por cova, com equivalente em N igual a 4 g; e (T5) adição de 200 g por cova de fertilizante mineral (formulado NPK 4:14:8), equivalente a 8 g de N, 28 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 16 g de K<sub>2</sub>O. Os resíduos e o adubo foram aplicados direto na cova de plantio que mediu 40 x 40 x 40 cm. Cada parcela mediu 50 m x 40 m (2000 m<sup>2</sup>).

A quantidade aplicada de torta de filtro por cova foi calculada com base na análise química da torta de filtro (Tabela 2).

Assim, cinco blocos de cinco parcelas foram plotados, em diferentes pontos da área selecionada, totalizando 25 parcelas, com uma área destinada ao experimento de cinco ha. Para a implantação das parcelas experimentais, inicialmente, todas as covas de plantio receberam o respectivo tratamento. O plantio das mudas das oito espécies utilizadas foi realizado no espaçamento 3 m x 3 m (Figura 1a e 1b). Em seguida as mudas foram identificadas por meio de placas numeradas (Figura 1c). Antes do plantio, toda a área foi roçada, e para o bom desempenho das plantas o coroamento foi mantido durante todo o experimento.

### ***Variáveis utilizadas para avaliar o crescimento das plantas***

Para avaliação do crescimento das mudas foi utilizado um modelo de parcelas subdivididas no tempo. As plantas foram avaliadas durante 13 meses, de dezembro de 2018 a janeiro de 2020. Foram feitas três avaliações (40, 200 e 410 dias após o plantio) onde foram aferidas as medidas do diâmetro a altura do solo (DAS) e a altura total (H) das plantas. A altura e o diâmetro das plantas foram obtidas fazendo uso de uma trena de madeira graduada e um paquímetro digital, respectivamente.

### ***Variáveis utilizadas para avaliar a qualidade do solo***

A qualidade do solo foi avaliada nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, com a determinação dos teores de carbono (COT) e nitrogênio (NT) do solo e da biomassa microbiana (CBM e NBM), respiração basal e acumulada do solo (RBS e RAS), quociente metabólico ( $qCO_2$ ) e quociente microbiano ( $qMic$ ), após 410 dias de plantio das mudas.

Para isso, em janeiro de 2020, nos diferentes tratamentos, amostras foram coletadas em mini-trincheiras, utilizando-se cinco repetições, dispostas no centro das parcelas, nas profundidades 0-10 e 10-20 cm de profundidade. Para verificar o efeito dos tratamentos, as mini-trincheiras foram abertas na zona de influência radicular, onde foram aplicados os tratamentos (Figura 2).

Para determinação dos teores de C orgânico total (COT) e N total (NT) do solo, as amostras foram secas ao ar, passadas por peneiras de 2 mm, homogeneizadas, moídas e peneiradas a 0,150 mm. Para a determinação do COT, utilizou-se o método de combustão úmida denominado Walkley & Black, enquanto, para o NT do solo, utilizou-se a destilação de arraste de vapor em semi-micro Kjeldhal, ambos os métodos descritos em Tedesco et al. (1995).

Para a análise do carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo ( $C_{mic}$  e  $N_{mic}$ ), foi utilizado o método da fumigação-extração, proposto por Vance et al. (1987) e Silva et al. (2007).

A respirometria do solo foi medida pela quantificação do C mineralizável, por meio do desprendimento do  $CO_2$  ( $C-CO_2$ ), capturado em solução de NaOH  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , segundo método descrito de Anderson (1982) e adaptado por Silva et al. (2007). As quantificações de  $C-CO_2$  foram realizadas em intervalos de 24, 48, 72, 96 e 120 horas. A taxa de respiração por unidade de biomassa, ou quociente metabólico ( $qCO_2$ ), foi obtida pela relação entre a taxa de respiração basal (RBS), que consiste na medida da produção de  $CO_2$ , resultante da atividade metabólica no solo, e da biomassa microbiana (Anderson e Domsch, 1989); e a partir dos valores do CBM e do teor de C orgânico (COT), foi calculado o quociente microbiano ( $qMic$ ), de acordo com Sparling (1992).

### ***Análise estatística***

Os dados de cada variável foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett ( $p < 0,05$ ) para verificar a normalidade e homogeneidade de variâncias.

Em relação às variáveis referentes ao desempenho das mudas, foi adotado o modelo de parcelas subdivididas no tempo e realizada uma análise estatística para cada espécie. Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, os efeitos referentes aos tratamentos aplicados, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância ( $p \leq 0,05$ ). Posteriormente, foram ajustadas equações de regressão, ao nível de 5% de probabilidade, para verificar o comportamento das variáveis, em função das épocas de avaliação.

Para as variáveis de solo foi aplicada a análise de variância multivariada (MANOVA) com o objetivo de verificar o agrupamento das diferentes características do solo. Para tanto foi utilizada a função manova do pacote Stats, recorrendo ao teste de Pillai a 5% de significância. Após verificar a ausência de multicolineariedade, os dados foram submetidos à análise de variáveis canônicas (VC) com auxílio do pacote candisc (Friendly e Fox, 2017).

Os procedimentos estatísticos foram realizados com auxílio do software R (R Development Core Team, 2016).

## Resultados

### Crescimento das mudas

Para as espécies *A. humile* e *H. courbaril* houve efeito significativo da interação entre tratamentos e época avaliada (Figura 3). O crescimento em diâmetro em seis das oito espécies estudadas (*H. impetiginosus*, *M. urundeuva*, *B. capitata*, *H. Heptaphyllus*, *J. brasiliiana* e *M. pubescens*), não variou significativamente entre os tratamentos, época de avaliação e interação entre tratamentos e época avaliada (Figura 3).

Para as seis espécies *H. impetiginosus*, *M. urundeuva*, *B. capitata*, *H. Heptaphyllus*, *J. brasiliiana*, *M. Pubescens* houve crescimento em diâmetro durante todo o período avaliado, e para *A. humile* e *H. courbaril* é possível observar padrão de crescimento diferente para cada tratamento (Figura 3).

O crescimento em diâmetro das espécies *A. humile* e *H. courbaril* foi estatisticamente diferente aos 410 dias após o plantio (Tabela 3). Para *A. humile* a adição de torta de filtro (T2) favoreceu significativamente o seu crescimento em diâmetro. Entretanto, para a *H. courbaril* este mesmo tratamento não favoreceu o crescimento em diâmetro das plantas, sendo que o bagaço (T3) proporcionou o melhor resultado para essa espécie (Tabela 3 e Figura 3).

Para a variável altura total, em três das oito espécies estudadas (*H. impetiginosu*, *A. humile* e *H. courbaril*) houve efeito significativo da interação entre tratamentos e época avaliada sendo apresentado nos gráficos (Figura 4) o crescimento em altura, para cada tratamento em função das épocas de avaliação. A altura de quatro espécies (*M. urundeuva*, *H. Heptaphyllus*, *J. brasiliiana* e *M. pubescens*), não variou significativamente entre os tratamentos e interação entre tratamentos e época avaliada, e para a espécie *B. capitata* houve o efeito isolado dos tratamentos e época de avaliação.

Para as cinco espécies *M. urundeuva*, *B. capitata*, *H. Heptaphyllus*, *J. brasiliiana* e *M. pubescens* houve crescimento linear, da altura das plantas, durante todo o período de avaliação (410 dias), sendo que *H. impetiginosus*, *A. humile* e *H. courbaril*, apresentou comportamento diferente de crescimento para cada tratamento (Figura 4).

Para altura total das mudas de *H. impetiginosus*, *A. humile* e *H. courbaril*, o efeito dos tratamentos foi observado aos 410 dias após o plantio, onde as médias de altura total apresentaram diferença estatística (Tabela 4), sendo que para *B. capitata* está apresentado na Tabela 4, o efeito isolado dos tratamentos.

Nas mudas de *H. impetiginosus*, observa-se que a não adição de resíduo ou adubo (T1) proporcionou maior crescimento (Tabela 4 e Figura 4), entretanto não há diferença estatística das médias com adição de torta de filtro (T2) e fertilizante mineral (T5) (Tabela 4). Para as mudas de *A.*



*humile* e *B. capitata* a adição de torta de filtro e bagaço (T2 e T3) proporcionou maior crescimento em altura, sendo que para a espécie *H. courbaril* o tratamento que proporcionou melhor desempenho foi o bagaço (T3) (Tabela 4).

### **Atributos do solo**

Para analisar o efeito simultâneo dos tratamentos sobre as variáveis de solo, em cada profundidade, foi realizada uma análise de variáveis canônicas (VC). A matriz de vetores próprios, mostra a proporção da variância total explicada pelas diferentes variáveis canônicas e suas correlações com as características analisadas (Figura 5).

Para a camada de 0-10 cm as duas primeiras variáveis canônicas (VC1, VC2) explicaram 85,66% da variação total observada, sendo que a variável canônica 1 (VC1) explicou 63,03% da variação total e, a variável canônica 2 (VC2), explicou 22,63% (Figura 5A). Para a camada de 10-20 cm as duas primeiras variáveis canônicas (VC1, VC2) explicaram 88,47% da variação total observada, sendo que a variável canônica 1 (VC1) explicou 70,36% da variação total e, a variável canônica 2 (VC2), explicou 18,11% (Figura 5B).

Observou-se que, as correlações positivas são responsáveis pela discriminação dos tratamentos localizados à direita da VC1 e na parte superior da VC2. Já as correlações negativas, são responsáveis por discriminar os tratamentos situados à esquerda de VC1 e na parte inferior de VC2 (Figura 5). A proximidade dos tratamentos com os respectivos vetores de correlação das variáveis, sugere as características em que estes proporcionam melhorias no respectivo atributo do solo, conforme o resíduo utilizado (torta de filtro e bagaço-de-cana).

Na profundidade de 0-10 cm observou-se que o teor de COT, NT e Nmic foram as variáveis que mais se correlacionaram com a adição de torta de filtro (T2). O tratamento T4 (Torta de filtro + bagaço-de-cana) apresentou boa correlação com a respiração basal (RBS) e com o qMic, e os tratamentos T1, T3 e T5 (sem adição de resíduo ou adubo, adição de bagaço-de-cana e adição de fertilizante mineral) apresentaram correlação negativa com os atributos do solo avaliados (Figura 5A).

Para a profundidade de 10-20 cm, de modo geral, as variáveis responderam bem aos tratamentos T1, T2 e T3 (sem adição de resíduo e adubo, adição de torta de filtro e adição de bagaço-de-cana). As variáveis COT, Cmic e RBS foram maiores no tratamento T1 (sem adição de resíduo e adubo), sendo que o qMic, Nmic e RAS tiveram uma maior relação com o tratamento T2 (adição de torta de filtro) (Figura 5B).

## **Discussão**

### **Crescimento das mudas**

Para a espécie *A. humile* e *B. capitata* foi possível observar que a adição de torta de filtro e bagaço-de-cana (T2 e T3) favoreceu significativamente o seu desempenho em diâmetro e altura, aos 410 dias. Para *H. courbaril* o bagaço de cana (T3) foi o tratamento que proporcionou o melhor resultado. Este resultado pode estar associado ao aumento de matéria orgânica nesses tratamentos.

A melhora na qualidade química, física e biológica do solo estão relacionados ao conteúdo de matéria orgânica (Han et al. 2016), uma vez que a mesma tem funções importantes na complexação de

substâncias e no fornecimento e armazenamento de nutrientes e água para as plantas (Pezarico et al. 2013).

A torta de filtro apresenta funções importantes para o solo, pois aumenta a capacidade de retenção de água, formando agregados capazes de aumentar a capacidade de absorção do solo, além de aumentar a capacidade de troca catiônica (Façanha et al. 2002). Todas essas funções exercem efeito direto sobre o crescimento das plantas (Ulukam, 2008; Rima et al. 2011). Os ganhos no crescimento das plantas também podem ser explicados pelo incremento na fertilidade do solo proporcionado pela adição da torta de filtro, a qual possui altos teores de N e outros nutrientes em sua composição.

A torta de filtro, por ser um composto basicamente orgânico, tem composição química variável e apresenta altos teores de matéria orgânica, fósforo, nitrogênio, cálcio e possui, ainda, teores consideráveis de potássio, magnésio (Nunes Júnior, 2005), e expressivas quantidades de Fe, Mn, Zn e Cu (Cerri et al. 1988). Assim, esse produto já é utilizado em substituição parcial da fertilização mineral em vários países, entre eles Brasil, Índia, Cuba, Paquistão, Austrália (Santos et al. 2010; Dotaniya et al. 2016; González et al. 2016; Sehar et al. 2018; Liu et al. 2018).

O bom crescimento das plantas no tratamento com adição de bagaço pode estar relacionado a capacidade de retenção de água deste resíduo em até 68% (Diel et al. 2018), uma vez que esse é composto basicamente de lignocelulose (Santos et al. 2012). Mizobata et al. (2017), em estudo de crescimento de mudas de baru e gonçalo-alves em solo degradado, suplementado com resíduo, também observaram um bom crescimento em altura das plantas, com adição de bagaço de cana-de-açúcar.

Nas mudas de *H. Impetiginosus*, observa-se que a não adição de resíduo ou adubo proporcionou maior crescimento, entretanto não há diferença estatística das médias com adição de torta de filtro (T2) e fertilizante mineral (T5). *H. impetiginosus* é considerada uma espécie exigente em nutrientes (Cunha et al. 2006; Souza et al. 2006). Entretanto, os resultados do presente estudo contrariam essa afirmação mostrando a espécie como robusta e tolerante a condições de degradação.

Os resultados do presente trabalho evidenciam a boa adaptação das espécies utilizadas às condições de degradação às quais foram expostas. Marques et al. (2014) também observaram bom desempenho de espécies do cerrado para recuperação de áreas degradadas, quando comparadas com espécies exóticas.

### **Atributos do solo**

Os resultados do presente estudo mostram o potencial de melhoria dos atributos do solo em questão, com a adição dos resíduos orgânicos derivados da cana-de-açúcar, sobretudo na camada superficial de 0 – 10 cm. Os maiores incrementos de COT, na camada de 0 – 10 cm, observados nos tratamentos com resíduos confirmam o poder de aporte de matéria orgânica no solo pelos resíduos da indústria canavieira. Rosset et al. (2014) relatam resultados similares ao encontrarem maiores teores de COT, em solos manejados com resíduos da indústria de cana-de-açúcar, sendo semelhantes aos da vegetação nativa. Esses mesmos autores ainda sugerem que a perda da matéria orgânica do solo, em algumas condições, pode ser compensada com a aplicação de resíduos.

O nitrogênio se destaca entre os nutrientes presentes em alguns resíduos, subprodutos e compostos. A correlação do nitrogênio total (NT) com os tratamentos com adição de resíduo estão de acordo com o aumento do teor de matéria orgânica do solo (Pardon et al. 2017). A baixa correlação do

NT no tratamento com fertilizante mineral (T5) deve-se ao fato desses fertilizantes fornecerem nutrientes prontamente disponíveis para as plantas; e a análise do solo foi realizada em amostras coletadas 410 dias após a aplicação. Portanto a lenta decomposição dos resíduos favorece a permanência do N no sistema solo-planta por mais tempo (Antonkiewicz et al. 2019).

Para os teores de CBM e NBM, na profundidade de 0 a 10 cm, vários estudos relatam as melhorias na biologia do solo quando se aumenta a matéria orgânica. Li et al. (2019) reportaram que o COT e o NT do solo foram responsáveis pela manutenção da biomassa microbiana. Beutler et al. (2015) descreveram que o aumento de matéria orgânica, proporcionaram melhores condições para o estabelecimento e manutenção de populações microbianas. Valores mais elevados da respiração basal (RBS), respiração acumulada (RAS), quociente microbiano (qMic) e quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) implicam em maior atividade biológica, que está diretamente relacionada com a disponibilidade de carbono do solo e, ou da biomassa microbiana (Allen et al. 2011).

