

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

Kamila Daniele de Resende Ferreira

**Características agronômicas do feijão-caupi e bioindicadores de qualidade do solo após
aplicação de *biochar* de resíduos animais**

Montes Claros

2022

KAMILA DANIELE DE RESENDE FERREIRA

Características agronômicas do feijão-caupi e bioindicadores de qualidade do solo após aplicação de *biochar* de resíduos animais

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

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Leidivan Almeida Frazão

Montes Claros
Abril de 2022

Ferreira, Kamila Daniele de Resende.

F383c
2022

Características agronômicas do feijão-caupi e bioindicadores de qualidade do solo após aplicação de biochar de resíduos animais [manuscrito] / Kamila Daniele de Resende Ferreira. Montes Claros, 2022.

45 f.:il

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

Orientadora: Leidivan Almeida Frazão

Banca examinadora: Thiago Gomes dos Santos Braz, Sônia Ribeiro Arrudas..

Inclui referências: f. 18-24; 32-37

1. Feijão-de-corda -- Teses. 2. Adubação -- Teses. 3. Carbono -- Teses. 4. Solos - Fertilidade -- Teses. 5. Solos - Qualidade -- Teses. 6. Crescimento (Plantas) -- Teses. I. Frazão, Leidivan Almeida. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 631.8



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

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos 29 dias do mês de abril de 2022, às 09:00 horas, sob a Presidência da Professora Leidivan Almeida Frazão, D. Sc. (Orientadora - ICA/UFMG), com a participação dos Professores Thiago Gomes dos Santos Braz, D. Sc. (ICA/UFMG) e Sônia Ribeiro Arrudas, D. Sc. (UNIMONTES), reuniu-se, por videoconferência, a Banca de Dissertação de **Kamila Daniele de Resende Ferreira**, aluna do Curso de Mestrado em Produção Vegetal. Como resultado da defesa de dissertação intitulada "**Características agronômicas do feijão-caupi e bioindicadores de qualidade do solo após aplicação de biochar de resíduos animais**", a aluna foi considerada **APROVADA**. E, para constar, 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.

OBS.: A aluna somente receberá o título após cumprir as exigências do **ARTIGO 68** do regulamento do Curso de Doutorado em Produção Vegetal, conforme apresentado a seguir:

Art. 68 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, no mínimo 3 (três) exemplares impressos e 1 (um) exemplar eletrônico da dissertação ou, 4 (quatro) exemplares impressos e 1 (um) exemplar eletrônico da tese, no prazo de 60 (sessenta) dias.

Montes Claros/MG, 29 de abril de 2022

Leidivan Almeida Frazão

Orientadora

Thiago Gomes dos Santos Braz

Membro

Sônia Ribeiro Arrudas

Membro



Documento assinado eletronicamente por **Leidivan Almeida Frazao, Professora do Magistério Superior**, em 03/05/2022, às 05:57, 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 **Thiago Gomes dos Santos Braz, Coordenador(a) de curso**, em 03/05/2022, às 06:36, 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 **Sônia Ribeiro Arrudas, Usuário Externo**, em 03/05/2022, às 07:16, 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, informando o código verificador **1425417** e o código CRC **2C82A56E**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sua graça e misericórdia para comigo e minha família.

Aos meus pais Gilmar e Cleonice, por não medirem esforços para me apoiar em meus estudos e em meus sonhos.

Ao meu irmão Lucas, que sei que sempre esteve orando por mim.

A minha orientadora Profa. Dra. Leidivan Frazão, pela orientação e por todo conhecimento compartilhado. Por ver em seus orientandos mais que acadêmicos, mas como seres humanos com dores e fraquezas. Agradecer também pelo tempo disponibilizado e toda contribuição para que esse trabalho fosse concluído.

Ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais pela oportunidade de realização do curso de pós-graduação.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal por todo o ensinamento compartilhado durante o curso.

Aos colegas do grupo de estudos em sistema de ILPF (GESILPF) pelo companheirismo e todo apoio. Em especial ao Alex, Ana Clara, Cecylia, Igor, Matheus e Nicson.

À CAPES meus agradecimentos pela concessão da bolsa de estudos (Código de Financiamento 001) durante o período do Mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo financiamento que permitiu a execução do projeto.

À todos, muito obrigada!

RESUMO

O *biochar* é um condicionador de solo que pode ser proveniente de diferentes matérias-primas e está ganhando visibilidade na produção agrícola. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de *biochar* de diferentes resíduos animais nas características agronômicas do feijão-caupi e, posteriormente, avaliar as respostas dos bioindicadores de qualidade do solo. O projeto foi conduzido em casa de vegetação em Montes Claros (MG). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos corresponderam a três tipos de *biochar* (bovino, suíno e de aves), combinados ou não com fertilizante, e dois tratamentos controle (com adição de óxido de cálcio e magnésio e de óxido de cálcio e magnésio + fertilizante). Para avaliação das características agronômicas do feijão-caupi, foi feita a determinação de parâmetros morfológicos e de produção de cada planta. Após a colheita do feijão também foi realizada a determinação do carbono orgânico total, nitrogênio total, carbono microbiano, respiração basal do solo e atividade da enzima β -glicosidase. Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Skott-Knott ($p < 0,05$). A aplicação de *biochar*, combinado ou não com fertilizante, proporcionou incremento no diâmetro do caule, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa seca de caule. Não houve diferença entre os tratamentos para Cmic, RBS e atividade da enzima β -glicosidase, enquanto o COT, o NT e o CL foram maiores nos tratamentos com aplicação de *biochar*. Avaliando somente os tratamentos com aplicação de *biochar*, o solo que apresentou maior teor de COT foi aquele onde houve a aplicação combinada de *biochar* bovino + fertilizante; já os solos com maior teor de NT foram aqueles com aplicação combinada ou não de *biochar* avícola + fertilizante e *biochar* suíno + fertilizante. Assim, pode-se concluir que o *biochar* associado a adubação convencional pode melhorar a qualidade do solo e, conseqüentemente, os parâmetros de produção do feijão-caupi.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*. Adubação. Carbono. Crescimento de plantas. Condicionador de solo.

ABSTRACT

Biochar is a soil conditioner from different raw materials that is in evidence in agricultural production. The objective of this work was to evaluate the effect of biochar application of different animal residues on the agronomic characteristics of cowpea and, later, to evaluate the responses of soil quality bioindicators. The project was carried out in a greenhouse in Montes Claros (MG). The experimental design used was in randomized blocks with eight treatments and four replications. The treatments corresponded to three types of biochar (beef, pork and poultry), combined or not with fertilizer, and two control treatments (with the addition of calcium and magnesium oxide and calcium and magnesium oxide + fertilizer). To evaluate the agronomic characteristics of cowpea, the morphological and production parameters of each plant were determined. After the bean harvest, total organic carbon, total nitrogen, microbial carbon, soil basal respiration and β -glucosidase enzyme activity were also determined. The collected data were submitted for analysis of variance and the means were compared by the Skott-Knott test ($p < 0.05$). The application of biochar, combined or not with fertilizer, provided an increase in stem diameter, number of pods per plant, number of grains per pod, stem dry mass and grains. There was no difference among treatments for Cmic, RBS and β -glucosidase enzyme activity, while COT, NT and CL were higher in treatments with biochar application. Evaluating only the treatments with biochar application, the soil that presented the highest TOC content was the one where there was a combined application of bovine biochar + fertilizer; the soils with the highest NT content were those with a combined application or not of poultry biochar + fertilizer and swine biochar + fertilizer. Thus, it can be concluded that biochar associated with conventional fertilization can improve soil quality, and consequently the production parameters of cowpea.