Os resultados do presente estudo indicam alta atividade microbiana na área. Esse dado é importante, pois pode fornecer informações sobre a capacidade de recuperação do solo. Os microrganismos representam o repertório mais rico em química e diversidade molecular na natureza, fornecendo a base para processos ecológicos, como ciclos biogeoquímicos (Panizzon et al. 2015) e são fundamentais para a qualidade do solo, pois podem alterar as características físico-químicas do ambiente, participando diretamente das transformações de nitrogênio e fósforo (Messenssini et al. 2015).

## Conclusões

O uso dos resíduos torto de filtro e bagaço de cana-de-açúcar contribui para um bom crescimento das mudas e melhorias nos atributos do solo.

As mudas plantadas apresentaram bom crescimento 410 dias após o plantio.

O uso de indicadores de qualidade do solo como COT, NT, Cmic, Nmic, RBS, RAS, qCO<sub>2</sub> e qMic apontam que o uso de resíduos da indústria da cana-de-açúcar no plantio de mudas promove alterações positivas na ativação biológica dos solos.

Os tratamentos T2 (adição de torta de filtro), T3 (adição de bagaço de cana-de-açúcar) e T4 (adição de torta de filtro + bagaço de cana-de-açúcar), foram os que proporcionaram maior crescimento das mudas e melhorias no solo.

## Referências

ALLEN DE, SINGH BP & DALAL RC. 2011. Soil health indicators, soil health and climate change: A review of current knowledge. Pp 25-45 in Singh BP et al. (eds.) *Soil Health and Climate Change*. Soil Biology, v. 29. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-20256-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-20256-8_2)

ALVARES CA, STAPE JL, SENTELHAS PC, GONÇALVES JLM & SPAROVEK G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22(6): 711-728.

ANDERSON JPE. 1982. Soil respiration. In Page A L et al. (eds) *Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties*. 2ª ed. Madison, Soil Science Society of American.

ANDERSON TH& DOMSCH KH. 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology Biochemistry* 21: 471-479.

ANTONKIEWICZ J, BARAN A, PELKA R, WISTA-SWIDER A, NOWAK E & KONIECZKA P. 2019. A mixture of cellulose production waste with municipal sewage as new material for an ecological management of wastes. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 169: 607-614.

BEUTLER SJ, PEREIRA MG, LOSS A, PERIN A&ANJOS LHC. 2015. Humic substances and phosphorus fractions in areas with crop-livestock integration, pasture and natural cerrado vegetation in Goiás, Brazil. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 18: 11-25.

BORRERO MAV, PEREIRA JTV&MIRANDA EE.2003. An environmental management method for sugar cane alcohol production in Brazil. *Biomass & Energy* 25: 287-299.

CERRI CC, POLO A, ANDREUX F, LOBO MC& EDUARDO BP. 1988). Resíduos orgânicos da agroindústria canaveieira: características físicas e químicas. *STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos* 6(1): 34-37.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Cana-de-açúcar, Safra 2019/2020. <http://www.conab.gov.br>. Accessed in 29 June 2020.

CUNHA AM, CUNHA GM, SARMENTO RA, CUNHA GM& AMARAL JFT. 2006. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp. *Revista Árvore* 30(2): 207-214.

DIEL MI, PINHEIRO MVM, THIESEN LA, ALTÍSSIMO BS, HOLZ E& SCHMIDT D. 2018. Cultivo de morango em substrato: Produtividade e qualidade dos frutos são afetados pela origem da cultivar e substratos. *Ciência e Agrotecnologia* 42(3):229-239.

DOTANIYA ML, DATTA SC, BISWAS DR, DOTANIYA CK, MEENA BL, RAJENDIRAN S, REGAR KL& LATA M. 2016. Use of sugarcane industrial byproducts for improving sugarcane productivity and soil health. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 5(3): 185-194.

FAÇANHA AR, FAÇANHA AL, OLIVARES FL, GURIDI F, SANTOS GA, VELLOSO AC, RUMJANEK VM, BRASIL F, SHRIPSEMA J, BRAZFILHO R, OLIVEIRA MA& CANELLAS LP. 2002. Bioatividade de ácidos húmicos: efeitos sobre o desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37(9): 1301-1310.

FERREIRA MJ, PEREIRA IM, BOTELHO AS & MELLO CR. 2009. Avaliação da regeneração natural em nascentes perturbadas no município de Lavras, MG. *Ciência Florestal* 19(2): 109-129.

FONSECA EP, VALÉRI SV, MIGLIORANZA E, FONSECA NAN&COUTO L. 2002. Padrão de qualidade

de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. *Revista Árvore* 26: 515-523.

GONZÁLEZ LC, JIMÉNEZ MA, CAMPOS CNS, ESPINOSA RR, ROMERO IF, SELVA EP, PRADO RM & ROMERO M. 2016. Efecto de la adición de cachaza, roca fosfórica y biofertilizantes en el suelo sobre el contenido de fósforo y el desarrollo de plántulas de caña de azúcar. *Cultivos Tropicales* 37(4): 145-151.

HAN P, ZHANG W, WANG G, SUN W & HUANG Y. 2016. Changes in soil organic carbon in croplands subjected to fertilizer management: A global meta-analysis. *Scientific Reports* 6: 271-299.

LARA RO, PEREIRA IM, FERREIRA EA, PEREIRA GAM, SILVA DV, SILVA EB, ARAÚJO FV, OLIVEIRA PA. 2017. Análise de cobertura, levantamento florístico e fitossiológico de uma área em recuperação com topsoil na Serra do Espinhaço, Brasil. *Revista Espacios* 39(38): 31-37.

LI Q, FENG J, WU J, JIA W, ZHANG Q, CHEN Q, ZHANG D & CHENG X. 2019. Spatial variation in soil microbial community structure and its relation to plant distribution and local environments following afforestation in central China. *Soil & Tillage Research* 193: 8-16.

LIMA JEFW. 2011. Situação e perspectivas sobre as águas do cerrado. *Ciência e cultura* 63(3): 27-29.

LIU X, RASHTI MR, DOUGALL A, ESFANDBOD M, VAN ZWIETEN L & CHEN C. 2018. Subsoil application of compost improved sugarcane yield through enhanced supply and cycling of soil labile organic carbon and nitrogen in an acidic soil at tropical Australia. *Soil & Tillage Research* 180(1): 73-81.

MARQUES TED, BAÊTA HE, LEITE MGP, MARTINS SV & KOZOVITS AR. 2014. Crescimento de espécies nativas de Cerrado e de Vetiveria zizanioides em processos de revegetação de voçorocas. *Ciência Florestal* 24(4): 843-856.

MASSENSINI AM, TÓTOLA MR, BORGES AC & COSTA MD. 2015. Potential phosphate solubilization by rhizospheric microbiota of eucalyptus cultivated in a typical toposequence of the zona da mata, Minas Gerais, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 39(3): 692-700.

MEDRADO E & LIMA JEFW. 2014. Development of pedotransfer functions for estimating water retention curve for tropical soils of the Brazilian savanna. *Geoderma Regional* 1: 59-66.

MENDONÇA VZ, MELLO LMM, ANDREO TTIM, PEREIRA FCBL, LIMA RC, VALÉRIO FILHO WV & YANO EH. 2013. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras, milho em sucessão com soja em região de cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 37: 251-259.

MIZOBATA KKG, DAS, CASSIOLATO AMR & MALTONI LK. 2017. Crescimento de mudas de baru e gonçalo-alves em solo degradado, suplementado com resíduo, em Ilha Solteira – SP. *Ciência Florestal*

27(2): 429-444.

MODESTO PT, SCABORA MH, COLODRO G, MALTONI KL& CASSIOLATO AMR. 2009. Alterações em algumas propriedades de um latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 3: 1489-1498.

NUNES JÚNIOR D. 2005. O insumo torta de filtro. In: IDEA News, Ribeirão Preto. PANIZZON JP, JÚNIOR HLP, KNAAK N, RAMOS RC, ZIEGLER DR& FIUZA LM. 2015. Microbial diversity: Relevance and relationship between environmental conservation and human health. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 58(1) 137-145.

PARDON P, REUBENS B, REHEUL D, MERTENS J, FRENNE P, COUSSEMENT T, JANSSENS P&VERHEYEN K. 2017. Trees increase soil organic carbon and nutrient availability in temperate agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems&Environment* 247: 98-111.

PEZARICO CR, VITORINO ACT, MERCANTE FM& DANIEL O. 2013. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. *Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 56(1): 40-47.

R CORE TEAM. 2016.*R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing,Vienna. <https://www.R-project.org/>.

RIMA JA, MARTIM SA, DOBBSS LB, EVARISTO JA, RETAMAL CA, FAÇANHA AR&CANELLAS LP. 2011. Adição de ácido cítrico potencializa a ação de ácidos húmicos e altera o perfil protéico da membrana plasmática em raízes de milho.*Ciência Rural*41(4): 614-620.

RIZZINI CT.1997.Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. Rio de Janeiro, Âmbito Cultural.

ROSSET JS, SCHIAVO JÁ & ATANÁZIO RAR. 2014. Atributos químicos, estoques de carbono orgânico total e das frações humificadas da matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de manejo de cana-de-açúcar. *Semina: Ciências Agrárias* 35(5): 2351-2366.

ROVERE ELL, OBERLING DF, OBERMAIER M, SOLARI R& WILLS W. 2009.Avaliação da Sustentabilidade da Expansão do Etanol da Cana-de-açúcar no Brasil. In:Laboratório Interdisciplinar do Meio Ambiente (LIMA). <http://www.lima.coppe.ufrj.br/index.php/br>. Acesso em 02 de julho de 2020.

SANTOS DH, TIRITAN CS, FOLONI JSS&FABRIS LB. 2010. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 40(4): 454-461.

SANTOS FA, QUEIROZ JH, COLODETTE JL, FERNANDES SA, GUIMARÃES VM, REZENDE ST.

2012. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. *Revista Química Nova* 35(5): 1004-1010.

SEAPA-MG – SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. <http://www.agricultura.mg.gov.br>. Accessed in 29 June 2020.

SEHAR A, AZIZ R, RAFIQ MT, HUSSAIN MM, RIZWAN M, SEHRISH AK, RAFIQ MK, DIN J, HUSSAIN J, AL-WABEL M&ALI S. 2018. Synthesis of biochar from sugarcane filter-cake and its impacts on physiological performance of lettuce (*Lettuce sativa*) grown on cadmium contaminated soil. *Arabian Journal of Geosciences* 11(20): 37-47.

SILVA EE, AZEVEDO PHS DE& DE-POLLI H. 2007). Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C). In: Comunicado Técnico Embrapa, <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/625010>. Accessed in 02 August 2020.

SILVA JF, FARIÑAS MR, FELFILI JM&KLINK CA. 2006. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil. *Journal of Biogeography* 33: 536-548.

SOARES LV, MELO R, OLIVEIRA WS, SOUZA PM&SCHMIELE M. 2017. Brazilian Cerrado fruits and their potential use in bakery products. In H Lewis (ed) *Bread: Consumption, cultural significance and health effects*. Nova Publisher, New York.

SOUZA PA, VENTURIN N&MACEDO RLG. 2006. Adubação mineral do ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*). *Ciência Florestal* 16(3): 261-270.

SPARLING GP. 1992. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Australian Journal of Soil Research*, 30:195-207.

STEFANOSKI DC, SANTOS GG, MARCHÃO RL, PETTER FA&PACHECO LP. 2013. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17(12): 1301-1309.

TEDESCO MJ, GIANELLO C, BISSANI CA, BOHNEN H&VOLKWEISS SJ. 1995. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TEÓFILO TS, LOPES CL, BARROS ZZX. 2015. Área cultivada com cana-de-açúcar confrontada com o zoneamento agroambiental utilizando análise supervisionada de imagem. *Revista Energiana Agricultura* 30(2): 137-142.

ULUKAN H. 2008. Humic Acid Application into Field Crops Cultivation. *KSU Journal of Science and Engineering* 11: 119-127.

VANCE ED, ROOKES PC& JENKINSON DS (1987) An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. *Soil Biology & Biochemistry* 19(6): 703-707.



**Tabela 1** – Caracterização química e textural do solo da área experimental de 0 a 20 cm.

<b>Análise química do solo</b>		
<b>Atributo do solo</b>	<b>Nível</b>	
pH (água)	6,00	B
P (mg/dm <sup>3</sup> )	46,53	
K (mg/dm <sup>3</sup> )	25,00	Bx
Ca (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	1,10	Bx
Mg (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,46	M
Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,00	MBx
H+Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	1,07	Bx
SB (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	1,62	Bx
t (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	1,62	Bx
T (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	2,69	Bx
m (%)	0,00	MBx
V (%)	60,00	B
<b>Análise granulométrica do solo</b>		
Areia (dag/kg)	84,00	
Silte (dag/kg)	6,00	
Argila (dag/kg)	10,00	

**MBx**- Muito Baixo, **Bx**- Baixo, **M**- Médio, **B**- Bom, **MB**- Muito Bom, **A**- Alto, **MA**- Muito Alto.

**Tabela 2** - Caracterização química da torta de filtro.

<b>Atributos</b>	<b>Unidade</b>	<b>Teor</b>
Nitrogênio total	g Kg <sup>-1</sup>	23,56
N-amoniacal	g Kg <sup>-1</sup>	1,66
N-nitrato	g Kg <sup>-1</sup>	0,69
Carbono Orgânico	%	48,51
Cálcio	g Kg <sup>-1</sup>	16,79
Magnésio	g Kg <sup>-1</sup>	1,56
Fósforo	g Kg <sup>-1</sup>	0,51
Potássio	g Kg <sup>-1</sup>	0,48
Sódio	g Kg <sup>-1</sup>	0,06
Ferro	g Kg <sup>-1</sup>	2,62
Manganês	g Kg <sup>-1</sup>	0,43
Cobre	g Kg <sup>-1</sup>	0,03
Zinco	g Kg <sup>-1</sup>	0,14
Níquel	g Kg <sup>-1</sup>	0,0
Cromo	g Kg <sup>-1</sup>	0,0
Chumbo	g Kg <sup>-1</sup>	0,03

**Tabela 3** - Diâmetro médio à altura do solo - DAS (mm) de espécies nativas do cerrado plantadas sem adição de resíduo ou adubo (T1), com adição de torta de filtro (T2), com adição de bagaço de cana-de-açúcar, (T3) com adição de torta de filtro + bagaço de cana-de-açúcar (T4) e adição de 200 g de fertilizante mineral NPK 4:14:8 (T5), aos 410 dias após o plantio.