Keywords: *Vigna unguiculata*. Carbon. Fertilization. Plant growth. Soil conditioner.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Altura de plantas (cm), diâmetro de caule (mm), número de nós e comprimento de raízes (cm) de feijão-caupi adubado com diferentes <i>biochars</i> de resíduos animais.....	50
Tabela 2 - Número de vagens por planta e número de grãos por vagem de feijão-caupi após aplicação de diferentes <i>biochars</i> de resíduos animais.....	50
Tabela 3- Massa seca de folhas, de caule, de raízes e de grãos de feijão-caupi após aplicação de diferentes <i>biochars</i> de resíduos animais.....	51
Tabela 4 - Carbono orgânico e Nitrogênio total (COT e NT), relação C:N e Carbono lábil (CL) do solo após cultivo do feijão-caupi e aplicação de diferentes <i>biochars</i> de resíduos animais.....	51
Tabela 5 - Carbono microbiano (Cmic), respiração basal do solo (RBS), quociente metabólico (qCO ₂) do solo após cultivo do feijão-caupi e aplicação de diferentes <i>biochars</i> de resíduos animais.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- BA – *Biochar* resíduo avícola
BAF – *Biochar* de resíduo avícola + Fertilizante
BB – *Biochar* de resíduo bovino
BBF – *Biochar* de resíduo bovino + Fertilizante
BS – *Biochar* de resíduo suíno
BSF – *Biochar* de resíduo suíno + Fertilizante
C - Carbono
CL – Carbono lábil
Cmic – Carbono microbiano
COT – Carbono orgânico total
CT – Correção
CTF – Correção + Fertilizante
DAS – Dias após semeadura
NT – Nitrogênio total
qCO₂ – Quociente metabólico
RBS – Respiração basal do solo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo Geral.....	12
2.2	Objetivos Específicos	12
3	REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1	Cultura do feijão-caupi: produção e importância.....	13
3.2	Uso do <i>biochar</i> como condicionador do solo	13
3.3	Incremento de produtividade após aplicação de <i>biochar</i>	14
3.4	Atributos biológicos de qualidade do solo	15
3.5	Efeito da aplicação de <i>biochar</i> na atividade microbiana do solo	16
3.6	Referências	17
4	ARTIGO	24
4.1	Artigo 1 – Uso de <i>biochars</i> de resíduos animais e efeitos nas características agronômicas do feijão-caupi e nos bioindicadores de qualidade do solo.....	24
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), originário da África, é uma legumiosa herbácea da família fabaceae bastante difundida em países em desenvolvimento (JAYATHILAKE *et al.*, 2018). Isso se deve ao valor nutricional de seus grãos e aos aspectos agronômicos, como a fixação biológica de nitrogênio e a tolerância a seca (CARVALHO *et al.*, 2017). Estas características tornam a cultura como uma boa fonte de renda para os agricultores de regiões semiáridas (BOUKAR *et al.*, 2018).

O desempenho desta cultura pode ser significativamente melhorado com a aplicação de fertilizantes. No entanto, o uso excessivo de adubos químicos pode prejudicar o ambiente e a saúde humana, além de aumentar os custos de produção (SUHAG, 2016). Assim, consorciar bons níveis de produtividade com a conservação dos solos se tornou um grande desafio para os sistemas agrícolas intensivos (CHEN *et al.*, 2020).

A demanda por tecnologias para o aumento da eficiência no uso dos fertilizantes e manutenção dos sistemas produtivos é cada vez maior (ZHANG, 2018). Como alternativa, o *biochar*, biocarvão proveniente da pirólise de resíduos de biomassa sob baixa ou nenhuma presença de oxigênio, está sendo utilizado como condicionador por auxiliar na correção de áreas de plantio e apresentar potencial de acúmulo de carbono no solo (TRAZZI *et al.*, 2018).

Por ser rico em matéria orgânica, seu efeito é ainda mais evidente em solos tropicais, apresentando ação positiva no crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas (PETTER *et al.*, 2016). A matéria orgânica também possui relação direta com a qualidade biológica do solo, já que a sua decomposição se faz pela atividade microbiana, proporcionando maior mineralização e ciclagem de nutrientes (BARBORA & OLIVEIRA *et al.*, 2022).

O *biochar* gera ganhos agronômicos por melhorar a qualidade do solo e, conseqüentemente, a produtividade das culturas (MARCELINO *et al.*, 2020). Contudo, a magnitude de tais resultados pode variar com a composição do biocarvão (WEBER & QUICKER, 2018). Portanto, há a necessidade de pesquisas para aprimorar o conhecimento sobre as respostas dos parâmetros de produção das culturas agrícolas e dos atributos do solo após aplicação de *biochar* proveniente de diferentes matérias-primas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar as características agronômicas do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e as respostas dos bioindicadores de qualidade do solo após a aplicação de *biochars* de diferentes resíduos animais, na presença ou ausência de adubação mineral e correção do solo.

2.2 Objetivos Específicos

1. Avaliar as características agronômicas e morfológicas do feijão-caupi em solo adubado com *biochar* de resíduos animais e fertilizante mineral;
2. Determinar o carbono orgânico total, carbono lábil e nitrogênio total do solo após aplicação de *biochar*;
3. Quantificar o carbono microbiano, a respiração basal e a atividade enzimática do solo após a aplicação de *biochar*.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cultura do feijão-caupi: produção e importância

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma planta de origem africana e foi introduzida no Brasil na segunda metade do século XVI no estado da Bahia (FREIRE FILHO, 1988). A espécie é uma dicotiledônea pertencente à ordem Fabales, família *Fabaceae*, e é conhecida popularmente como feijão-de-corda, feijão-miúdo, feijão-fradinho e feijão-catador (FREIRE FILHO *et al.*, 2011).

A cultura apresenta grande importância socioeconômica, principalmente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, sendo que os maiores Estados produtores são Piauí, Ceará e Bahia (DUTRA *et al.*, 2015). Nestes locais seu cultivo é realizado principalmente por pequenos produtores e agricultores familiares, que têm o feijão-caupi como uma das principais fontes de proteína de baixo custo para alimentação (CORRÊA *et al.*, 2015).

Por ser precoce e rústica, é considerada uma planta adaptada às condições do semiárido, sendo cultivada frequentemente em condições de sequeiro (SOUSA *et al.*, 2014). A expressão do seu potencial produtivo depende de um conjunto de fatores, dentre eles estão a densidade de plantio e uso de recursos tecnológicos, ambientais e de manejo (BEZERRA *et al.*, 2014). Apesar do seu alto potencial, a produtividade média em tais áreas é considerada baixa devido a deficiência mineral do solo e falta de manejo da cultura (SANTOS *et al.*, 2017). Com isso, a fertilidade do solo se torna um fator limitante para o aumento da produtividade em função dos altos custos dos insumos agrícolas. Por isso, sistemas de produção convencionais precisam ser revistos em prol da sustentabilidade, tanto econômica quanto ecológica, a fim de reduzir custos e otimizar o uso de recursos (SAMPAIO; BRASIL, 2009).

O melhoramento genético também surge como ferramenta para expansão da cultura para as diversas regiões do Brasil a fim de se obter genótipos que possam atender desde o pequeno até o grande produtor, buscando alcançar características que proporcionem ciclo mais precoce e uniforme, padronização de grãos, alto valor nutritivo e baixo custo de produção (EMBRAPA, 2016). Dentre os inúmeros genótipos desenvolvidos pelo melhoramento vegetal, a cultivar BRS Cauamé apresenta bom nível de resistência ao acamamento e fácil colheita manual, revela ainda boa capacidade produtiva, alcançando produtividade de até 1,769 kg ha⁻¹ (EMBRAPA, 2009).

3.2 Uso do *biochar* como condicionador do solo

O *biochar*, ou biocarvão, é conhecido como qualquer resíduo de biomassa submetido a carbonização em atmosfera controlada para uso como condicionador do solo. Na sua maioria são constituídos de carbono (C) recalcitrante, macro e micronutrientes, sendo que a disponibilidade e quantidade destes podem sofrer variações em decorrência da origem da biomassa e temperatura de

pirólise utilizadas (MARTINS, 2018). Quando aplicado ao solo, geralmente permanece por longo período, em razão da sua alta relação C/N e baixa mineralização (BENITES *et al.*, 2009).

Tal prática é exercida há muitos anos, em 1870 alguns geólogos que viajavam pela Amazônia observaram manchas de solo com alto teor de carbono e fertilidade, o que foi chamado de “Terra Preta de Índio”, já que se tratava de solos associados a antigas ocupações indígenas, nos quais os nativos depositavam resíduos de suas atividades (MANGRICH *et al.*, 2011).

O *biochar* propicia diversos benefícios para o solo, tanto físicos quanto químicos. Atua em profundidade na textura, estrutura, porosidade, tamanho de partículas, densidade do terreno, fertilidade, retém água no período de pluviosidade, retém nutrientes e neutraliza elementos tóxicos (RÓZ *et al.*, 2015). De acordo com Lima *et al.* (2016), o biocarvão potencializa a eficiência do uso de nutrientes pelas plantas e auxilia na redução dos custos com adubação química, por diminuir a lixiviação de nutrientes e água no solo. Porém, o principal motivo pelo qual seu uso é cada vez mais incentivado é o sequestro de carbono da atmosfera, tendo em vista o contexto do aquecimento global e mudanças climáticas (FIGUEREDO *et al.*, 2014).

O carbono e a matéria orgânica são essenciais nas operações de recuperação de áreas degradadas. Além de possuir alto teor de C, o *biochar* é um produto mais estável, devido a pirólise pela qual o material é submetido. Tal pirólise possui várias classificações, como lenta, rápida e *flash*, o que depende da sua velocidade de aquecimento, tempo de residência e meio em que o processo ocorre. Para produção de carvão geralmente se usam temperaturas menores que 500 °C e tempos longos de aquecimento, a pirólise lenta (PIRES, 2017). A alta estabilidade do *biochar* fornece abrigo para microrganismos edáficos podendo atuar como sequestrador de C, reduzindo as emissões para a atmosfera (VENDRUSCOLO *et al.*, 2018).

O biocarvão pode ser produzido com diversos materiais como o lodo de esgoto, dejetos de animais, resíduos de atividades agrícolas e florestais. Em consequência do crescente aumento dos sistemas intensivos de produção animal, há o aumento da produção de dejetos com potencial para produção de *biochar*. Esse material, depois de tratado, pode ser destinado a agricultura, proporcionando o aumento de N, P e K, além de aumentar o teor da matéria orgânica e a capacidade de troca catiônica (CTC) e retenção de água do solo (COLEN *et al.*, 2019). Outro fator importante é que mesmo o biocarvão de resíduos vegetais e lodo de esgoto tendo maior área de superfície, o de resíduos animais apresenta maior poder de adsorção de metais pesados, diminuindo a poluição do solo (WANG *et al.*, 2017). Esse efeito pode estar ligado ao pH dos materiais (GAYATHRI *et al.*, 2021).

Em estudo realizado para avaliar o potencial dos *biochars* de casca de arroz e de esterco bovino no cultivo do feijoeiro, Torres *et al.* (2020) observaram correção de acidez do solo, aumento da CTC e da concentração de nutrientes e crescimento da cultura, principalmente nas doses mais altas do *biochar* de esterco bovino. Em estudo realizado por Andrade *et al.* (2015), foi verificado incremento da CTC nos tratamentos com biocarvão proveniente de cama de frango, o que foi evidenciado pelo aumento do pH do solo.

3.3 Efeitos do *biochar* na produtividade das culturas

De acordo com Soares (2019), foi possível verificar em vários estudos que o uso do *biochar* em solos ácidos ou com pH neutro, e em solos de textura média ou arenosa, proporcionou aumento na produtividade agrícola, sendo que as mais altas produtividades alcançadas foram com a utilização de 100 t ha⁻¹ de *biochar*.

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. Franco *et al.* (2018) avaliaram a influência de doses de *biochar* na produtividade da cultura do milho em três safras consecutivas e constataram efeito significativo, sendo que a terceira safra foi aquela com maior de produtividade.

Lima (2014) estudou o efeito do *biochar* nos atributos químicos do solo, desenvolvimento e produtividade da soja e notou melhorias no desempenho agrônomo das plantas e na produtividade, com destaque aos tratamentos que receberam as maiores doses. Avaliando a influência do *biochar* na produtividade do milho cultivado em solo de Cerrado, Schneider (2017) observou que a aplicação deste condicionador, associado ou não com adubo mineral, proporcionou maior produtividade de grãos.

A produtividade está diretamente relacionada às características agrônômicas da cultura, 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 agrônômicas do feijão-caupi são as condições de solo. Costa (2020), avaliando diferentes fontes de adubação para a cultura, observou altura máxima de 40,01 cm, onde foi feita adubação com *biochar* de lodo de esgoto. Mousavi *et al.* (2020), avaliando o efeito de diferentes doses de biocarvão de cana-de-açúcar no rendimento do feijão-caupi em solo com déficit hídrico, observaram que o rendimento de grãos foi maior nos tratamentos que continham o condicionador, possivelmente pelo fato de tal material aumentar a retenção de água do solo, diminuindo o estresse hídrico da planta.

3.4 Atributos biológicos de qualidade do solo

O carbono orgânico é obtido pelas plantas por meio da fixação fotossintética de CO₂ da atmosfera e o nitrogênio por transformações do N orgânico em formas inorgânicas como a mineralização da matéria orgânica, sendo absorvido na forma mineral (JESUS, 2017).

De acordo com Brito *et al.* (2018), o solo é o principal reservatório de C no ecossistema, sendo que retém em média 4,5 vezes mais C do que a biota e 3,3 mais que a atmosfera. Os teores de N nos diferentes perfis do solo normalmente correspondem ao mesmo padrão de distribuição do C, tendo seu acúmulo na fração superficial do solo, onde se encontra maior quantidade de matéria orgânica (RANGEL *et al.*, 2008). Algumas atividades humanas em relação ao uso da terra causam modificações extremas nos processos biogeoquímicos do solo, refletindo nos estoques de C, disponibilidade de N e na emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera (LIMA *et al.*, 2000). Já os fatores naturais que mais influenciam nos estoques de C e N do solo são as condições climáticas e a vegetação. Nas regiões de clima tropical, as altas temperaturas aceleram o processo de decomposição da matéria orgânica do solo, que, conseqüentemente, armazenam menos carbono em comparação às regiões de clima mais ameno (SILVA, 2015). Por isso, é válida a busca por meios de reposição e manutenção do carbono orgânico e nitrogênio

total do solo.

Já as frações lábeis do carbono do solo são mais sensíveis aos impactos sofridos pelo solo, possuem maiores níveis de renovação e disponibilizam mais nutrientes para as culturas, aumentando, assim, a produtividade. Além disso, essa medida é um indicador que vem sendo utilizado para monitoramento de qualidade do solo, auxiliando nas tomadas de decisão do manejo a ser adotado (DIEDERICH *et al.*, 2019).