<b>Espécies</b>	<b>Tratamentos</b>	<b>DAS (mm) aos 410 dias após o plantio</b>
<i>Anacardium humile</i> A.St.-Hil.	T1	9,46 b
	T2	18,42 a
	T3	8,74 b
	T4	6,69 b
	T5	3,82 b
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	T1	6,95 ab
	T2	5,24 b
	T3	8,71 a
	T4	6,29 ab
	T5	7,07 ab

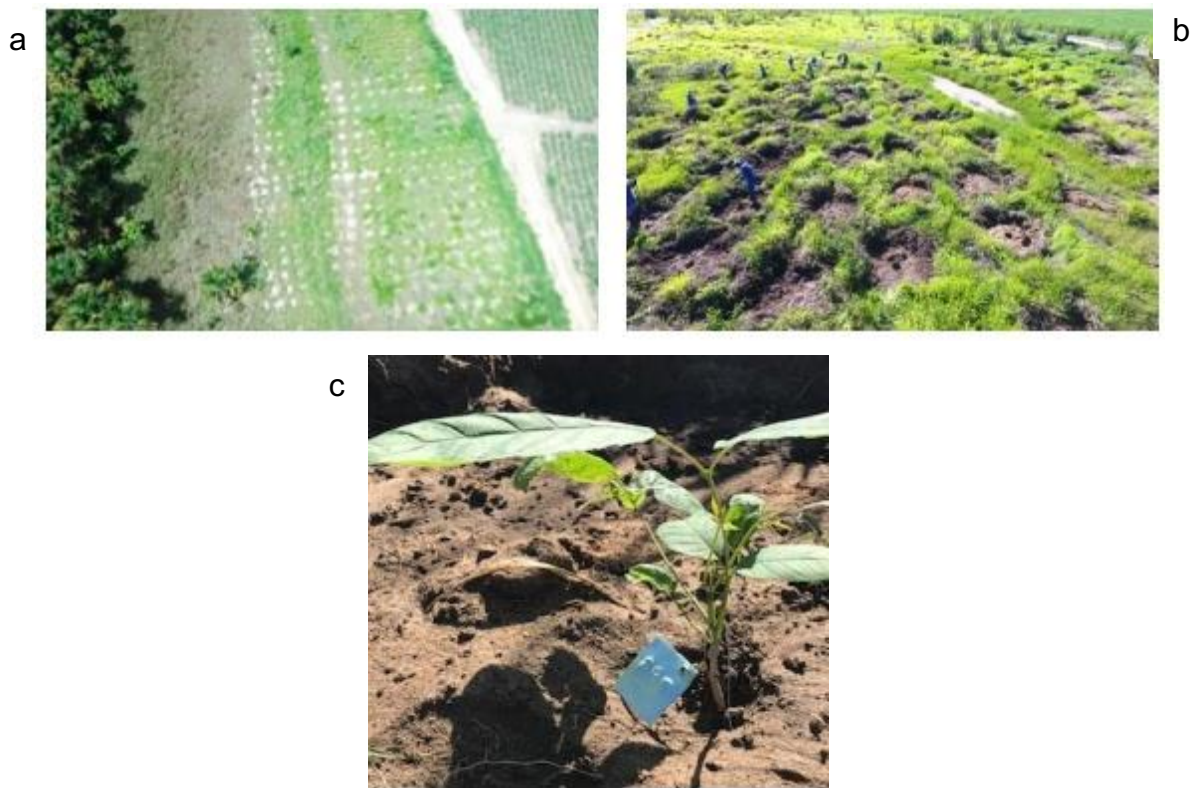
Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey em nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 4** - Altura total – H (cm) de espécies nativas do cerrado plantadas sem adição de resíduo ou adubo (T1), com adição de torta de filtro (T2), com adição de bagaço de cana-de-açúcar, (T3) com adição de torta de filtro + bagaço de cana-de-açúcar (T4) e adição de 200 g de fertilizante mineral NPK 4:14:8 (T5), durante 410 dias após o plantio.

<b>Espécie</b>	<b>Tratamentos</b>	<b>H (cm) aos 410 dias após o plantio</b>
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	T1	60,92 a
	T2	44,00 ab
	T3	33,73 b
	T4	38,75 b
	T5	46,61 ab
<i>Anacardium humile</i> A.St.-Hil.	T1	34,00 a
	T2	38,79 a
	T3	37,78 a
	T4	22,9 ab
	T5	9,68 b
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	T1	39,16 b
	T2	24,94 c
	T3	60,25 a
	T4	35,43 bc
	T5	43,11 b
<b>Espécie</b>	<b>Tratamento</b>	<b>H (cm) aos 410 dias após o plantio</b>
<i>Butia capitata</i> (Mart.) Becc.	T1	36.98 ab
	T2	43.80 a
	T3	28.56 ab
	T4	28.38 ab
	T5	21.84 b

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey em nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

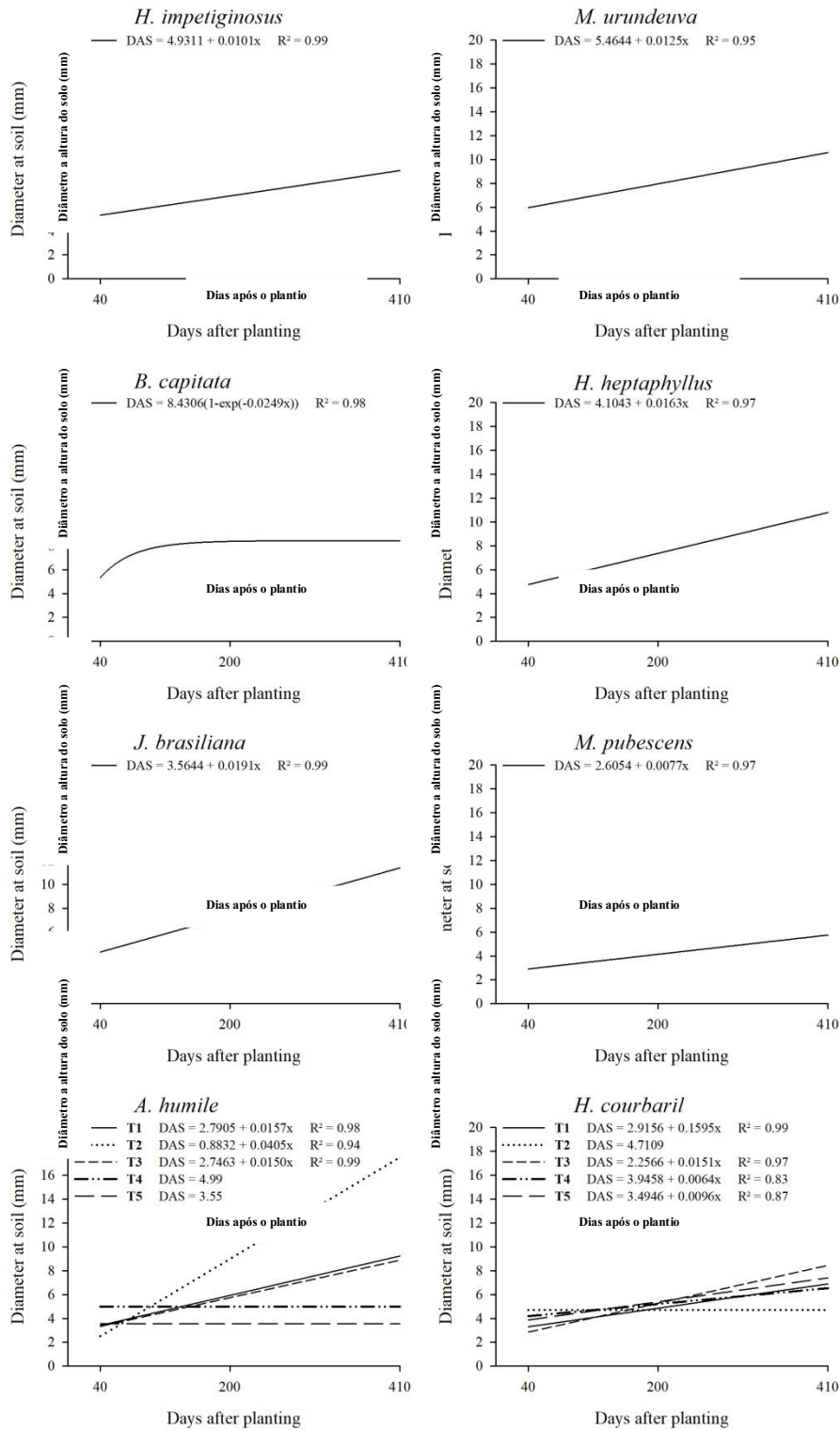
**Figura 1** – (a) (b) Abertura de covas e plantio de mudas, (c) identificação das mudas plantadas



**Figura 2** – Amostragem do solo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm para avaliação dos atributos biológicos do solo.

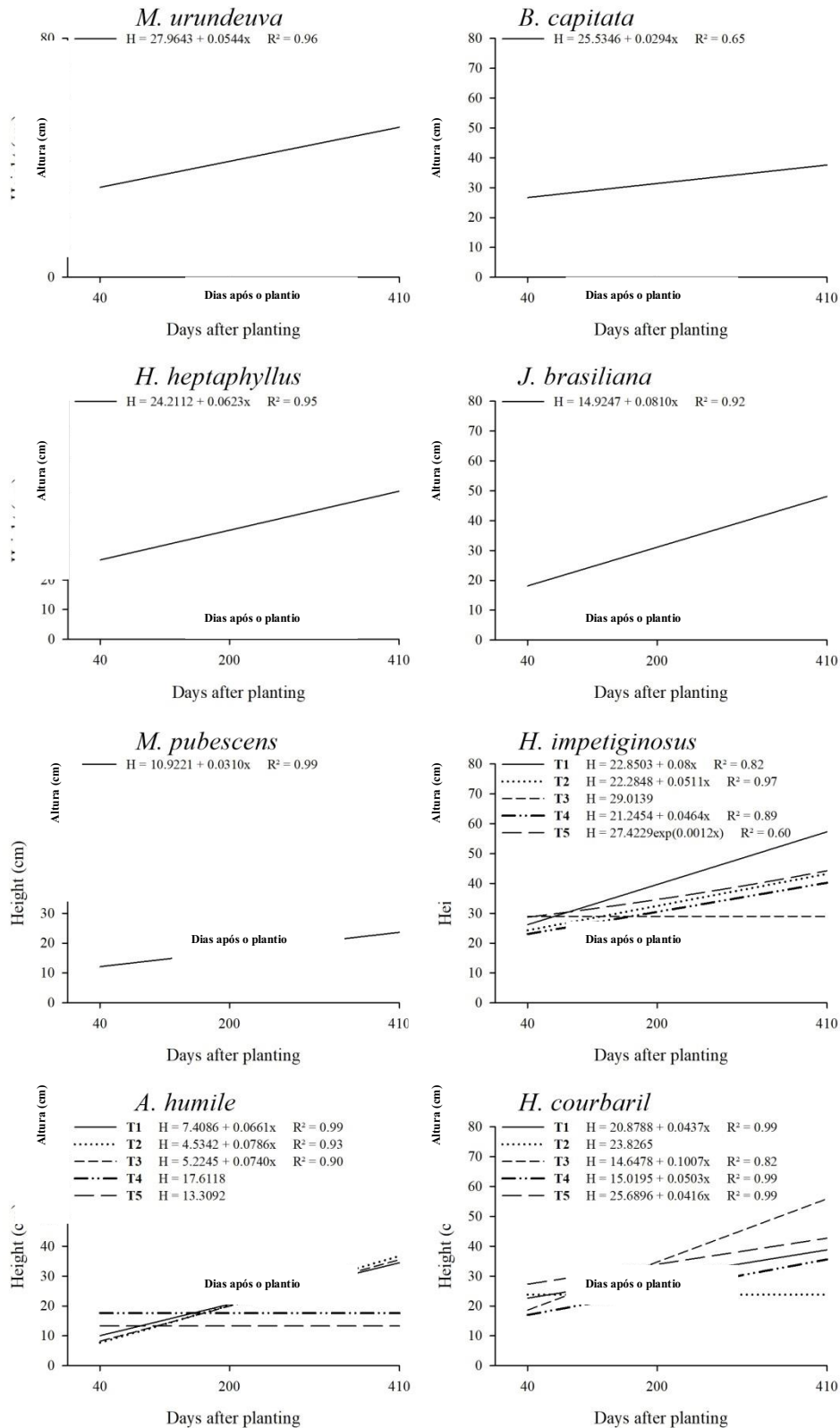


**Figura 3** – Crescimento em diâmetro a altura do solo (DAS) de espécies nativas do cerrado (*H. impetiginosus*, *M. urundeuva*, *B. capitata*, *H. Heptaphyllus*, *J. brasiliana*, *M. Pubescens*, *A. humile* e *H.courbaril*) em função das épocas de avaliação (40, 200 e 410 dias).



Legenda - T1 - sem adição de resíduo ou adubo, T2 - com adição de torta de filtro, T3 - com adição de bagaço de cana-de-açúcar, T4 - com adição de torta de filtro + bagaço de cana-de-açúcar e T5 - com adição de 200 g de fertilizante mineral NPK 4:14:8.

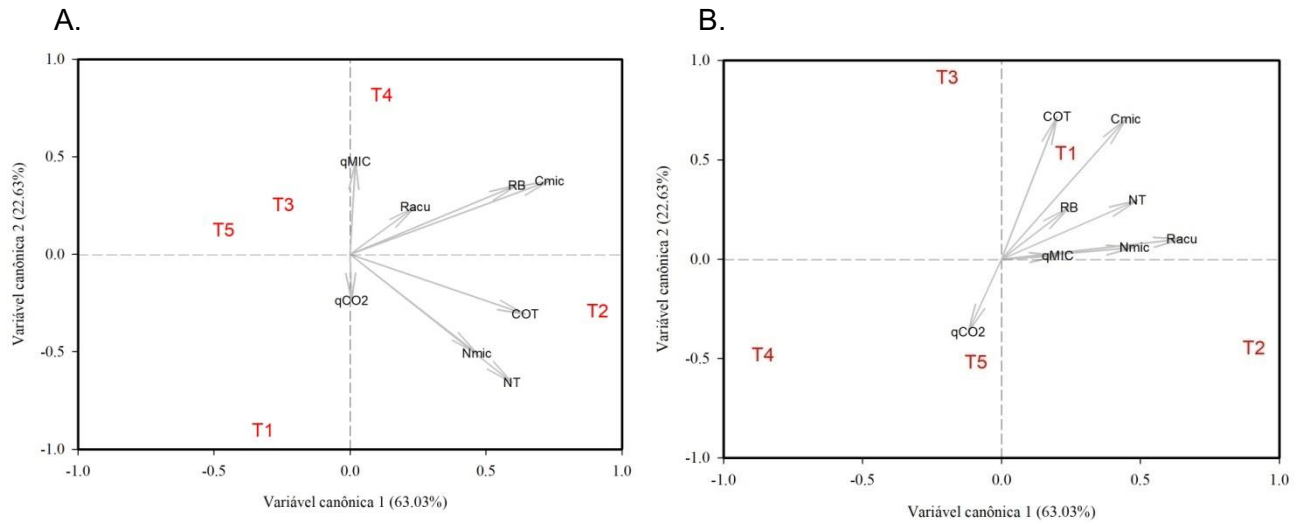
**Figura 4** – Crescimento em altura de espécies nativas do cerrado (*H. impetiginosus*, *M. urundeuva*, *B. capitata*, *H. Heptaphyllus*, *J. brasiliana*, *M. Pubescens*, *A. humile* e *H.courbaril*) em função das épocas de avaliação (40, 200 e 410 dias).



Legenda - T1 - sem adição de resíduo ou adubo, T2 - com adição de torta de filtro, T3 - com adição de bagaço de cana-de-açúcar, T4 - com adição de torta de filtro + bagaço de cana-de-açúcar e T5 - com adição de 200 g de fertilizante mineral NPK 4:14:8.



**Figura 5** – Dispersão gráfica de variáveis canônicas VC1 e VC2 no estudo dos atributos do solo, nas profundidades de 0-10 (A) e 10-20 (B).



#### **4.2 Artigo 2 – Resposta morfofisiológica de plantas do Cerrado à aplicação de biochar de torta de filtro**

Este artigo foi elaborado conforme normas do periódico Ciência Florestal.

## Resposta morfofisiológica de plantas do Cerrado à aplicação de biochar de torta de filtro

### Resumo

Espécies nativas do cerrado apresentam grande potencial ecológico e econômico. Uma alternativa que visa contribuir para o bom desempenho das plantas pós plantio é a incorporação de biochar ao solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do biochar de torta de filtro como condicionador de solo e sua influência no crescimento e na fisiologia de macaúba (*Acrocomia aculeata*), araçá (*Psidium firmum*) e cajuzinho do cerrado (*Anacardium humile*). Os experimentos foram montados na Fazenda Hamilton de Abreu Navarro da Universidade Federal de Minas Gerais, onde foi avaliado o efeito de quatro doses de biochar de torta de filtro e dois tratamentos controle. Para acompanhar o desempenho das mudas foram realizadas avaliações aos 30, 60 e 120 dias após o transplante, das variáveis fisiológicas (fotossíntese, transpiração, condutância estomática, CO<sub>2</sub> consumido, carbono interno e taxa de transporte de elétrons), e morfológicas (altura e diâmetro), aos 30, 60, 90 e 120 dias após o transplante. Aos 120 dias avaliou-se a produção de biomassa seca da parte aérea, raiz e total. Para a macaúba, a aplicação de biochar, na dose de 2%, favoreceu a sua fotossíntese. Já para o araçá, aos 30 dias após o transplante, o tratamento sem adubação apresentou melhores resultados para a maioria das variáveis, entretanto os tratamentos com biochar também apresentaram resultados satisfatórios. O cajuzinho do cerrado também respondeu positivamente à aplicação de biochar em todas as doses. As variáveis fisiológicas e morfológicas responderam bem aos tratamentos sem adubação mineral e com aplicação de biochar ao solo. Portanto, o biochar de torta de filtro pode ser indicado no plantio das espécies estudadas, assim como a não aplicação de corretivo e fertilizante mineral.