A biomassa microbiana do solo influencia diretamente a decomposição dos resíduos e o carbono microbiano (Cmic) tem sido utilizado como indicador eficiente de qualidade do solo. Os microrganismos são a parte viva da matéria orgânica e, por isso, o Cmic possui relação direta com a ciclagem de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio, solubilização de nutrientes, formação da matéria orgânica e estrutura do solo (FERREIRA *et al.*, 2019). A quantidade de C-CO₂ produzida em determinado tempo por unidade de biomassa microbiana é representado pelo quociente metabólico (qCO₂). As respostas são variáveis em função do manejo, por isso é utilizado como indicador de qualidade do solo. O qCO₂ é obtido pela razão entre a respiração basal do solo (RBS) e o Cmic, sendo o produto do metabolismo dos microrganismos presentes no solo (SILVA *et al.*, 2012).

Adicionalmente, pode-se avaliar a microbiota do solo por meio da sua atividade enzimática. Esse bioindicador é muito utilizado por ser uma metodologia simples, rápida, precisa e barata, podendo identificar impactos de manejo ou poluição do solo (NANNIPIERI *et al.*, 2017).

3.5 Efeito da aplicação de *biochar* na atividade microbiana do solo

Estudo realizado por Guimarães (2017) avaliou a influência do biocarvão e pó de serra aplicados em diferentes doses na disponibilidade de nutrientes advindos de fertilizantes minerais. O autor observou um efeito significativo nos teores de carbono orgânico total (COT) à medida que as doses de biocarvão aumentavam e seu efeito residual promoveu o aumento do nitrogênio total.

Avaliando os efeitos do *biochar* produzido a partir de casca e borra de café nas características químicas e biológicas de Neossolo Regolítico cultivado com milho e feijão, Silva (2016) observou aumento do COT no solo com os dois cultivos, sendo que as maiores doses aplicadas obtiveram melhores resultados.

A fim de avaliar o efeito do *biochar* de lodo de esgoto nas frações lábeis da matéria orgânica de solo cultivado com milho, Melo (2017) conduziu experimento na Fazenda Água Limpa Brasília (DF), em Latossolo Vermelho Amarelo. Os tratamentos consistiam em um controle, adubação mineral, *biochar* produzido sob duas temperaturas de pirólise e os mesmos associados a adubação mineral. Ao final do estudo foi possível observar que os dois *biochars* associados ao NPK, independente da temperatura de pirólise, promoveram o acúmulo de COT no solo.

Oliveira *et al.* (2021) avaliaram os teores de Cmic em solo de textura arenosa após aplicação de *biochars* provenientes de agroindústria inoculados com o fungo *Trichoderma aureoviride* e cultivados com melão. Os autores encontraram interação significativa entre os *biochars* e o fungo, onde foi verificado um aumento expressivo do Cmic. Já o estudo conduzido por Santos *et al.* (2013) para avaliar o efeito de diferentes doses de *biochar* na biomassa microbiana de um solo cultivado por seis anos com soja,

constatou que o qCO_2 apresentou maiores valores no tratamento testemunha (sem aplicação de *biochar*), indicando que houve maior respiração basal do solo por unidade de biomassa quando comparado aos tratamentos com aplicação de *biochar*.

Em estudo avaliando o efeito de tortas de sementes (puras e transformadas em *biochar*) nas atividades enzimáticas, atributos químicos e microbiológicos de um solo arenoso, Oliveira *et al.* (2020) constataram que a torta de sementes de graviola transformada em *biochar* proporcionou resultados positivos quanto a qualidade bioquímica e microbiológica do solo, demonstrando seu maior potencial para uso agrícola em relação aos demais tratamentos.

Menna & Prakasha (2021), estudando o efeito de biocarvão, calcário e fertilizante na qualidade microbiológica do solo e produtividade de arroz e feijão-caupi, observaram que o *biochar*, junto ao fertilizante ou calcário, influenciou significativamente os teores de C_{mic} e N_{mic} e a atividade enzimática do solo. Também houve uma diminuição considerável do alumínio e acidez trocável e total na presença de *biochar*. Por consequência, os rendimentos nesses tratamentos foram maiores. O estudo encontrou correlação positiva entre a produtividade do arroz e do feijão-caupi e a qualidade microbiológica do solo.

3.6 Referências

ANDRADE, C. A. *et al.* Mineralização e efeitos de biocarvão de cama de frango sobre a capacidade de troca catiônica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 407-416, 2015.

ANDERSON, T. H., DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effect of environmental condition, such as pH on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biol Biochem**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

ALHO, C. F. B. V. **Efeito da temperatura final de pirólise na estabilidade de biocarvão produzido a partir de madeira de *Pinus sp* e *Eucalyptus sp***. 2012. 64 f. Dissertação (mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

BARBOSA, T. C. S.; OLIVEIRA, V. P. V. Indicadores químicos e biológicos de qualidade do solo utilizados no monitoramento da degradação em ambientes semiáridos: análise do estado da arte. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 17403-17423, 2022.

BARROS, J. D. S. *et al.* Estoque de carbono e nitrogênio em sistemas de manejo do solo, nos tabuleiros costeiros paraibanos. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 1, p. 35-42, 2013.

BENITES, V. M. *et al.* Utilização de carvão e subprodutos da carbonização vegetal na agricultura: aprendendo com as Terras Pretas de Índio. In: Teixeira WG, *et al.* **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. (Ed.). Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p. 285-296.

BEZERRA, A. A. C. *et al.* Morfofisiologia e produção de feijão-caupi, cultivar BRS novaera, em função da densidade de plantas. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 4, p. 166-175, 2014.

BRITO, E. S. **Feijão-Caupi**. 1.ed. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008. 97 p.

BRITO, M. R. *et al.* Estoque de carbono no solo sob diferentes condições de cerrado. **Revista Desafios**, v. 5, n. especial, p. 114-124, 2018.

CAMARGO, F. A. O. *et al.* **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Embrapa Acre, 2008. p. 87-97.

BOUKAR, O. *et al.* Cowpea (*Vigna unguiculata*): Genetics, genomics and breeding. **Plant Breeding**, Berlin, v. 138, n. 1, p. 415-424, 2018.

CARVALHO, M. *et al.* Cowpea: a legume crop for a challenging environment. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 13, p. 4273-4284, 2017.

CARVALHO, M. A. B. *et al.* Propriedades químicas do solo após aplicação de carvão vegetal e nitrogênio na cultura do arroz. In: XXXV Congresso brasileiro de ciência do solo, 2015, Natal. **Anais [O solo e suas múltiplas funções]**. Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

CHEN, K. *et al.* Stabilization of soil aggregate and organic matter under the application of three organic resources and biochar-based compound fertilizer. **Journal of Soils and Sediments**, v. 20, n. 10, p. 3633-3643, 2020.

COLEN, F. *et al.* Temperatura e tempo de residência na produção de biochar oriundo de dejetos de galinhas poedeiras. **Caderno De Ciências Agrárias**, v. 12, p. 1-8, 2020.

CORRÊA, M. J. P. *et al.* Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura do feijão-caupi. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 13, n. 2, p. 50-56, 2015.

COSTA, R. S. **Respostas fisiológicas, nutricionais e produtivas em plantas de feijão-de corda cultivadas sob fontes de adubos**. 2020. 74 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2020.

DIEDERICH, K. M. *et al.* Increasing Labile Soil Carbon and Nitrogen Fractions Require a Change in System, Rather Than Practice. **Soil Fertility & Plant Nutrition**, v. 83, n. 6, p. 1733-1745, 2019.

DUTRA, A. F. *et al.* Parâmetros fisiológicos e componentes de produção de feijão-caupi cultivado sob deficiência hídrica. **Revista brasileira de ciências agrárias**, v. 10, n. 2, p. 189-197, 2015.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **FEIJÃO-CAUPI**: melhoramento genético para o avanço da cultura. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2016, 11 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **BRS Cauamé**: Nova cultivar de feijão-caupi com porte semi-ereto. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009, 1 folder.

FERREIRA, A.; MIORANZA, M.; REZENDE, F. A. Indicadores microbiológicos de solo e as correlações com a aplicação de biocarvão em cultivos de Teca. In: FERREIRA, A.; REZENDE, F. A. de; M., M. **Indicadores microbiológicos de solo e as correlações com a aplicação de biocarvão em cultivos de Teca**. Brasília: Embrapa Agrossilvipastoril, 2019. p. 104-108.

FIGUEREDO, N. A. *et al.* Caracterização química e mineralógica de carvões vegetais coletados em diferentes ambientes. **Revista Árvore**, v. 38, n. 6, p. 993-1001, 2014.

FOGAÇA, A. M. *et al.* Influência do biochar na disponibilidade de água de um latossolo. In: VI Reunião Paranaense de Ciência do Solo – RPCS, 2019, Ponta Grossa. **Anais [trabalhos]**. Ponta Grossa: Embrapa solos, 2019.

FRANCO, L. R. *et al.* Influência de diferentes doses de biocarvão na produtividade do milho após três anos da aplicação. **Open Journal Systems**, v. 2, 2018.

FREIRE FILHO, F. R. *et al.* **Feijão-caupi: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. 1.ed. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 81 p.

FREIRE FILHO, F.R. Genética do caupi. In: ARAÚJO, J. P. P.; WATT, E. E. **O caupi no Brasil**. 1.ed. Brasília: IITA/EMBRAPA, 1988. p. 159 – 229.

GAYATHRI, R.; GOPINATH, K. P.; KUMAR, P. S. Adsorptive separation of toxic metals from aquatic environment using agro waste biochar: Application in electroplating industrial wastewater. **Chemosphere**, v. 262, p. 1-17, 2021.

GIÁCOMO, R. G.; PEREIRA, M. G.; BALIEIRO, F. deC. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição das frações húmicas no solo sob diferentes coberturas florestais¹. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 1, p. 42-48, 2008.

GUIMARÃES, R. de S. **Efeito do biocarvão e pó de serra na disponibilidade dos nutrientes, no crescimento e produção de milho (Zea mays. L) em Latossolo Amarelo distrófico na Amazônia Central**. 2017. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura no Trópico Úmido) - Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia – Inpa, Manaus, 2017.

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.

JAYATHILAKE, C. *et al.* Cowpea: an overview on its nutritional facts and health benefits. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 13, p. 4793-4806, 2018. doi: 10.1002/jsfa.9074.

JESUS, K. N. **Estoques e dinâmica do carbono e nitrogênio em solos sob diferentes coberturas e usos de terra em Pernambuco**. 2017. 113 f. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

LIMA, L. B. **Desempenho agrônomico da soja, fertilidade e dinâmica da matéria orgânica em solos sob aplicação de biochar no cerrado brasileiro**. 2014. 81 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

LIMA, M. A. Emissão de gases de efeito estufa provenientes de sistemas agrícolas no Brasil. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, v. 3, p. 38-43, 2000.

MAJOR, J. *et al.* Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant And Soil**, v. 333, n. 1-2, p. 117-128, 2010.

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

MARCELINO, I. P.; LOSS, A.; ANDRADE, M. A. N. Potencialidades do uso do biochar para melhoria dos atributos edáficos. In: JUNIOR, L. M. **Redução do Risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano**. São Paulo: Centro Paula Souza, 2020. p. 584-601.

MARTINS, C. C. **Biochar, composto orgânico e potássio nas características químicas e lixiviação de nutrientes em espodossolo e no cultivo de mucuna preta e moringa**. 2018. 126 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2018.

MELO, B. A. de. **Influência do biochar de lodo de esgoto nas frações lábeis da matéria orgânica do solo cultivado com milho**. 2017. 59 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

MEENA, H. M.; PRAKASHA, H. C. The impact of biochar, lime and fertilizer on soil acidity and microbiological properties and their relationship with yield of rice and cowpea in an acidic soil of Southern India. **Journal of Plant Nutrition**, v. 45, n. 3, p. 358-368, 2021.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises**. 2.ed. Viçosa: UFV-Gefert, 2017.

MOUSAVI, S. A. *et al.* Integrated application of biochar and bio-fertilizer improves yield and yield components of Cowpea under water-deficient stress. **Italian Journal of Agronomy**, v. 15, n. 2, p. 94–101, 2020.

NANNIPIERI, P.; TRASAR-CEPEDA, C.; DICK, R. P. Soil enzyme activity: a brief history and biochemistry as a basis for appropriate interpretations and meta-analysis. **Biology and Fertility of Soils**, v. 54, n. 5, p. 11-19, 2017.

NICOLA, V. B. *et al.* Biochar de eucalipto em solo natural: estudo ecotoxicológico em *Eisenia andrei*. In: XV Congresso brasileiro de ecotoxicologia, 2018, Aracaju. **Anais [resumos]**. Aracaju: Embrapa, 2018. p. 1035-1036.

OLIVEIRA, J. B. *et al.* Effect of the application of biochar on microbial biomass carbon in soil cultivated with melon. **Brazilian Journal Of Animal And Environmental Research**, v. 4, n. 1, p. 368-377, 2021.

OLIVEIRA, J. B. *et al.* Impacto do biochar de resíduos da indústria de biodiesel sobre os atributos de um solo arenoso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 5, p. 2128-2138, 2020.

PÉREZ-MARIN, A. M. P.; MENEZES, R. S. C., SALCEDO, I. H. Produtividade de milho solteiro ou em aléias de gliricídia adubado com duas fontes orgânicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n. 5, p. 669-677, 2007.

PETTER, F. A. *et al.* Biocarvão no solo: aspectos agronômicos e ambientais. In: Simpósio brasileiro de agropecuária sustentável, 2016, Sinop. **Anais: Ciência, tecnologia e inovação para o desenvolvimento sustentável das novas fronteiras agrícolas**. Sinop: Embrapa Florestas, 2016. p. 73-81.

PIRES, I. C. de S. A. **Produção e caracterização de biochar de palha de cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*)**. 2017. 45 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) - Centro de Ciências e Tecnologias Para A Sustentabilidade , Universidade Federal de São Carlos Campus de Sorocaba, Sorocaba, 2017.

RAHMAN, K. M. A.; ZHANG, D. Effects of Fertilizer Broadcasting on the Excessive Use of Inorganic Fertilizers and Environmental Sustainability. **Sustainability**, v. 10, n. 3, p. 759-774, 2018.

RANGEL, O. J. P. *et al.* Carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com os espaçamentos de plantio de cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 2051-2059, 2008.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2016. Versão 3.3.0. (URL <https://www.R-project.org/>).

RODRIGUES, N. F. **Uso de condicionadores de solo para melhoria da retenção de água e nutrientes em solos arenosos**. 2021. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2021.

RÓZ, A. L. *et al.* Maximização do teor de carbono fixo em biocarvão aplicado ao sequestro de carbono. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 8, p. 810-814, 2015.

SALETNIK, B. *et al.* Biochar as a Multifunctional Component of the Environment - A Review. **Applied Sciences**, v. 9, n. 6, p.1139- 1159, 2019.