**Palavras-chave:** *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius; *Psidium firmum* O. Berg; *Anacardium humile* A. St.-Hil; fotossíntese; crescimento de plantas.

### Abstract

Species native to the Cerrado have great ecological and economic potential. An alternative that aims to contribute to the good performance of plants after planting is the incorporation of biochar into the soil. The objective of this work was to evaluate the effect of filter cake biochar as a soil conditioner and its influence on the growth and physiology of macaúba (*Acrocomia aculeata*), araçá (*Psidium firmum*) and cajuzinho do cerrado (*Anacardium humile*). The experiments were set up at Hamilton de Abreu Navarro Farm at the Federal University of Minas Gerais, where the effect of four doses of filter cake biochar and two control treatments was evaluated. To monitor the performance of the seedlings, evaluations were carried out at 30, 60 and 120 days after transplanting, of the physiological variables (photosynthesis, transpiration, stomatal conductance, consumed CO<sub>2</sub>, internal carbon and electron transport rate), and morphological (height and diameter), at 30, 60, 90 and 120 days after transplanting. At 120 days, shoot, root and total dry biomass production was evaluated. For macaúba, the application of biochar, at a dose of 2%, favored its photosynthesis. As for the guava, 30 days after transplanting, the treatment without fertilization showed better results for most variables, however the treatments with biochar also showed satisfactory results. Cajuzinho from the cerrado also responded positively to the application of biochar at all doses. Physiological and morphological variables responded well to treatments without mineral fertilization and

with application of biochar to the soil. Therefore, the filter cake biochar can be indicated in the planting of the studied species, as well as the non-application of corrective and mineral fertilizer.

**Keywords:** *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius; *Psidium firmum* O. Berg; *Anacardium humile* A. St.-Hil; photosynthesis; plant growth.

## 1 Introdução

O Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul em extensão, representa 24% do território brasileiro e abrange uma área aproximada de dois milhões de km<sup>2</sup> (MEDRADO; LIMA, 2014). Engloba uma ampla variação de fitofisionomias e possui alta diversidade de espécies animal e vegetal, com uma flora contabilizada em mais de 12.000 espécies (MENDONÇA, et al, 2012). Além disso, o Cerrado apresenta um elevado potencial comercial das espécies frutíferas, madeireiras e medicinais (SOARES, et al, 2017). Dentre as espécies potenciais podem ser citadas a macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius), o araçá (*Psidium firmum* O. Berg) e o cajuzinho do cerrado (*Anacardium humile* A. St.-Hil.).

A macaúba é uma palmeira que possui um grande potencial para a indústria, pela sua alta produtividade e rendimento de óleo (LORENZI, et al, 2010). O óleo do mesocarpo apresenta características adequadas como matéria-prima para biocombustível (LANES, et al, 2014), além de propriedades medicinais (LESCANO, et al, 2015). O araçá e o cajuzinho do cerrado são plantas frutíferas muito cultivadas em pomares domésticos. Os frutos são amplamente utilizados pelas populações regionais de forma extrativista, além de serem muito demandados nas indústrias de alimentos, fármacos e cosméticos (RESSEL, et al, 2015).

Essas espécies também podem ser utilizadas em programas de recuperação de áreas degradadas, e uma alternativa que visa contribuir para o bom desempenho das plantas pós plantio, é a incorporação ao solo de biochar, também conhecido como biocarvão. O biochar é um material sólido, poroso, rico em carbono, obtido pela conversão termoquímica da biomassa em um ambiente com restrição de oxigênio (SÁNCHEZ-REINOSO; ÁVILA E RESTREPO, 2020). Dessa forma, a produção de biochar atua positivamente no tratamento e reaproveitamento de resíduos gerados em diversas atividades (ABDELHAFEZ et al, 2014), como a torta de filtro, resíduo da indústria de cana-de-açúcar.

A incorporação do biochar ao solo pode melhorar as suas propriedades físico-químicas e biológicas além de aumentar a capacidade de retenção de água e nutrientes (MAIA, et al, 2021). Deste modo, seu uso aumenta a produtividade das plantas, diminui os custos com irrigação e fertilização e diversifica o uso de resíduos orgânicos gerados na agricultura (PIMENTA, et al, 2019).

A qualidade do solo é um dos fatores que mais interferem nos processos morfofisiológicos da planta, pois a disponibilidade hídrica e de nutrientes é responsável por diversos processos bioquímicos e metabólicos (MOZDZEN, et al, 2015). Embora os efeitos benéficos da aplicação de biochar tenham sido comprovados para diversas culturas (SILVA et al., 2022; MOTA et al., 2021), estudos com espécies nativas do cerrado são escassos e podem servir de base para novas pesquisas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do biochar de torta de filtro como condicionador de solo e sua influência no desenvolvimento morfofisiológico de três espécies nativas do cerrado, macaúba, araçá e cajuzinho do cerrado.

## 2 Material e Métodos

### 2.1 Preparação e caracterização do biochar

O biochar utilizado no trabalho foi produzido a partir da torta de filtro, subproduto da indústria sucroalcooleira, proveniente da filtração do caldo extraído das moendas no filtro rotativo, obtido de uma mistura de bagaço moído e lodo da decantação (Figura 1). Após coleta do material no pátio da usina, o mesmo foi seco em estufa a  $103 \pm 2$  °C para posterior pirólise. Em seguida, a torta de filtro seca foi acondicionada em recipientes de alumínio e levada para a mufla, onde procedeu-se a pirólise (Figura 2a, 2b e 2c) em condições de temperatura de 550 °C e tempo de residência de 180 min. Em seguida, o biochar foi triturado e peneirado em peneira de 1 mm (Figura 2d).

Figura 1 - Torta de filtro no pátio da usina de etanol.



Figura 2 –Torta de Filtro nas latas (B), visão interior da mufla (B), mufla utilizada (C) e biochar de torta de filtro após o processo de pirólise (D).



Antes de ser aplicado ao solo, foi realizada a caracterização do biochar (Tabela 1). O teor de cinzas, pH e condutividade elétrica foi determinado segundo método proposto pela International Biochar

Initiative (IBI, 2012). O teor de macro e micronutrientes foi obtido de acordo com o método oficial proposto pelo Ministério da Agricultura e Abastecimento para fertilizantes orgânicos (MAPA, 2017). O rendimento do biochar produzido foi de  $73,4 \pm 0,73\%$ , sendo calculado por meio da relação entre amassa do biochar pirolisada e a massa da matéria-prima *in natura* antes do processo de pirólise.

Tabela 1 – Caracterização do biochar de torta de filtro, utilizado no experimento.

Atributo	Nível
Umidade (%)	1,8
pH	8,50
CE (mS cm <sup>-1</sup> )	0,323
Cinzas (%)	46,86
C total (g kg <sup>-1</sup> )	287,9
N total (g kg <sup>-1</sup> )	1,84
P (g kg <sup>-1</sup> )	0,48
K (g kg <sup>-1</sup> )	3,55
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	115,56
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	2,84
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	0,017
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	0,051
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	0,055
Fe (g kg <sup>-1</sup> )	12,68

## **2.2 Produção das mudas em viveiro e montagem dos experimentos em casa de vegetação**

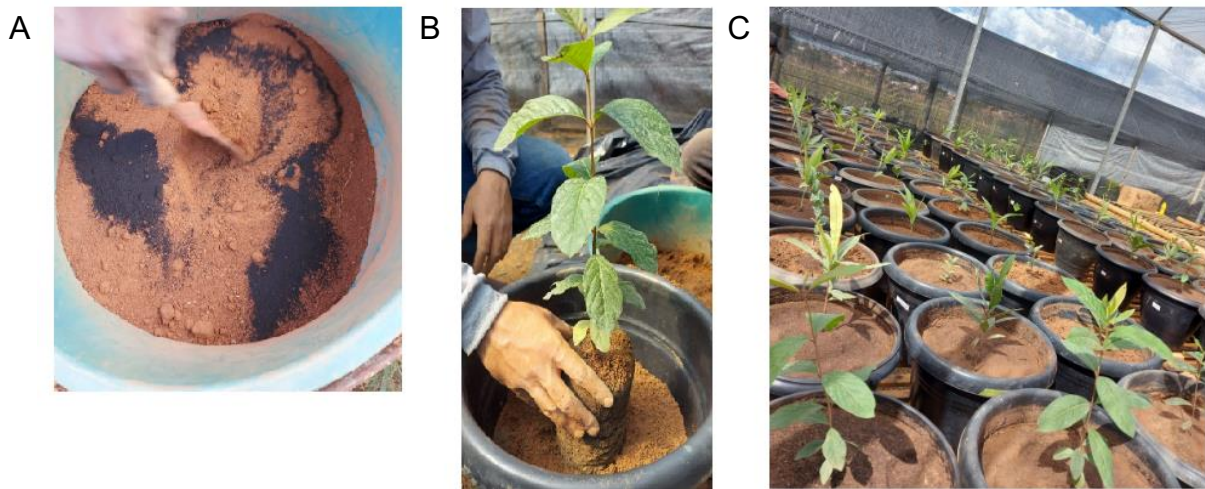
As mudas das três espécies utilizadas foram produzidas no viveiro do Laboratório de Ecologia Vegetal da Universidade Estadual de Montes Claros - Unimontes. No momento do trasplante, as mudas se encontravam com 180 dias após a germinação. O solo utilizado no experimento foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, segundo Embrapa (2018). A coleta foi realizada em região próxima à cidade de Montes Claros, em área de vegetação nativa. As características físicas e químicas do mesmo estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização química e textural do solo utilizado no experimento.

Análise química do solo	
Atributo do solo	Nível
pH (água)	4,11
P (mg/dm <sup>3</sup> )	5,58
K (mg/dm <sup>3</sup> )	37,49
Ca (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,93
Mg (cmolc/dm <sup>3</sup> )	<0,1
Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,88
H+Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	5,28
SB (%)	18
t (%)	100
T (cmolc/dm <sup>3</sup> )	6,41
m (%)	44
V (%)	18
Análise granulométrica do solo	
Areia (dag/kg)	38,74
Silte (dag/kg)	16,26
Argila (dag/kg)	45 Ar

Os três experimentos foram montados em julho de 2020, no viveiro de plantas medicinais do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, sendo um experimento por espécie. As espécies nativas do cerrado utilizadas foram: macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius), araçá (*Psidium firmum* O. Berg) e cajuzinho do cerrado (*Anacardium humile* A. St.-Hil.). Os experimentos foram implantados em vasos com 12 dm<sup>3</sup> em casa de vegetação, num delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições, constituído por seis tratamentos (quatro doses de biochar: 1; 2; 4 e 8 % v/v e dois tratamentos controle: um sem adubação (SA) e outro com correção do solo, 7,5 g de GEOX (60% de CaO e 30% de MgO) e adubação mineral, 380 g NPK 4:14:8 por planta (CA)). O solo foi peneirado em peneira de malha < 4 mm, misturado ao biochar, e acondicionado nos vasos, onde se realizou o transplântio das mudas (Figura 3a, 3b e 3c). A umidade do solo foi mantida a 60% da capacidade de campo.

Figura 3 – Mistura do biochar no solo (A), Enchimento dos vasos e transplântio das mudas (B) e Visão geral do experimento (C).

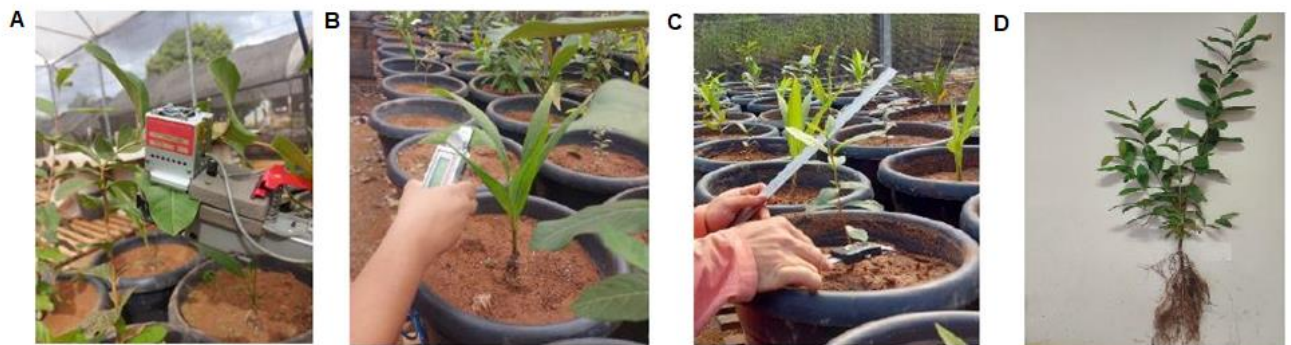


### 2.3 Avaliação das plantas

Para o acompanhamento do desenvolvimento das mudas, foram realizadas avaliações dos parâmetros fisiológicos: fotossíntese - A, transpiração - E, condutância estomática -Gs, CO<sub>2</sub> consumido - ΔC, carbono interno - Ci e taxa de transporte de elétrons - ETR, aos 30, 60 e 120 dias após o transplântio, e morfológicos: altura e diâmetro aos 30, 60, 90 e 120 dias após o transplântio.

As avaliações de taxa fotossintética, transpiração, condutância estomática, CO<sub>2</sub> consumido, carbono interno, foram realizadas com um Analisador de Gás por Absorção na Faixa do Infravermelho (IRGA) Modelo LCpro-sd (Figura 4a). A taxa de transporte de elétrons foi avaliada com auxílio de um fluorômetro modelo Y (II) meter fluorometer (OPTI-SCIENCES, Hudson, USA) (Figura 4b).

Figura 4 – Avaliação das variáveis fisiológicas (A e B), Avaliação da altura e diâmetro das plantas (C) e Planta após retirada do vaso, com exposição do sistema radicular (D).



A altura foi obtida por um metro de madeira graduado e o diâmetro através de um paquímetro digital (Figura 4c). Ao final dos 120 dias as plantas foram colhidas, separadas em parte aérea e raiz e secas em estufa a 65 °C até peso constante para obtenção da biomassa seca (Figura 4d).



## **2.4 Análise estatística**

Os dados de cada variável foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para verificar se apresentam distribuições normais e ao teste Cochran e Bartlett para verificar se apresentam homogeneidade. Para verificar a existência de diferenças significativas entre os tratamentos, foi feita análise de variância e, para as variáveis cujo teste F for significativo, as médias foram comparadas pelo teste Tukey ( $p < 0.05$ ). As análises de normalidade e homogeneidade foram realizadas com o auxílio do software R (R Development Core Team, 2016), e a análise de variância e o teste de médias foram realizados com auxílio do software SISVAR versão 5.6 (Ferreira, 2011).