SAMPAIO, L. S.; BRASIL, E. C. Exigência nutricional do feijão-caupi. In: Congresso nacional de feijão-caupi, 2009, Belém. **Anais [Da agricultura de subsistência ao agronegócio]** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. P. 56-72.

SÁNCHEZ-NAVARRO, V. *et al.* Cowpea Crop Response to Mineral and Organic Fertilization in SE Spain. **Processes**, v. 9., n. 5, p. 822- 836, 2021.

SANTOS, J. L. S.; MADARI, B. E.; TSAI, S. M. Efeito da biocarvão após seis anos de cultivo de soja (*Glycine max* L.) na biomassa microbiana do solo, em cerrado. In: X Encontro brasileiro de substâncias húmicas, 2013, Brasília. **Anais [Matéria orgânica e qualidade ambiental]** Brasília: Embrapa Arroz e Feijão, 2013. 3 p.

SANTOS, L. A. C. *et al.* Crescimento de cultivares de feijão-caupi em solo de terra firme e várzea. **Ambiência**, v. 13, n. 1, p. 261-270, 2017.

SCHNEIDER, B. G. **Biochar de lodo de esgoto e sua influência nas propriedades químicas do solo cultivado com milho**. 2016. 50 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SILVA, L. J. da. **Estoques de carbono e nitrogênio de solos e sua relação com atributos químicos de solos, águas e sedimentos marginais como indicadores de manejo e conservação de ecossistemas na bacia do rio Paraopeba-mg**. 2015. 136 f. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação de Ecossistemas Naturais e Agrários) - Universidade Federal de Viçosa, Florestal, 2015.

SILVA, W. de M. **Aplicação de biochar de resíduos de café em neossolo regolítico: efeitos nas características químicas e biológicas e na produção de milho e feijão**. 2016. 57 f. Dissertação (Mestrado em Produção Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, 2016.

SILVA, C. F. *et al.* Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1680-1689, 2012.

SOARES, L. F. A. **Biocarvão de caroço de açaí e resíduo agroflorestal no crescimento de mudas de paricá (*schizolobium Parahyba* var. *Amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby)**. 2019. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, Belém, 2019.

SOUSA, G. G. *et al.* Estresse salino em plantas de feijão-caupi em solo com fertilizantes orgânicos. **Agroambiente On-Line**, v. 8, n. 3, p. 359-367, 2014.

SUHAG, M. Potential of Biofertilizers to Replace Chemical Fertilizers. **International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology**, v. 3, n. 5, p. 163-167, 2016.

SULIMAN, W. *et al.* Influence of feedstock source and pyrolysis temperature on biochar bulk and surface properties. **Biomass and Bioenergy**, v. 84, p. 37-48, 2016.

TORRES, W. G. A. *et al.* Phosphorus availability in soil amended with biochar from rice rusk and cattle manure and cultivated with common bean. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, n. 1, p. 1-10, 2020.

TRAZZI, P. A. *et al.* Biocarvão: realidade e potencial de uso no meio florestal. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 875, 2018.

VENDRUSCOLO, E. P. *et al.* Efeitos do biochar, culturas de cobertura e lodo de esgoto nos atributos físicos do solo. **Ciencia del Suelo**, v. 36, n. 1, p. 1-10, 2018.

WANG, S. *et al.* Remediation of biochar on heavy metal polluted soils. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 108, n. 4, p. 1-7, 2018.

WEBER, K.; QUICKER, P. Properties of biochar. **Fuel**, v. 217, p. 240-261, 2018.

WOICIECHOWSKI, T. *et al.* Nutrientes e umidade do solo após a incorporação de biocarvão em um plantio de *Eucalyptus benthamii*. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 4, p. 1455-1464, 2018.

4 ARTIGO

4.1 Artigo 1 – Uso de *biochars* de resíduos animais e efeitos nas características agronômicas do feijão-caupi e nos bioindicadores de qualidade do solo

Este artigo foi elaborado conforme normas do periódico Ciência Rural.

USO DE *BIOCHARS* DE RESÍDUOS ANIMAIS E EFEITOS NAS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DO FEIJÃO-CAUPI E NOS BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de *biochar* de diferentes resíduos animais nas características agronômicas do feijão-caupi e nos bioindicadores de qualidade do solo. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com oito tratamentos e quatro repetições, sendo que os tratamentos foram: três tipos de *biochar* (bovinos, suínos e de aves), combinados (BBF, BSF e BAF) ou não com fertilizante (BB, BS e BA), e dois tratamentos controle com adição de óxido de cálcio e magnésio (CT) e de óxido de cálcio e magnésio + fertilizante (CTF). Foram avaliados os aspectos morfológicos e produtivos das plantas e os bioindicadores de qualidade do solo. Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Skott-Knott ($p < 0,05$). Houve incremento no diâmetro do caule, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa seca de caule quando houve adição de *biochar*, independente da combinação com fertilizante. Não houve diferença entre os tratamentos para a respiração basal do solo, atividade da enzima β -glicosidase e Cmic, enquanto que o carbono orgânico total (COT), labil e o nitrogênio total (NT) foram maiores nos tratamentos com a presença de *biochar*. Avaliando os tratamentos apenas com aplicação de *biochar*, o tratamento BBF contribuiu para obtenção de maior teor de COT, enquanto que o BS, BSF, BA e BAF elevaram o teor de NT no solo. Adicionalmente, a aplicação de *biochar* contribuiu para a redução dos valores de quociente metabólico do solo. Assim, pode-se concluir que o *biochar*, associado a adubação convencional, pode melhorar a qualidade do solo e, conseqüentemente, os parâmetros de produção do feijão-caupi.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, adubação, carbono, crescimento de plantas, condicionador de solo, nitrogênio.

INTRODUÇÃO

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.)], mais conhecido como feijão-de-corda ou feijão-catador, é uma cultura de grande importância socioeconômica para o país e vem crescendo nos últimos anos. Nesse sentido, houve aumento significativo na área plantada e a produção da cultura atingiu 625,2 mil toneladas de grãos na safra 2020/2021 (CONAB, 2021). Mesmo assim, a produtividade média da cultura é considerada baixa em função da baixa adesão à adoção de tecnologias de produção (SOUZA *et al.*, 2022).

Hoje utiliza-se pouco ou nenhum fertilizante na cultura, o que torna a deficiência mineral um fator limitante para produtividade (GUIMARÃES *et al.*, 2020). Apesar do feijão-caupi possuir boa adaptação a solos de baixa fertilidade, a utilização de cultivares não melhoradas associada a falta de adubação tem resultado em baixo rendimento de grãos (GUERRA *et al.*, 2020).

Grande parte da produção do feijão-caupi é voltada para a agricultura de subsistência, onde a

aquisição de fertilizantes minerais por parte dos produtores é reduzida. Nesse cenário, os condicionadores de solo à base de resíduos animais e vegetais surgem como alternativa viável (MELO *et al.*, 2021). Esses condicionadores são capazes de fornecer nutrientes e elevar os teores de matéria orgânica. Dessa forma, podem proporcionar maior estabilidade de agregados e diminuir as chances de compactação do solo por meio do impacto das gotas de chuva, conseqüentemente, melhorando a retenção e diminuindo a lixiviação de água e nutrientes (SHINDE *et al.*, 2019).

O *biochar*, biocarvão proveniente da pirólise de resíduos de biomassa sob baixa ou nenhuma presença de oxigênio, está sendo utilizado por ser um potencial condicionador de solo (JAHROMI *et al.*, 2019). Além de exercer um importante papel no sequestro de carbono, o biocarvão também melhora a fertilidade do solo e a eficiência no uso de nutrientes (WERNER *et al.*, 2017), pode promover o aumento do crescimento de microrganismos na rizosfera e fungos micorrízicos (GLUSZEK *et al.*; 2017), o que é interessante para a cultura do feijão-caupi. No entanto, seu desempenho depende das características do material do qual é originado, características essas que são: pH, CTC, teor de carbono orgânico e capacidade de adsorção de nutrientes (PRADHAN *et al.*, 2020).

O *biochar* possui relação direta com os teores de matéria orgânica, composição química e estrutura do solo, fatores que podem ser influenciados pela sua matéria prima utilizada. Por exemplo, o material à base de cama de frango proporciona maior mineralização da matéria orgânica e atividade biológica no solo quando comparados aqueles à base de resíduos de serraria (AMELOOT *et al.*, 2015). De fato, a presença de nutrientes é maior no *biochar* de origem animal, enquanto que os de origem vegetal apresentam maior teor de C (EL-NAGGAR *et al.*, 2019).

Estruturalmente, o *biochar* melhora a retenção de água no solo diminuindo a lixiviação, seu uso associado a adubação convencional é interessante por aumentar a eficiência de aplicação de fertilizantes, intensificando a absorção de nutrientes e conseqüentemente a produtividade das culturas (SADAF *et al.*, 2017).

Diante do exposto, vê-se a necessidade do estudo de diversas matérias-primas para a produção de *biochar* para as diferentes culturas agrícolas. Assim, esse estudo teve como objetivo avaliar o efeito de *biochars* de diferentes resíduos animais, associados ou não à correção do solo e à adubação mineral, na produção do feijão-caupi e na qualidade biológica do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e condução do estudo

O experimento foi conduzido em ambiente controlado (casa de vegetação) no município de Montes Claros (16°40'3.17" O; 43°50'40.97" S). O clima da região é do tipo Aw, tropical megatérmico com verão chuvoso e inverno seco (ALVARES *et al.*, 2013), com temperatura média oscilando entre 20,6 e 25,1 °C e precipitações médias de 869 mm (CLIMATE-data.org, 2022).

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições, sendo os tratamentos: três tipos de *biochar* (Bovino – BB; Suíno - BS e; Avícola - BA) combinados ou não com fertilizante (BBF, BSF e BAF) e dois tratamentos controle (Óxido de cálcio e magnésio – CT e; Óxido de cálcio e magnésio + fertilizante - CTF).

As plantas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) 'BRS Cauamé' foram cultivadas em vasos, sob condições controladas de luminosidade. O solo utilizado (Latosolo Vermelho Amarelo distrófico) foi previamente peneirado (peneira de malha <4mm) e acomodado em vasos de três litros. Para elevar a saturação de bases, foi adicionado óxido de cálcio e magnésio (PRNT de 180%) ao solo dos tratamentos sem adição de *biochar*. Para os tratamentos com fertilizante mineral, foi feita a adubação de plantio conforme recomendação para a cultura. Já para os tratamentos com *biochar*, a dose adicionada foi de 3% (v/v) em relação ao solo. Após a incorporação dos materiais adicionados, o solo permaneceu incubado por 15 dias até o plantio. No plantio foram colocadas oito sementes em cada vaso, e o desbaste foi realizado 10 dias após semeadura (DAS), deixando apenas duas plantas por recipiente. Foi realizada uma adubação de cobertura aos 25 DAS, com a adição de 45 mg dm⁻³ de nitrogênio na forma de ureia. Os vasos foram irrigados regularmente com água destilada durante toda a condução do experimento, a fim de manter quantidades de água próximas a capacidade campo.

Avaliação das características agronômicas

As avaliações agronômicas do feijão-caupi foram realizadas no início de sua fase reprodutiva (aos 65 DAS), por meio de coletas de vagens maduras. As vagens restantes foram colhidas ao final do ciclo (82 DAS), quando as plantas também foram coletadas. Para isso, toda parte aérea foi cortada na altura do colo para determinação da altura média (cm), diâmetro médio do caule (mm), número médio de nós, comprimento de raízes (cm), número médio de vagens por planta e número médio de grãos por vagem. As plantas foram divididas em caule, folhas, raízes e grãos, acondicionadas em sacos de papel, pesadas e levadas à estufa de circulação forçada de ar à 65 °C até atingirem peso constante para obtenção da massa seca de folhas, massa seca de caule, massa seca de raízes e massa seca de grãos.

Amostragem de solo e avaliação dos atributos biológicos

Ao final das avaliações do feijão-caupi procedeu-se a coleta do solo de cada vaso. As amostras de solo foram homogeneizadas, secas ao ar (TFSA), passadas por peneira de 2 mm com posterior separação de raízes finas para a realização das análises. Em seguida, parte das amostras foram moídas, pesadas e passadas por peneiras de 0,150 mm para determinação dos teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e carbono lábil (CL). A determinação do COT foi feita por meio do método de oxidação via úmida com aquecimento externo (YEOMANS; BREMNER, 1988). Já o NT foi obtido pela digestão Kjeldahl com posterior destilação a vapor (MENDONÇA; MATOS, 2017). O CL foi determinado pela oxidação do carbono contido na amostra por meio de solução de permanganato de potássio (KMnO₄) 0,033 mol L⁻¹, e quantificado por colorimetria com leitura em espectrofotômetro com comprimento de onda em 565 nm (BLAIR et al., 1995; SHANG; TIESSEN, 1997).

O carbono microbiano (Cmic) foi determinado pelo método de fumigação-extração (VANCE *et al.*, 1987) e a respiração basal do solo foi realizada através da quantificação do C mineralizável, por meio do desprendimento do CO₂ (C-CO₂), capturado em solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹ (ANDERSON, 1982; SILVA *et al.*, 2007). Adicionalmente, foram calculados o quociente microbiano (qMic) pela razão entre Cmic e COT, e quociente metabólico (qCO₂), pela razão entre a RBS e o Cmic (ANDERSON; DOMSCH, 1989). A

atividade da enzima β -glicosidase foi quantificada pela determinação colorimétrica do p-nitrofenol liberado pelas enzimas assim que o solo é incubado com uma solução tamponada de substratos específicos (TABATABAI, 1994).

Análise estatística

O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para verificar se os valores de cada variável atendem o pressuposto de distribuição normal, enquanto o teste de Cochran e Bartlett foi utilizado para verificar a homogeneidade das variâncias. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste Skott-Knott ($p < 0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R (R Development Core Team, 2016).

RESULTADOS

Características agronômicas

Os tratamentos com biochar ou óxido de cálcio e magnésio na presença (CTF, BBF, BSF e BAF) ou ausência de fertilizantes (CT, BB, BS e BA) não influenciaram a altura de plantas e o comprimento de raízes do feijão-caupi (Tabela 1). O número de nós por planta também não variou em função dos tratamentos (Tabela 1). Já em o diâmetro médio do caule oscilou entre 3,4 e 6,9 mm (Tabela 1), e os maiores valores foram observados nos tratamentos com aplicação de *biochar* combinado com fertilizante (BBF, BSF e BAF) e no somente com biochar avícola (BA). O número de vagens por planta foram menores nos CT e BSF em relação aos demais tratamentos com adição de *biochar* (Tabela 2), o que também foi possível observar no número de grãos por vagem, com médias variando de 2,75 e 0,25, e 20,75 a 1,25 respectivamente.

Não houveram diferenças estatísticas entre os tratamentos para a massa seca de folhas, raízes e grãos (Tabela 3). Quanto a massa seca de caule, todos os tratamentos apresentaram melhores respostas em relação ao CT ($p < 0,05$), com valores oscilando entre 4,28 e 0,98 g/planta (Tabela 3).