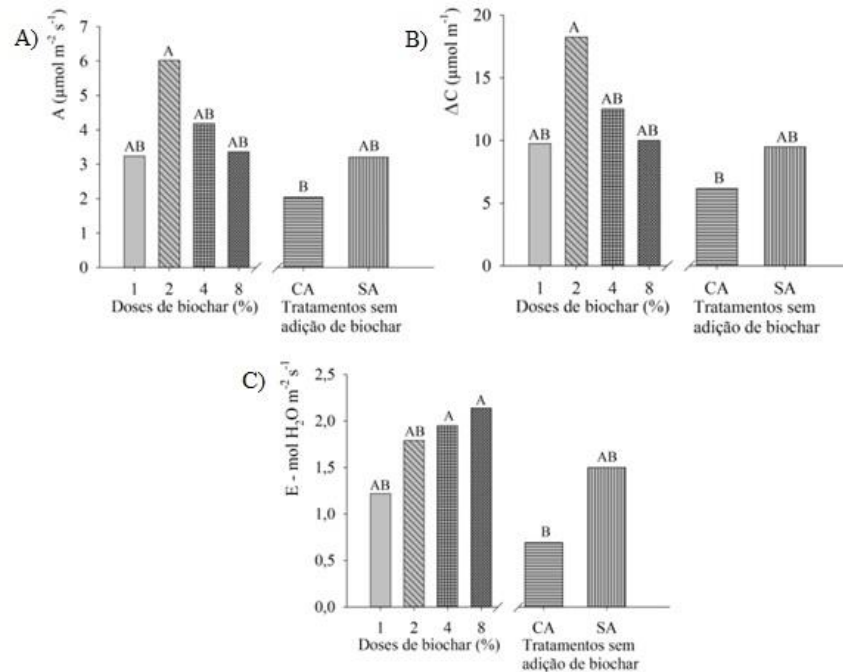
## **3 Resultados e discussão**

### **3.1 *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius (macaúba)**

Em todas as variáveis onde ocorreram efeitos de tratamento, as médias foram maiores nos tratamentos sem adubação e com adição de biochar (Figura 5). Estudos têm mostrado que a utilização do biochar em mudas de espécies nativas pode acelerar o crescimento e melhorar o padrão de qualidade das plantas (LIMA, et al, 2015; RAABE, et al, 2016; ÁVILA et al, 2020; COIMBRA et al. 2021).

Nas avaliações aos 120 dias após o transplante, os valores de A e  $\Delta C$  das plantas de *A. aculeata* foram superiores na dose de 2% de biochar (Figura 5A e 5B). A adição de 2% de biochar no solo favoreceu a atividade fotossintética nas plantas de *A. aculeata*, em decorrência da maior disponibilização de nutrientes. O biochar utilizado nesse trabalho, apresenta uma boa composição química elementar (Tabela 1), e os elementos químicos disponíveis no solo, podem beneficiar os processos de fotossíntese (XU, et al, 2014). Taiz et al (2017) afirmam que alguns fatores como recursos hídricos e elementos minerais na solução do solo influenciam o desenvolvimento e manutenção das plantas, sobretudo nos aspectos fisiológicos. Trabalhos sobre as exigências nutricionais da macaúba, têm mostrado que essa espécie é responsiva à disponibilidade de nutrientes, na fase de crescimento inicial das plantas (SANTOS, 2015; PIMENTEL, et al, 2015; PIMENTEL, et al, 2016).

Figura 5. Fotossíntese (A,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (A),  $\text{CO}_2$  consumido ( $\Delta\text{C}$ ,  $\mu\text{mol m}^{-1}$ ) (B) e Tanspiração (E,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (C) das plantas de *A. aculeata*, aos 120 dias após o transplântio, em função das doses de biochar (1, 2, 4 e 8%) e dos tratamentos com e sem adubação (CA e SA).



\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível  $p < 0,05$ .

Observaram-se as menores médias de A e  $\Delta\text{C}$  (Figura 5A e 5B), no tratamento com adubação. Isso pode ser justificado ao fato da dose de adubo utilizada ter provocado toxidez nas plantas da espécie *A. aculeata*, por excesso.

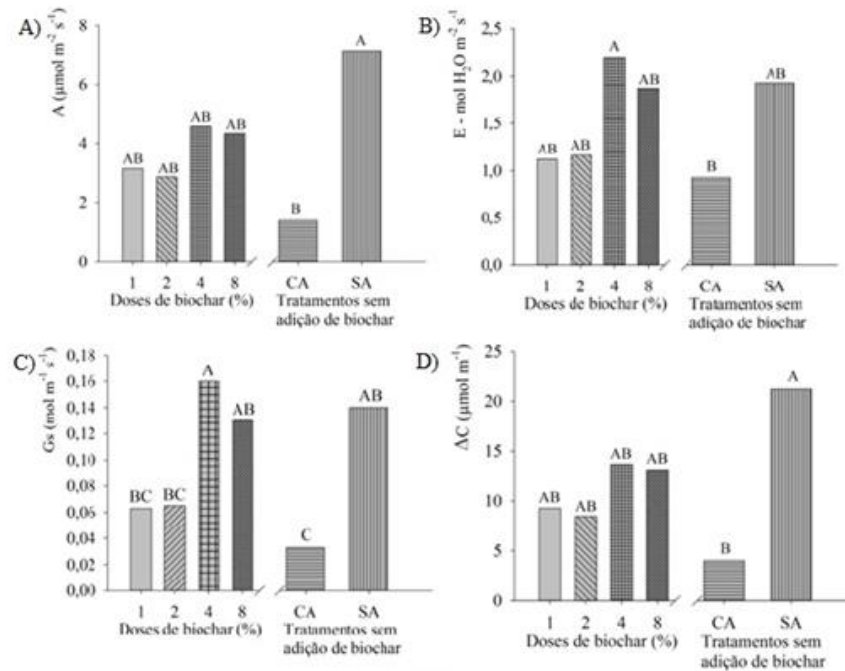
As maiores médias de E foram observadas nas maiores doses de biochar (4 e 8%) (Figura 5C). Este fato pode estar associado a maior disponibilidade hídrica no solo nesses tratamentos. Novotny et al. (2015) descreveram aumentos na capacidade de retenção de água de solos tratados com biochar de diferentes fontes.

Aos 30 e 60 dias após o transplântio não houve efeito significativo para nenhuma variável fisiológica. Já para as variáveis morfológicas: altura, diâmetro e biomassa seca, não houve efeito de tratamento em nenhuma das épocas avaliadas.

### 3.2 *Psidium firmum* O. Berg (araçá)

Aos 30 dias após o transplântio, observou-se efeito significativo dos tratamentos em quatro variáveis fisiológicas (A, E, Gs e  $\Delta\text{C}$ ), com aumento da A e do  $\Delta\text{C}$  no tratamento sem adubação (SA) (Figura 6A e 6D). O araçá é uma espécie típica do Cerrado e pode apresentar adaptação ao ambiente, uma vez que, normalmente, a vegetação do Cerrado ocorre, em solos distróficos, pobres em cálcio e magnésio e com alta disponibilidade de alumínio (CARLOS, et al, 2014; ALVES JÚNIOR, et al, 2015).

Figura 6. Fotossíntese (A,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (A), Transpiração (E,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (B), Condutância estomática (Gs,  $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) (C),  $\text{CO}_2$  consumido ( $\Delta\text{C}$ ,  $\mu\text{mol m}^{-1}$ ) (D) das plantas de *P. firmum*, aos 30 dias após o transplante, em função das doses de biochar (1, 2, 4 e 8%) e dos tratamentos com e sem adubação (CA e SA).

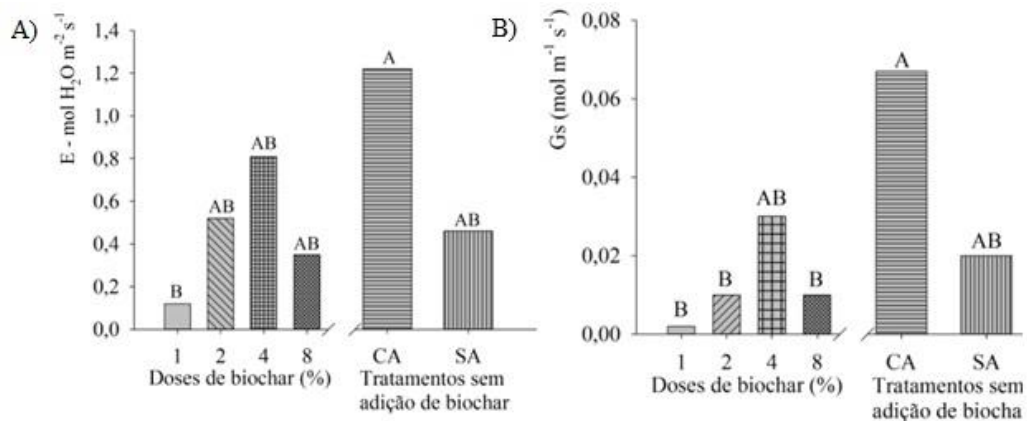


\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível  $p < 0,05$ .

Para as variáveis E e Gs, as doses de 4 e 8% de biochar proporcionaram maiores médias (Figura 6B e 6C). Isso pode ser justificado à capacidade do biochar em reter água no solo (MAIA, et al, 2021), sendo essas variáveis altamente influenciadas pela disponibilidade hídrica. Além disso os nutrientes do biochar podem não ter influenciado as plantas aos 30 dias após o transplante, devido o mesmo disponibilizar os nutrientes para o solo-planta de forma lenta (WEN, et al, 2017).

Em *P. firmum*, aos 60 dias após o transplante, houve diferença estatística entre os tratamentos para E e para a Gs (Figura 7), sendo o tratamentos com adubação (CA) com as maiores médias. Possivelmente, a maior transpiração e a maior condutância estomática observada nas plantas adubadas estão relacionadas à maior abertura dos estômatos mediada pela concentração de potássio nas células guardas (TAIZ E ZEIGER, 2017).

Figura 7. Transpiração ( $E$ ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (A) e Condutância estomática ( $G_s$ ,  $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) (B) das plantas de *P. firmum*, aos 60 dias após o transplântio, em função das doses de biochar (1, 2, 4 e 8%) e dos tratamentos com e sem adubação (CA e SA).



\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível  $p < 0,05$ .

Aos 120 dias após o transplântio não houve efeito significativo para nenhuma variável fisiológica. Nos parâmetros morfológicos, o efeito significativo foi para a variável altura aos 30 e 60 dias após o transplântio e para a massa seca de raiz aos 120 dias após o transplântio (Tabela 3). Os tratamentos com adição de biochar e com adubação proporcionaram maior crescimento em altura aos 30 e 60 dias após o transplântio, não diferindo estatisticamente entre si, e o tratamento sem adubação (SA) foi o que obteve as menores médias (28,38 e 47 cm) para a variável altura (Tabela 3). Todavia, para as variáveis fisiológicas, o tratamento com adubação foi o que obteve menor fotossíntese e  $\text{CO}_2$  consumido (Figura 6A e 6D) aos 30 dias após o transplântio. Isso pode ser justificado pelo excesso de nutrientes para essa espécie, principalmente nitrogênio, no tratamento com adubação.

Os principais aspectos de excesso de nitrogênio absorvido e metabolizado estão relacionados ao desvio de carboidratos para as proteínas, que promove excesso de desenvolvimento vegetativo da parte aérea, causando também aumento da relação parte aérea/raiz, prejudicando o desenvolvimento do sistema radicular e capacidade de resistência das plantas a períodos secos bem como o tombamento das mesmas. (PRADO, 2020). Tal fato pode ser observado na produção de massa seca de raiz, pois o tratamento com adubação teve a menor média (12,34 g/planta).

Tabela 3. Médias de altura (cm), aos 30 e 60 dias após o transplântio; e massa seca de raiz (MSR – g/planta), aos 120 dias após o transplântio das plantas de *P. firmum*, em função das doses de biochar (1, 2, 4 e 8%) e dos tratamentos com e sem adubação (CA e SA).

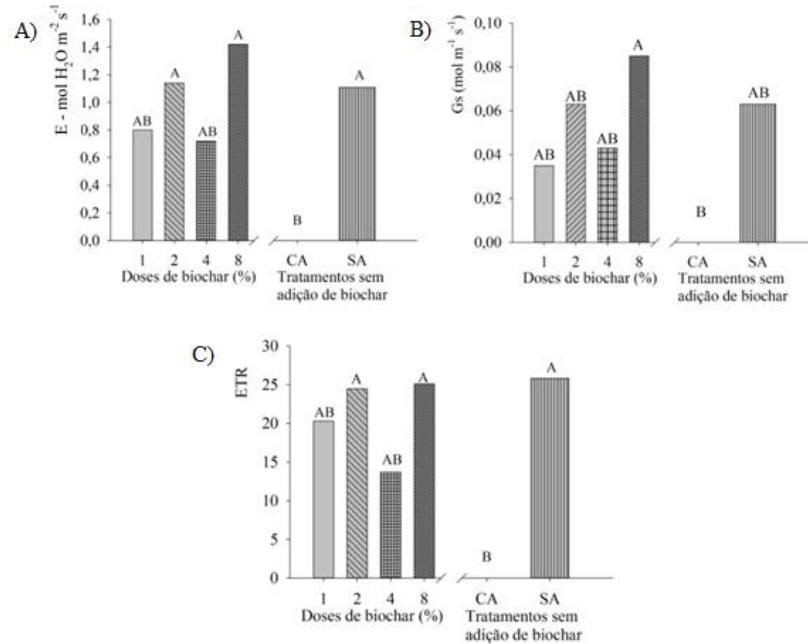
Tratamento	Altura (cm)		MSR aos 120 dias (g/planta)
	30 Dias	60 Dias	
1%	38,75 a	55,13 ab	50,11 a
2%	36,75 ab	55,75 ab	54,12 a
4%	33,00 ab	48,00 b	50,58 a
8%	40,75 a	62,75 a	52,31 a
CA	37,38 ab	49,13 ab	12,34 c
SA	28,38 b	47,00 b	32,02 b

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível  $p < 0,05$ .

### 3.3 *Anacardium humile* A. St.-Hil. (cajuzinho do cerrado)

Quanto às plantas de *A. humile*, aos 30 dias após o transplântio, houve efeito significativo dos tratamentos para E, Gs e ETR (Figura 8). As plantas cultivadas nos tratamentos sem adubação e com biochar, não diferiram estatisticamente entre si para E, Gs, e ETR (Figuras 8A, 8B). As plantas de *A. humile* do tratamento com adubação (CA) morreram antes das avaliações. O cajuzinho do cerrado é uma espécie que se adapta a solos de baixa fertilidade, e acidez mínima de 4,5 (LIMA et al. 2002; SILVA et al. 2001). Isso pode justificar o fato das plantas não terem respondido positivamente ao tratamento com adubação onde também foi adicionado corretivo de acidez.

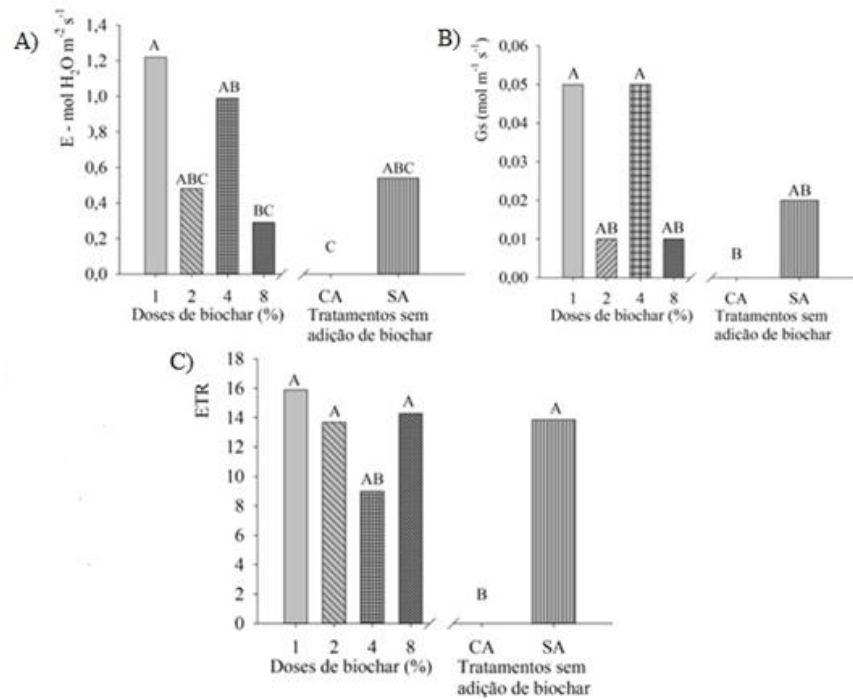
Figura 8. Transpiração ( $E$ ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (A), Condutância estomática ( $G_s$ ,  $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) (B) e Taxa de transporte de elétrons (ETR) (C) das plantas de *A. humile*, aos 30 dias após o transplântio, em função das doses de biochar (1, 2, 4 e 8%) e dos tratamentos com e sem adubação (CA e SA).



\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível  $p < 0,05$ .

As variáveis  $E$ ,  $G_s$  e ETR apresentaram padrões diferentes entre os tratamentos, aos 60 dias após o transplântio (Figura 9). As plantas com biochar nas doses de 1 e 4% apresentaram maior  $E$  e  $G_s$  (Figura 9A e 9B). Para o ETR, as plantas responderam positivamente aos tratamentos sem adubação (SA) e com biochar (Figura 9C), indicando maior capacidade fotoquímica e maior eficiência na transferência de elétrons de energia luminosa para o PSII (HUANG et al., 2011).

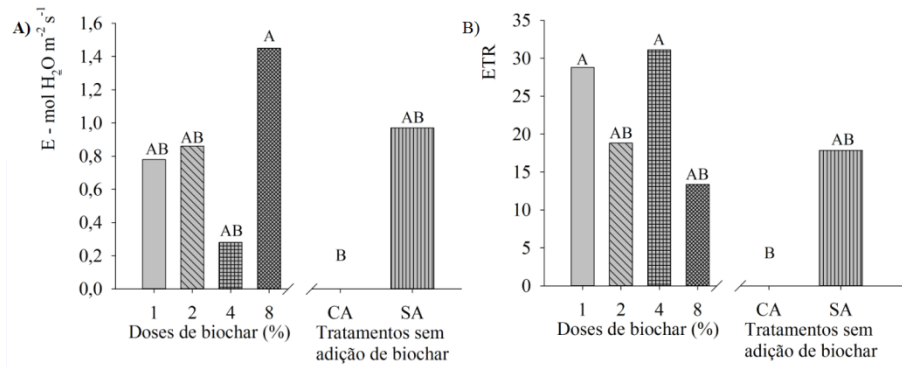
Figura 9. Transpiração ( $E$ ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (A), Condutância estomática ( $G_s$ ,  $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) (B) e Taxa de transporte de elétrons (ETR) (C) das plantas de *A. humile*, aos 60 dias após o transplântio, em função das doses de biochar (1, 2, 4 e 8%) e dos tratamentos com e sem adubação (CA e SA).



\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível  $p < 0,05$ .

Aos 120 dias, houve efeito significativo para  $E$  e ETR. A transpiração foi maior na dose de 8% (Figura 10A), isso reafirma a alta capacidade do biochar em reter água no solo. Para o ETR os tratamentos com biochar foram iguais estatisticamente ao tratamento sem adubação (Figura 10B). O biochar é um material poroso e rico em carbono, sua incorporação ao solo favorece a população de micro-organismos benéficos (LEHMANN, et al, 2011), e isso contribui para o alívio de estresses abióticos e bióticos às plantas (ALI, et al, 2017). Os efeitos positivos e negativos do biochar no desempenho do crescimento das plantas têm sido discutidos na literatura por muitos pesquisadores (NAMGAY, et al, 2010; YOUNIS, et al, 2020; ALABOUDI, et al, 2019).

Figura 10. Transpiração ( $E$ ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (A) e Taxa de transporte de eletrons (ETR) (B) das plantas de *A. humile*, aos 120 dias após o transplântio, em função das doses de biochar (1, 2, 4 e 8%) e dos tratamentos com e sem adubação (CA e SA).



\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível  $p < 0,05$ .

Quanto às características morfológicas, o efeito foi significativo aos 90 e 120 dias após o transplântio para a altura; e aos 120 dias para massa seca de raízes (Tabela 4). Os dados de altura e MSR corroboram com os dados fisiológicos, onde é possível observar que tanto os tratamentos com biochar quanto o tratamento sem adubação proporcionam bons resultados para as plantas de *A. humile*, sobretudo a dose de 2% de biochar. De acordo com Lima et al. (2016), o melhor desenvolvimento vegetal proporcionado pelo biochar varia conforme suas características químicas, deste modo cada biochar apresenta uma dose ideal a depender da espécie.

Tabela 4. Médias de altura (cm) aos 90 e 120 e massa seca de raiz (MSR – g/planta), aos 120 dias após o transplântio das plantas de *A. humile*, em função das doses de biochar (1, 2, 4 e 8%) e dos tratamentos com e sem adubação (CA e SA).

Tratamento	Altura (cm)		MSR aos 120 dias (g/planta)
	90	120	
1%	18,25 a	21,00ab	6,47 ab
2%	20,25 a	24,95 a	17,86 a
4%	9,75 ab	11,63 ab	4,05 ab
8%	19,00 a	21,75 a	6,39 ab
CA	—	—	—
SA	12,88 ab	17,13 ab	10,75 ab

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível  $p < 0,05$ .

#### 4 Conclusões

A dose 2% de biochar aumenta a fotossíntese e o  $\text{CO}_2$  consumido pelas plantas de *Acrocomia aculeata*. Dessa forma, essa dose pode ser indicada no plantio dessa espécie.

O tratamento sem adubação proporciona incremento na fotossíntese e  $\text{CO}_2$  consumido para a espécie *Psidium firmum*; e os tratamentos com biochar em todas as doses promovem maior ganho em



biomassa seca de raiz para a mesma espécie.

Para *Anacardium humile* os tratamentos com aplicação de biochar e sem adubação, contribuem positivamente para o seu crescimento e fisiologia.

A adubação e correção da acidez do solo (tratamento CA), desfavorece o crescimento e fisiologia das plantas, sobretudo para a espécie cajuzinho do cerrado.

De forma similar, tanto a ausência adubação quanto o uso do biochar de torta de filtro podem ser indicados para o plantio de macaúba, araçá e cajuzinho do cerrado.

## 5 Referências

ABDELHAFEZ, A. A. et al. Feasibility of biochar manufactured from organic wastes on the stabilization of heavy metals in a metal smelter contaminated soil. **Chemosphere**, v. 117, p. 66-71, 2014.

ALABOUDI, K. A. B. et al. Effect of biochar on Pb, Cd and Cr availability and maize growth in artificial contaminated soil. **Ann. Agric. Sci**, v.64, n.1, p.95-102, 2019.

ALI, S. et al. Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: a critical review. **Environ Sci Pollut Res**, v.24, p.12700-12712, 2017.

ALVES JÚNIOR, J. et al. Respostas do pequizeiro à irrigação e adubação orgânica. **Gl. Sci Technol, Rio Verde**, v.08, n.01, p.47-60, 2015.

ÁVILA, J. et al. Cover crops change the phytosociology of weeds and the banana yield. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.7, p.53-59, 2020.

COIMBRA, J. V. M. et al. Moinha de carvão e bioestimulante vegetal na formação de mudas de cedro Australiano. **Interação**, v.21, p.298-316, 2021.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

HUANG, D. et al. Morphological plasticity, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of *Athyrium pachyphlebium* at different shade levels. **Photosynthetica**, v.49, p.611-618, 2011.

INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE. Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil. N°08, 2012. . Acesso em: jun 2020.

LANES, E. C. M; COSTA, P. M. A; MOTOIKE, S. Y. Brazil promotes aviation biofuels. **Nature**, v. 511, p.31, 2014.

LESCANO, C. H. *et al.* Diuretic and Anti-Inflammatory Activities of the Microencapsulated *Acrocomia aculeata* (Arecaceae) Oil on Wistar Rats. **Journal of Medicinal Food**. v. 6, p. 656–662, 2015.

LIMA, S. L. *et al.* Biochar no manejo de nitrogênio e fósforo para a produção de mudas de angico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 2, p. 120-131, 2016.

MAIA, L. S. da. *et al.* Activated carbon from palm fibres used as an adsorbent for methylene blue removal. **Journal of Polymers and the environment**, v.29, n.4, p.1162-1175, 2021.

MAPA. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos** (2017). Disponível em < [https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/manual-de-metodos\\_2017\\_isbn-978-85-7991-109-5.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/manual-de-metodos_2017_isbn-978-85-7991-109-5.pdf)>. Acesso em 20 de Agosto de 2022.

MEDRADO, E; LIMA, J. E. F. W. Development of pedotransfer functions for estimating water retention curve for tropical soils of the Brazilian savanna. **Geoderma Regional**, v.1, p.59-66, 2014.

MOŽDŽENÍ, K. *et al.* Effect of drought stress induced by mannitol on physiological parameters of maize (*Zea mays* L.) Seedlings and plants. **J Microbiol Biotech Food Sci**, v.4, p.86-91, 2015.

PIMENTA, A. S. *et al.* Effects of biochar addition on chemical properties of a sandy soil from northeast Brazil. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 12, n. 3, p. 70, 2019.

PIMENTEL, L. D. *et al.* Effect of Nitrogen and Potassium Rates on Early Development of Macaw Palm. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1671-1680, 2015.

PIMENTEL, L. D. *et al.* Substrate, lime, phosphorus and topdress fertilization in macaw palm seedling production. **Revista Árvore**, v. 40, p. 235-244, 2016.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. 2ª Ed. São Paulo: UNESP, 2020.

RESSEL, K; LIMA-RIBEIRO M. de SOUZA. *et al.* Desempenho de progênies de diferentes matrizes de cajuzinho-do-cerrado mediante o armazenamento e o peso das núculas. **Ciência Rural**, v.45, n.10, p.1782-1787, 2015.

RODRIGUES, F. *et al.* Comportamento inicial de mudas de *Anacardium humile* St. Hil sob diferentes substratos. **Revista Agrotecnologia**, v. 7, n. 1, p. 1-9, 2016.

SANCHEZ-REINOSO, A. D; AVILA-PEDRAZA, E. A; RESTREPO-DIAZ, H. Use of biochar in agriculture. **Acta biol.** Colomb, v. 25, n. 2, p. 327-338, 2020.

SOARES, L. V. *et al.* Brazilian Cerrado fruits and their potential use in bakery products. In H. Lewis (Ed.), *Bread: Consumption, cultural significance and health effects* (Chap. 5, pp. 125-160). New York: Nova Publisher.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

WEN, Z. S. P. *et al.* Microwave-assisted synthesis of a novel biochar-based slow-release nitrogen fertilizer with enhanced water-retention capacity. **ACS Sustainable Chem. Eng**, v.5, n.8, p. 7374-7382, 2017.

XU, H. *et al.* Biochar impacts soil microbial community composition and nitrogen cycling in an acidic soil planted with rape. **Environ. Sci. Technol**, v.48, p.9391–9399, 2014.

YOUNIS, U. *et al.* Role of cotton sticks biochar in immobilization of nickel under induced toxicity condition and growth indices of *Trigonella corniculata* L. **Environmental Science and Pollution Research**, v.27, p. 1752-1761, 2020.

### **4.3 Artigo 3 – Biochar de torta de filtro como condicionador de solo cultivado com espécies nativas do Cerrado: efeito nos atributos químicos e microbiológicos do solo**

Este artigo foi elaborado conforme normas do periódico Floresta e Ambiente.

## **Biochar de torta de filtro como condicionador de solo cultivado com espécies nativas do Cerrado: efeito nos atributos químicos e microbiológicos do solo**

### **Resumo**

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do biochar de torta de filtro nos atributos químicos e microbiológicos de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico cultivado com macaúba (*Acrocomia aculeata*), araçá (*Psidium firmum*) e cajuzinho do cerrado (*Anacardium humile*), espécies nativas do Cerrado. Assim, as respostas dos atributos do solo foram avaliadas 120 dias após o transplante das mudas utilizando quatro doses de biochar (1%, 2%, 4% e 8% v/v) e dois tratamentos controle (um com correção do solo (7,5 g de GEOX) e adubação (380 g NPK 4:14:8 por planta) e o outro sem adubação). Os atributos avaliados foram pH, teores de Ca, Mg, P, K, CTC, carbono orgânico e nitrogênio total (COT e N) e microbianos (Cmic e Nmic). Para os solos cultivados com as três espécies do Cerrado, a combinação dose de 1% de biochar e adubação mineral foi aquela que melhor condicionou o solo durante o tempo de cultivo e, promoveu melhor resposta dos atributos químicos e microbiológicos do solo.

**Palavras-chave:** Biochar, carbono microbiano, carbono orgânico total, fertilidade do solo, nitrogênio.

### **Abstract**

The aim of this study was to evaluate the effect of filter cake biochar on the chemical and microbiological attributes of a dystrophic Red Yellow Latosol cultivated with macaúba (*Acrocomia aculeata*), araçá (*Psidium firmum*) and cajuzinho do cerrado (*Anacardium humile*), species native to the Thick. Thus, the responses of soil attributes were evaluated 120 days after transplanting the seedlings using four doses of biochar (1%, 2%, 4% and 8% v/v) and two control treatments (one with soil correction (7.5 g of GEOX) and fertilization (380 g NPK 4:14:8 per plant) and the other without fertilization). The evaluated attributes were pH, Ca, Mg, P, K, CEC, organic carbon and total nitrogen (TOC and N) and microbial (Cmic and Nmic) contents. For the soils cultivated with the three Cerrado species, the combination of 1% biochar and mineral fertilizer was the one that best conditioned the soil during the cultivation period and promoted a better response of chemical and microbiological soil attributes.

**Keywords:** Biochar, microbial carbon, total organic carbon, soil fertility, nitrogen.

## Introdução

O bioma Cerrado apresenta grande diversidade de espécies arbóreas, muitas destas de alto valor comercial (Soares et al., 2017). Entre as muitas espécies que fornecem produtos não-madeireiros destacam-se a macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius), o araçá (*Psidium firmum* O. Berg) e o cajuzinho do cerrado (*Anacardium humile* A. St.-Hil.). Além do valor econômico, também são importantes em plantios para fins de restauração florestal, e apesar disso, pouco se sabe sobre as exigências nutricionais no estabelecimento de plantios em campo.

A sobrevivência das mudas plantadas em um projeto de restauração florestal depende de diversos fatores, sendo que as condições edáficas do solo degradado estão entre os fatores de maior importância (Carnevali et al., 2016). Áreas degradadas comumente apresentam perda por erosão do horizonte superficial do solo, juntamente com a matéria orgânica, o que causa sérios problemas físicos, químicos e biológicos ao substrato remanescente (Lara et al., 2017).

Apesar de todo o avanço das pesquisas sobre o manejo da fertilidade de solos com baixa fertilidade, como os que predominam no Cerrado, em áreas degradadas, a busca por tecnologias alternativas sustentáveis que potencializem estes solos tem sido estimulada (Falcão et al., 2013; Boecha et al., 2014; Lima et al., 2015). Assim, o uso de resíduos agroindustriais tem sido uma alternativa para alcançar a sustentabilidade ambiental com maior produtividade e sobrevivência das plantas, principalmente devido ao aumento da matéria orgânica do solo (Berilli et al., 2019). Dentre esses resíduos pode-se destacar a torta de filtro, proveniente da indústria de cana-de-açúcar, composto da mistura do bagaço moído e lodo da decantação, sendo um excelente produto orgânico para melhoria de solos com baixa fertilidade natural (Silva et al., 2021).

A aplicação destes resíduos tem efeito limitado sobre o carbono do solo ao longo do tempo. Estudos indicam que uma grande quantidade de C aplicado se transforma por meio do processo de decomposição sem o devido aproveitamento (Scala et al., 2006). Uma estratégia para maximizar este aproveitamento do carbono é por meio do uso de biochar, também conhecido como biochar que é um material sólido, poroso, rico em carbono, obtido a partir da degradação térmica de resíduos orgânicos em um ambiente com restrição de oxigênio (Sánchez-Reinoso; Ávila e Restrepo, 2020). O biochar, quando comparado ao resíduo *in natura*, têm as vantagens de reduzir o volume final de resíduos e também fornecer nutrientes e carbono de formas mais estáveis ao solo (Gwenzi et al., 2016; Sheng et al., 2016).

O biochar auxilia na retenção, disponibilidade e aumento de nutrientes, promovendo melhor desempenho nutricional de plantas cultivadas em viveiros ou em campo (Enders et al., 2012; Novotny, 2014), e a oferta de nutrientes é dependente do seu material de origem (Akhtar et al., 2015). A aplicação do biochar promove a estabilidade e aumento dos estoques de carbono, melhora da qualidade do solo, diminui a lixiviação de nutrientes, e contribui com a redução dos níveis de irrigação e fertilização (Li et al., 2017). As interações com os microrganismos do solo geram alterações de pH, das taxas de decomposição da matéria orgânica, bem como da disponibilidade de energia e nitrogênio para as plantas (Du et al., 2014).

Dessa forma, o biochar se apresenta como um condicionador de solo eficiente em projetos de restauração florestal, uma vez que promove a melhoria das propriedades físicas e químicas podendo recuperar solos degradados e promover um ambiente mais favorável ao desenvolvimento do sistema radicular e à atividade biológica do solo (Achete et al., 2013).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do biochar de torta de filtro nos atributos químicos e microbiológicos num Latossolo Vermelho Amarelo distrófico cultivado com três espécies nativas do Cerrado.

## Material de Métodos

### ***Preparação e caracterização do biochar***

O biochar utilizado no trabalho foi produzido a partir da torta de filtro, subproduto da indústria sucroalcooleira, proveniente da filtração do caldo extraído das moendas no filtro rotativo, obtido de uma mistura de bagaço moído e lodo da decantação. Após coleta do material no pátio da usina, o mesmo foi seco em estufa a  $103 \pm 2$  °C para posterior pirólise. Em seguida, a torta de filtro foi acondicionada em recipientes de alumínio e levada para a mufla, onde procedeu-se a pirólise, em condições de temperatura de 550 °C e tempo de residência de 180 min. Em seguida, o biochar foi triturado e peneirado em peneira de 1 mm. Antes de ser aplicado ao solo, foi realizada a caracterização do biochar (Tabela 1). O teor de cinzas, pH e condutividade elétrica foi determinado segundo método proposto pela International Biochar Initiative (IBI, 2012). O teor de macro e micronutrientes foi obtido de acordo com o método oficial proposto pelo Ministério da Agricultura e Abastecimento (MAPA, 2017) para fertilizantes orgânicos. O rendimento do biochar produzido foi de  $73,4 \% \pm 0,73$ , sendo calculado por meio da relação entre a massa do biochar pirolisada e a massa da matéria-prima *in natura* antes do processo de pirólise.

Tabela 1 – Caracterização do biochar de torta de filtro, utilizado no experimento.

Atributo	Nível
Umidade (%)	1,8
pH	8,50
CE (mS cm <sup>-1</sup> )	0,323
Cinzas (%)	46,86
C total (g kg <sup>-1</sup> )	287,9
N total (g kg <sup>-1</sup> )	1,84
P (g kg <sup>-1</sup> )	0,48
K (g kg <sup>-1</sup> )	3,55
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	115,56
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	2,84
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	0,017
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	0,051
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	0,055
Fe (g kg <sup>-1</sup> )	12,68

### ***Produção das mudas em viveiro e montagem dos experimentos em casa de vegetação***

As mudas das três espécies utilizadas foram produzidas no Viveiro de Ecologia vegetal da Unimontes em Montes Claros, MG. As mudas foram transplantadas nos vasos com idade de 180 dias. O solo utilizado no experimento foi coletado em área de vegetação nativa e foi classificado como Latossolo

Vermelho Amarelo distrófico, segundo Embrapa (2018), e sua caracterização química e granulométrica está descrita na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização química e textural do solo utilizado no experimento.

Análise química do solo	
Atributo do solo	Nível
pH (água)	4,11
P (mg/dm <sup>3</sup> )	5,58
K (mg/dm <sup>3</sup> )	37,49
Ca (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,93
Mg (cmolc/dm <sup>3</sup> )	<0,1
Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,88
H+Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	5,28
SB (%)	18
t (%)	100
T (cmolc/dm <sup>3</sup> )	6,41
m (%)	44
V (%)	18
Análise granulométrica do solo	
Areia (dag/kg)	38,74
Silte (dag/kg)	16,26
Argila (dag/kg)	45 Ar

Os três experimentos foram montados em julho de 2020, no viveiro de plantas medicinais do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, sendo um experimento por espécie. As espécies nativas do cerrado utilizadas foram: macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius), araçá (*Psidium firmum* O. Berg) e cajuzinho do cerrado (*Anacardium humile* A. St.-Hil.). Os experimentos foram implantados em vasos de 12 dm<sup>3</sup>, em casa de vegetação, num delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições, constituído por seis tratamentos: quatro doses de biochar: 1 (B1); 2 (B2); 4 (B3) e 8 % (B4) v/v e dois tratamentos controle: um sem adubação (SA) e outro com correção do solo, 7,5 g de GEOX (60% de CaO e 30% de MgO) e adubação mineral, 380 g NPK 4:14:8 por planta (CA). O solo foi peneirado em peneira de malha < 4 mm, misturado ao biochar, e acondicionado nos vasos, onde se realizou o transplântio das mudas.

#### **Avaliação dos atributos do solo**

Ao final do experimento, aos 120 dias após o transplântio das mudas, foi realizada a amostragem do solo nos vasos e avaliou-se os teores de Ca, Mg, P e K, pH, CTC, carbono orgânico (COT) e nitrogênio (N) total e microbianos (Cmic e Nmic) e relação C:N. Para a análise química, o solo de cada vaso foi completamente misturado, passado em uma peneira de 2 mm e caracterizado seguindo a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).



Para determinação dos teores de COT e N total do solo, as amostras foram secas ao ar, passadas por peneiras de 2 mm, homogêneas, moídas e passadas novamente por peneiras de 0,150 mm. Para a determinação do COT, foi utilizado o método por oxidação úmida via dicromato de potássio (Yeomans & Bremner, 1988), enquanto, para o N total do solo, foi utilizado o método de digestão sulfúrica conforme método Kjeldhal (Bremner & Mulvaney, 1982; Tedesco et al., 1995). Em seguida, foi calculada a relação C:N.

Para a análise do carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo, foi realizada a catação manual de pequenos fragmentos vegetais das amostras. Determinou-se a umidade inicial das amostras e, em seguida, houve adição de água até atingir 60% na capacidade de campo, umidade ideal para a proliferação dos organismos do solo. A determinação do  $C_{mic}$  e  $N_{mic}$  foi realizada pelo método de fumigação-extração, de acordo com Vance et al. (1987) e adaptado por Silva et al. (2007).

### ***Análise estatística***

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância multivariada (MANOVA) com o objetivo de verificar o agrupamento das diferentes características do solo e a diferença entre os tratamentos. Para tanto foi utilizada a função manova do pacote Stats, recorrendo ao teste de Pillai a 5% de significância. Após verificar a ausência de multicolineariedade, os dados foram submetidos à análise de variáveis canônicas (VC) com auxílio do pacote Multivariate Analysis. Os procedimentos estatísticos foram realizados com auxílio do software R (R Development Core Team, 2016).

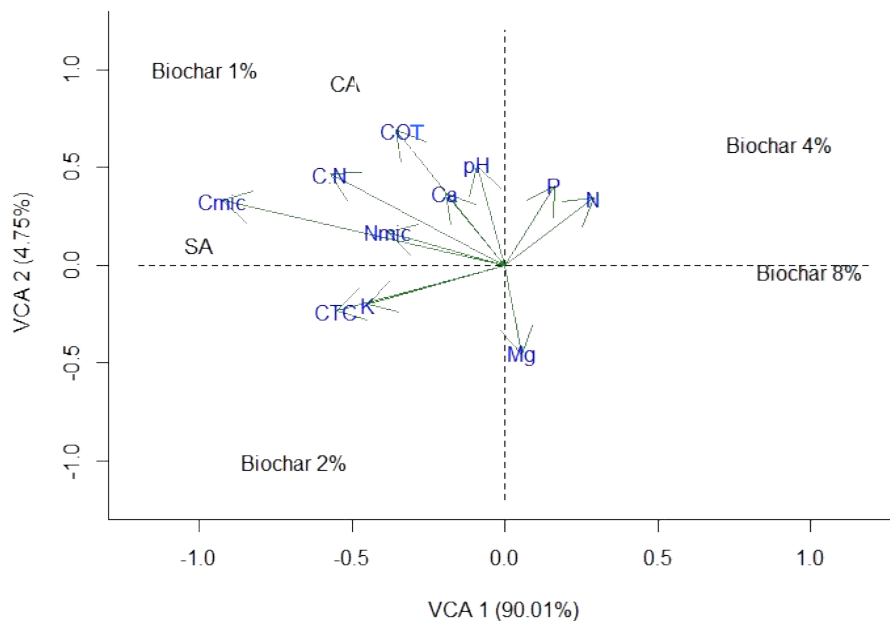
### **Resultados**

No solo cultivado com a macaúba, as duas primeiras variáveis canônicas (VC1, VC2) explicaram 94,76% da variação total observada, sendo que a variável canônica 1 (VC1) explicou 90,01% da variação total, onde as variáveis com maior contribuição foram  $C_{mic}$ ,  $N_{mic}$ , relação C:N, CTC e teor de K (Tabela 3). Considerando-se a correlação negativa destas variáveis com a VC1, a dispersão gráfica indica que o tratamento B1 (1% de biochar) proporcionou maiores valores dessas variáveis (Figura 1).

Tabela 3- Correlações canônicas referentes aos escores para os 11 atributos do solo cultivado com macaúba, nos tratamentos com adição de biochar nas doses de 1, 2, 4 e 8%, com adubação - CA (7,5 g do corretivo GEOX e 380 g de adubo mineral NPK 4:14:8 por planta) e sem adubação (SA).

Variáveis analisadas	Variáveis canônicas (VC)	
	VC1	VC2
Carbono microbiano	-0,92	0,33
Nitrogênio microbiano	-0,38	0,17
Carbono orgânico total	-0,36	0,69
Nitrogênio total	0,31	0,34
Relação C/N	-0,57	0,47
Teor de P	0,16	0,41
Teor de K	-0,45	-0,20
Teor de Ca	-0,20	0,37
Teor de Mg	0,05	-0,46
pH	-0,09	0,51
Capacidade de troca de cátions (CTC)	-0,56	-0,23

Figura 1 - Dispersão gráfica das variáveis canônicas VC1 e VC2 no estudo dos atributos do solo, cultivado com macaúba, nos tratamentos com adição de biochar nas doses de 1, 2, 4 e 8%, com adubação - CA (7,5 g do corretivo GEOX e 380 g de adubo mineral NPK 4:14:8 por planta) e sem adubação (SA).



A segunda variável canônica (VC2) explicou 4,71% da variação entre os tratamentos e as variáveis de maior relevância foram COT, N, pH e teores de P, Ca e Mg (Tabela 3), sendo a correlação com o teor de Mg negativa e as demais positivas. Dessa forma a dispersão gráfica indica que os tratamentos CA e B1 promoveram valores superiores de COT, N, pH e teores de P e Ca, ao passo que a

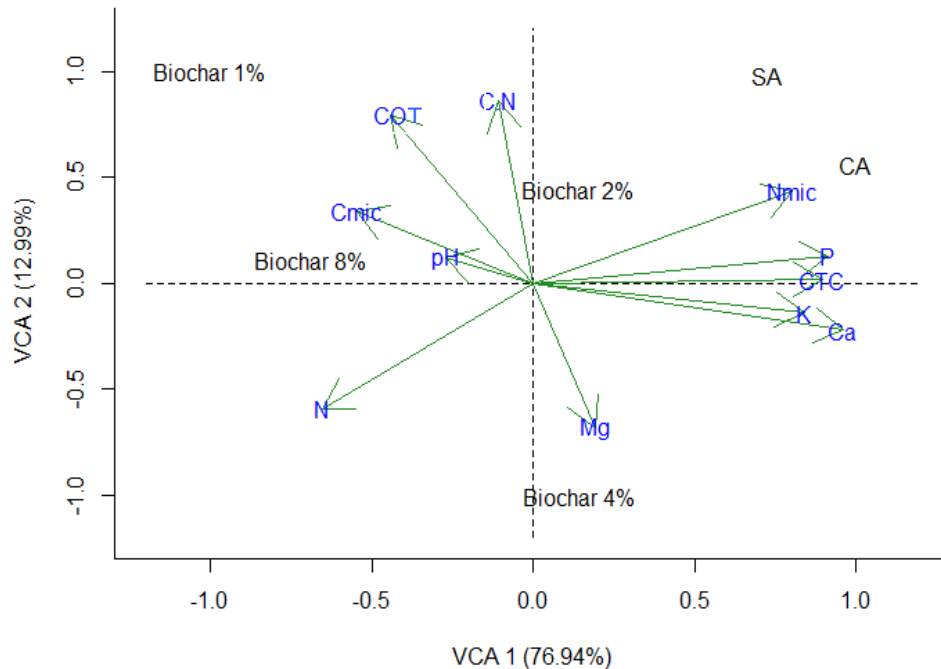
o tratamento B2 contribuiu com o maior teor de Mg (Figura 1).

Para solo cultivado com a espécie araçá, as duas primeiras variáveis canônicas (VC1, VC2) explicaram 89,93% da variação total observada, sendo que a variável canônica 1 (VC1) explicou 76,96% da variação total e, a variável canônica 2 (VC2), explicou 12,99% (Figura 2). Na VC1 foram o Cmic, Nmic, N, pH, CTC e teores de P, K e Ca os atributos de maior contribuição (Tabela 4). As correlações negativas de VC1 com Cmic, N e pH, mostram no gráfico que o tratamento B1 promoveu os maiores valores dessas variáveis. Já correlações positivas mostram que o maior valor de Nmic, CTC e teores de P, K e Ca foram obtidos no tratamento CA (Figura 2).

Tabela 4 - Correlações canônicas referentes aos escores para os 11 atributos do solo cultivado com araçá, nos tratamentos com adição de biochar nas doses de 1, 2, 4 e 8%, com adubação - CA (7,5 g do corretivo GEOX e 380 g de adubo mineral NPK 4:14:8 por planta) e sem adubação (SA).

Variáveis analisadas	Variáveis canônicas (VC)	
	VC1	VC2
Carbono microbiano	-0,55	0,34
Nitrogênio microbiano	0,80	0,44
Carbono orgânico total	-0,44	0,80
Nitrogênio total	-0,65	-0,59
Relação C/N	-0,11	0,86
Teor de P	0,91	0,13
Teor de K	0,84	-0,14
Teor de Ca	0,96	-0,22
Teor de Mg	0,19	-0,68
pH	-0,27	0,12
Capacidade de troca de cátions (CTC)	0,89	0,02

Figura 2 - Dispersão gráfica das variáveis canônicas VC1 e VC2 no estudo dos atributos do solo, cultivado com araçá, nos tratamentos com adição de biochar nas doses de 1, 2, 4 e 8%, com adubação - CA (7,5 g do corretivo GEOX e 380 g de adubo mineral NPK 4:14:8 por planta) e sem adubação (SA).



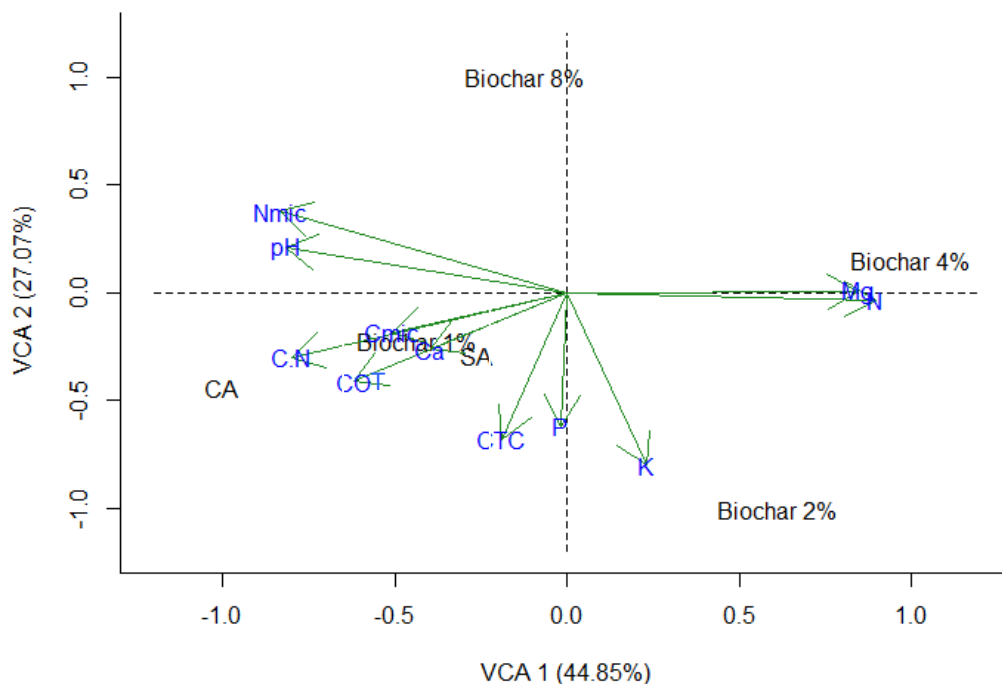
Para a segunda variável canônica (VC2), os atributos de maior relevância foram COT, relação C:N, e teor de Mg (Tabela 4), sendo a correlação com o teor de Mg negativa e com COT e relação C:N positiva. Dessa forma, a dispersão gráfica indica que os tratamentos SA e B1 contribuíram com maiores valores de COT e relação C:N, e o tratamento B4 foi aquele que apresentou maior teor de Mg (Figura 2).

Na análise canônica dos atributos do solo cultivado com cajuzinho do cerrado, a primeira e a segunda variável canônica corresponderam a 44,85 e 27,07 % da variação total, respectivamente. Isso representa 71,92 % da variação total. Para a variável canônica 1 (VC1) o Cmic, Nmic, COT, N, relação C:N, pH e teores de Ca e Mg foram as variáveis com maior contribuição (Tabela 5). Ao considerar as correlações positivas do N e do teor de Mg com a VC1, a dispersão gráfica indica que o tratamento B4 proporcionou maiores incrementos desses atributos do solo. Para Cmic, Nmic, COT, relação C:N, pH e teor de Ca as correlações foram negativas com VC1. Portanto, o gráfico mostra que o tratamento CA contribuiu com aumento dos valores desses atributos do solo (Figura 3).

Tabela 5 - Correlações canônicas referentes aos escores para os 11 atributos do solo cultivado com cajuzinho do cerrado, nos tratamentos com adição de biochar nas doses de 1, 2, 4 e 8%, com adubação - CA (7,5 g do corretivo GEOX e 380 g de adubo mineral NPK 4:14:8 por planta) e sem adubação (SA).

Variáveis analisadas	Variáveis canônicas (VC)	
	VC1	VC2
Carbono microbiano	-0,51	-0,19
Nitrogênio microbiano	-0,83	0,38
Carbono orgânico total	-0,62	-0,41
Nitrogênio total	0,89	-0,03
Relação C/N	-0,80	-0,30
Teor de P	-0,02	-0,62
Teor de K	0,23	-0,80
Teor de Ca	-0,39	-0,26
Teor de Mg	0,85	0,01
pH	-0,82	0,21
Capacidade de troca de cátions (CTC)	-0,19	-0,68

Figura 3 - Dispersão gráfica das variáveis canônicas VC1 e VC2 no estudo dos atributos do solo, cultivado com cajuzinho do cerrado, nos tratamentos com adição de biochar nas doses de 1, 2, 4 e 8%, com adubação - CA (7,5 g do corretivo GEOX e 380 g de adubo mineral NPK 4:14:8 por planta) e sem adubação (SA).



Na variável canônica 2 (VC2), os atributos com maior contribuição foram a CTC e teores de P e K, sendo as correlações negativas (Tabela 5). Desse modo, a dispersão gráfica indica a dose de 2% de biochar como o tratamento que promoveu os melhores resultados desses atributos (Figura 3).

## Discussão

Nos solos cultivados com macaúba e cajuzinho do cerrado, os tratamentos que proporcionaram uma tendência de maior valor de pH foram CA e B4, sendo que no solo cultivado com araçá o tratamento B1 contribuiu com o aumento do pH do solo. Desse modo, a aplicação de 1% de biochar teve efeito no pH do solo semelhante ao corretivo aplicado no tratamento com adubação, e superior para o solo cultivado com araçá. O ajuste do pH do solo não apenas melhora a qualidade, mas também desencadeia uma série de processos bioquímicos no solo (Shaaban et al., 2018; Liu et al., 2019). Isso também pode justificar o fato desses tratamentos (CA e dose 1% de biochar) terem promovido incremento nos teores de Cmic e Nmic do solo.

Além disso, as respostas do Cmic e do Nmic também foram positivas no tratamento sem adubação (SA). Esses resultados podem ser atribuídos a recalcitrância do carbono presente no biochar de torta de filtro. De acordo com Sato et al. (2017), a fração estabilizada da matéria orgânica possui maior resistência ao ataque microbiano devido a sua recalcitrância, diferentemente da fração lábil, que se torna mais disponível aos microrganismos. Diante do exposto, a ausência dos efeitos benéficos, nas maiores doses de biochar, à estimulação microbiana pode ser devido à dificuldade dos microrganismos de acessar a fonte de carbono do biochar utilizado. Resultados semelhantes também foram relatados por Zimmerman et al. (2011), que constataram uma menor mineralização de carbono do que o esperado em solos com aplicação de biochars, com temperaturas de pirólise variando entre 525 a 650 °C. A redução da atividade microbiana após a aplicação de doses elevadas de biochar no solo também foi relatada por Chan et al. (2008), que atribuíram esse efeito desfavorável aos componentes químicos do biochar. De acordo com Deenik et al. (2010), a presença de compostos voláteis no biochar pode reduzir a biomassa microbiana do solo.

Quanto a CTC do solo, o incremento deste atributo foi observado principalmente nos tratamentos CA e B2. Isso se deve principalmente ao corretivo de solo aplicado no tratamento com adubação. Os biocarvões apresentam variação na CTC em função, principalmente, da biomassa utilizada como matéria prima (Cely et al., 2015) e da temperatura utilizada na pirólise (Song; Guo, 2012).

Nas condições do presente trabalho, a aplicação de biochar não incrementou o COT. A não alteração do COT no solo pode estar relacionada à estabilidade do carbono pirogênico, isso significa que a adição de biochar, em curto prazo, altera pouco o teor de carbono oxidável do solo, determinável pela oxidação com dicromato de potássio em meio ácido. Segundo Petter et al. (2012), a elevada estabilidade molecular do carbono pirogênico do biochar faz com que esse método não consiga oxidar todo o material oriundo da pirólise. Assim, o biochar proporciona aumento nos teores e estoques de carbono total no solo em longo prazo (Guimarães et al., 2017).

Os teores de N total do solo apresentaram uma tendência de aumento nos tratamentos B3 e B4, com as maiores doses de biochar (4 e 8%, respectivamente), o que refletiu em baixa relação C:N dos solos avaliados com essas doses. Há relatos de aumento de nitrogênio após 1, 2 e 10 anos de aplicação do biochar (Bai et al., 2015). Além de serem fontes de N, a incorporação de biochar ao solo pode diminuir as perdas desse elemento por volatilização e lixiviação (Liu et al., 2019).

Para os solos cultivados com as três espécies, as correlações mostraram maiores teores de P e Ca no tratamento CA. Isso ocorreu pelo adubo e corretivo utilizados, NPK 4:14:8 e GEOX, que é composto por 60% de CaO. Além disso o biochar de torta filtro apresenta baixo teor de P (Tabela 1). O

teor de K nos solos cultivados com macaúba e cajuzinho tendeu a crescer no tratamento B2, e no solo cultivado com araçá essa tendência foi observada no tratamento CA. Isso se deve às maiores quantidade de bases trocáveis na forma de K, Ca e Mg nesses tratamentos. Os maiores teores de Mg se aproximaram das doses de 2 e 4% (B2 e B3). Diversos estudos têm mostrado incrementos na fertilidade do solo com aplicações de biochars de matérias-primas variadas e em diferentes culturas (Jeffery et al., 2011; Liu et al., 2014; Smider; Singh, 2014; Oram et al., 2014; Soenne et al., 2014; Tammeorg et al., 2014), e também decréscimos nas concentrações de alguns nutrientes, como P, Ca, Mg, K e micronutrientes (Smider; Singh, 2014). Esses dados mostram que diversos fatores como tipo de matéria-prima, tempo e temperatura de pirólise, manejo, espécie cultivada, podem influenciar na viabilidade de utilização desse produto no solo para diversos fins como a produção e cultivo de mudas em solos com baixa fertilidade natural.

### Conclusões

A aplicação de 1% de biochar influencia positivamente as respostas dos atributos pH, CTC, COT, Cmic, Nmic, relação C:N e teor de Ca no solo cultivado com a macaúba, pH, COT, Cmic e relação C:N para o solo cultivado com araçá.

No solo cultivado com cajuzinho do cerrado, a adubação mineral eleva o pH e a CTC e contribui para aumento nos teores de COT, Cmic, Nmic e Ca.

A dose de 4% de biochar proporciona incrementos nos teores de N e Mg do solo, porém os tratamentos com aplicação de 1% de biochar e adubação mineral são aqueles que mais contribuem para incrementos nos atributos químicos e microbiológicos do solo.

### Referências

- ACHETE, A. A.; FALCÃO, N.; ARCHANJO B. A nanociência desvendando os segredos do biochar das terras pretas de índio da Amazônia. **Revista Analytica**, v. 36, p. 12-13, 2013.
- AKHTAR, S. *et al.* Interactive effect of biochar and plant growth-promoting bacterial endophytes on ameliorating salinity stress in maize. **Functional Plant Biology**, v. 42, n. 8, p. 770-781, 2015.
- BERILLI, S. S. *et al.* Use of Tannery Sludge and Urban Compost as a Substrate for Sweet Pepper Seedlings. **Journal of Experimental Agriculture International**. V.43, n. 4, 1-9, 2019.
- BOECHAT, C. L. *et al.* Lodos de esgoto doméstico e industrial no crescimento inicial e qualidade de mudas de pinhão-manso. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 3, p. 782-791, 2014.
- BREMNER, J. M. *et al.* **Methods of soil analysis: part 2: chemical and microbiological properties**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982.
- CARNEVALI, N. H. S. *et al.* Sobrevivência e crescimento inicial de espécies arbóreas nativas implantadas em pastagem degradada. **Floresta**, Curitiba, v. 46, n. 2, p. 277-286, 2016.

- CELY, P. *et al.* Agronomic properties of biochars from different manure wastes. **J. Anal. Appl. Pyrol.** V. 111, p. 173–182, 2015.
- CHAN, K. Y. *et al.* Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. **Soil Research**, v. 45, p. 629-634, 2008;
- DEENIK, J. L. *et al.* Charcoal volatile matter content influences plant growth and soil nitrogen transformations. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, p. 1259-1270, 2010.
- DU, Z. *et al.* Consecutive biochar application alters soil enzyme activities in the winter wheat–growing season. **Soil. Sci.**, v. 179, n. 2, p. 75-83, 2014.
- EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: CNPS, 2018.
- ENDERS, A. *et al.* Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. **Bioresource technology**, v. 114, p. 644-653, 2012.
- GUIMARÃES, R. S. *et al.* Efeito Residual de Biochar e Pó de Serra nos Teores de Carbono e Nitrogênio Total em Latossolo Amarelo na Amazônia. **Rev. Virtual Quim**, v. 9, n. 5, p. 1944-1956, 2017.
- GWENZI, W. *et al.* Synthesis and nutrient release patterns of a biochar-based N–P–K slow-release fertilizer. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 15, n. 2, p. 405-414, 2018.
- INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE. **Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil**, Princeton Junction, NJ: IBI, N. 8, 2012.
- LARA, R. O. *et al.* Análise de cobertura, levantamento florístico e fitossiológico de uma área em recuperação com topsoil na Serra do Espinhaço, Brasil. **Revista Espacios**, v. 38, n. 30, p. 31-43, 2017.
- LI, Z. *et al.* The impact of crop residue biochars on silicon and nutrient cycles in croplands. **Science of the Total Environment**, v. 659, p. 673-680, 2019.
- LIMA, S. L. *et al.* Biochar no manejo de nitrogênio e fósforo para a produção de mudas de angico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 2, 120-131, 2015.
- LIU, Y. *et al.* Emission mechanism and reduction countermeasures of agricultural greenhouse gases—a review. **Greenhouse Gases: Science and Technology**, v. 9, n. 2, p. 160-174, 2019..



MAPA. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos**, Brasília-DF: MAPA, 2017. Disponível em <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/laboratorios/legislacoes-e-metodos/fertilizantesubstratos/manual-de-metodos>>. Acesso em: 8 ago. 2022.

NOVOTNY, E. H. *et al.* Biochar: pyrogenic carbon for agricultural use - a critical review. **R. Bras. Ci. Solo** 2015; 39:321-344.

ORAM, N. J. *et al.* Soil amendment with biochar increases the competitive ability of legumes via increased potassium availability. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 191, p. 191: 92-98, 2014..

PETTER, F. A. *et al.* Soil fertility and agronomic response of rice to biochar application in the Brazilian savannah. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 3, p. 699-706, 2012.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, 2016. Versão 3.5.0. (URL <https://www.R-project.org/>).

SANCHEZ-REINOSO. *et al.* Use of biochar in agriculture. **Acta biol**, v. 25, n. 2, p. 327-338, 2020. .

SATO, J. H. *et al.* Nitrous oxide fluxes in a Brazilian clayey oxisol after 24 years of integrated crop-livestock management. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 108, p. 1- 14, 2017.

SCALA, N. J. *et al.* Short term soil CO<sub>2</sub> emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 91, p. 244-248, 2006..

SHAABAN, M. *et al.* A concise review of biochar application to agricultural soils to improve soil conditions and fight pollution. **Journal of environmental management**, v. 228, p. 429-440, 2018.

SHENG, Y. *et al.* Reduced carbon sequestration potential of biochar in acidic soil. **Science of the Total Environment**, v. 572, n. 1, p. 129-137, 2016..

SILVA, E. E. *et al.* **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C)**. Seropédica-RJ: Comunicado Técnico Embrapa, 2007.

SILVA, J. H. B. *et al.* Brotação inicial, teor de sólidos solúveis e índice de maturação da cana-de-açúcar submetida à adubação com torta de filtro enriquecida. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, 2021.

SMIDER, B.; SINGH, B. Agronomic performance of a high ash biochar in two contrasting soils.

**Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 191, p. 99-107, 2014.

SOARES, L. V. Brazilian Cerrado fruits and their potential use in bakery products. In: H. Lewis, H. (Ed.) **Bread: Consumption, cultural significance and health effects**. New York: Nova Publisher; 2017.

SOINNE, H. Effect of biochar on phosphorus sorption and clay soil aggregate stability. **Geoderma**, v. 219, n. 220, p. 162-167, 2014.

SONG, W.; GUO, M. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 94, p. 94: 138–145, 2012.

TAMMEORG, P. *et al.* Short-term effects of biochar on soil properties and wheat yield formation with meat bone meal inorganic fertilizer on a boreal loamy sand. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 191, p. 108-116, 2014..

TEDESCO, M. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

VANCE, E. D. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biol. Biochem**, v. 19, p. 703-707, 1987..

YAO, Q.. Changes of bacterial community compositions after three years of biochar application in a black soil of northeast China. **Applied Soil Ecology**, v. 113, p. 11-21, 2017..

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A. Rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Soil Sci. Plant. Anal.**, v. 19, p. 1467-1476, 1998.

ZIMMERMAN, A. R. *et al.* Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, p. 1169-1179, 2011.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso dos resíduos torta de filtro e bagaço de cana-de-açúcar contribuíram para um bom desempenho das mudas e melhorias nos atributos do solo, sendo indicados em projetos de restauração florestal com plantio de espécies nativas do Cerrado. Adicionalmente, o biochar produzido a partir da torta de filtro se apresentou como bom condicionador de solo para o plantio de *Acrocomia aculeata*, *Psidium firmum* e *Anacardium humile*.

A adubação e a correção da acidez do solo desfavoreceram o crescimento e fisiologia das plantas, sobretudo para a espécie cajuzinho do cerrado (*Anacardium humile* A. St.-Hil.). Desta maneira, tanto a ausência de adubação como o uso do biochar de torta de filtro podem ser indicados, no plantio de macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius), araçá (*Psidium firmum* O. Berg) e cajuzinho do cerrado (*Anacardium humile*).