Atributos do solo

Os maiores teores de COT ($p < 0,05$) foram observados no tratamento com adição de biochar bovino combinado com fertilizante (BBF) em relação aos demais tratamentos, sendo que os controles (CT e CTF) apresentaram os menores valores, com médias de 24,4, 14,07 e 13,5 g kg⁻¹ respectivamente (Tabela 4). A aplicação dos *biochars* suíno e avícola combinados ou não com fertilizante (BS, BSF, BA e BAF) resultou em maiores teores de NT, com valores oscilando entre 1,48 e 1,66 g kg⁻¹ (Tabela 4). O CTF, BB e BBF apresentaram maior relação C/N, enquanto os demais tratamentos não se diferiram entre si ($p < 0,05$) (Tabela 4). Maiores teores de CL ($p < 0,05$) foram encontrados nos tratamentos com aplicação de *biochar* na presença ou ausência de fertilizante em comparação aos controles (CT e CTF), com médias

variando de 1,76 a 2,74 g kg⁻¹ (Tabela 4).

Para Cmic não houve diferença ($p < 0,05$) entre os tratamentos, o que também foi observado para a variável RBS. Porém, o qCO₂ foi maior no tratamento CT em relação aos demais tratamentos (Tabela 5). Houve uma tendência de aumento da atividade da enzima β-glicosidase nos tratamentos BA e BAF (Figura 1), porém não houve diferença significativa em relação aos demais tratamentos ($p < 0,05$).

DISCUSSÃO

Características agronômicas

Os resultados desse estudo evidenciaram que a adição de *biochar* de resíduos animais contribuiu com o aumento do diâmetro do caule de feijão-caupi, saindo de médias como 3,4 para 6,9 mm (Tabela 1). Geralmente, *biochars* de resíduos animais possuem maior quantidade de nutrientes, principalmente o de esterco de frango. As suas propriedades variam de acordo com a biomassa de cada material, o que é influenciado pelo manejo, técnicas de produção e dieta de cada animal dos quais os resíduos são originados (KESKINEN *et al.*, 2019). Como há maior concentração de nutrientes no solo após aplicação do *biochar*, espera-se um maior desenvolvimento de raízes que têm influência positiva sob o diâmetro do caule (COSTA, 2020).

Assim como observado nesse estudo na variável diâmetro médio do caule, Holanda (2019), avaliando o crescimento de moringa em plantios homogêneos sob diferentes adubações, constatou que o tratamento *biochar* + adubação mineral apresentou resultados significativos quanto a altura e diâmetro do caule da espécie.

Foi observado um baixo número de vagens por planta e grãos por vagem no presente estudo (Tabela 2). O número médio de vagens por planta e grãos por vagem observados na literatura variaram de 5 a 10 e de 886,72 a 1274,06 kg ha⁻¹, respectivamente (JUNIOR *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2016). A ocorrência de temperaturas elevadas é uma das principais explicações para isso, pois podem causar o aborto espontâneo das flores, retenção de vagens nas plantas e diminuição do número de sementes por vagem da cultura (JUNIOR *et al.*, 2016).

Mesmo apresentando valores baixos de produção, os tratamentos que continham *biochar* combinados ou não com fertilizante se sobressaíram aos demais, este resultado pode ser atribuído a quantidade de nutrientes presentes no material. Como o pH dos *biochars* de resíduos animais são altos, podendo ser alcalinos, pode-se dizer que possuem efeito semelhante ao da calagem, onde os níveis de pH se elevam, a acidez diminui e há melhoria da CTC do solo (SPERATTI *et al.*, 2017). Esse efeito associado ao fornecimento de nutrientes melhora a produtividade, o que justifica os maiores valores de produção encontrados nos tratamentos com *biochar*, exceto BSF, em relação aos controles.

Ao avaliar o efeito de diferentes doses de biocarvão de cana-de-açúcar no rendimento do feijão-caupi em solo com déficit hídrico, Mousavi *et al.* (2020) também observaram que o rendimento de grãos foi maior nos tratamentos que continham o condicionador de solo, possivelmente pelo fato de tal material aumentar a retenção de água do solo, diminuindo o estresse hídrico da planta.

Os *biochars* derivados de resíduos animais disponibilizam mais nutrientes ao invés de C, o que

auxilia no incremento da massa seca da planta (IPPOLITO *et al.*, 2020). Esse incremento é reforçado com a adição de fertilizantes (ALBUQUERQUE *et al.*, 2013, 2014), fato que podemos observar nas variáveis de massa seca presentes nesse estudo (Tabela 3). A aplicação de *biochar* ao solo proporciona acréscimos nas taxas fotossintéticas, o que eleva a eficiência na utilização de fertilizantes, acarretando em maior produção de biomassa vegetal (YEBOAH *et al.*, 2020).

Atributos do solo

A menor concentração de COT nos solos tratados com BSF e BAF pode ser resultado da matéria prima utilizada na produção desse tipo de *biochar*, já que esses resíduos são pobres em lignina e resíduos ricos nesse componente tendem a incorporar mais C ao solo (SARFARAZ *et al.*, 2020). Outro fator a ser considerado é que *biochars* de resíduos animais contém maior quantidade de nutrientes, e por isso apresentam maior CTC e menor teor de carbono em relação aos de resíduos vegetais (ALKHARABSHEH *et al.*, 2021). Na caracterização dos *biochars* utilizados no trabalho, foi constatado que os de origem de resíduo suíno e avícola (BS e BA) possuíam menor teor de C total, o que influencia no resultado de COT do solo (ROLLON *et al.*, 2020).

Mesmo assim, todos os tratamentos com *biochar* apresentaram COT significativamente maior que o controle (Tabela 4). Resultado semelhante também foi observado por Melo (2017) ao avaliar o efeito do *biochar* nas frações lábeis da matéria orgânica de solo cultivado com milho, reiterando que a aplicação de *biochar* em conjunto com NPK promove o acúmulo de COT no solo.

Os valores de CL mais elevados nos tratamentos com aplicação de *biochar* na presença ou não de fertilizante (Tabela 4) podem ser explicados pelo teor de cinzas dos materiais aplicados. Matérias-primas com alto teor de cinzas, em sua maioria, possuem menor teor de carbono estável (ENDERS *et al.*, 2012). Adicionalmente, a estabilidade do *biochar* também está diretamente ligada a sua relação C/N (FÁTIMA *et al.*, 2020), o que pode ser observado no presente estudo, onde na maioria dos tratamentos com maior teor de CL (BSF, BA e BAF) foram observados os menores valores da relação C/N (Tabela 4).

Estudo realizado por Song *et al.* (2018) apontou que a aplicação de biocarvão ao solo pode aumentar ou diminuir a atividade microbiana e de enzimas, o que depende do solo amostrado e de outras condições experimentais, influenciando diretamente a respiração basal do solo. Outros fatores a serem considerados são a relação C/N, nutrientes, pH e quantidade de material adicionada ao solo (ABUJABHAH *et al.*, 2018). Os menores valores para a variável qCO_2 em todos os tratamentos em relação ao CT (Tabela 5) mostram a melhor eficiência no uso do C_{mic} dos solos em que foram aplicados óxido de cálcio e magnésio, fertilizante e *biochar* em relação ao que foi apenas corrigido, uma vez que a respiração basal do solo está ligada a eficiência no uso de carbono (MARTIN *et al.*, 2015).

A atividade enzimática do solo é considerada um indicador sensível de qualidade do solo, podendo ser utilizado em estudos de curto a longo prazo (KHADEM & RAIESI, 2017). Por ser um indicador sensível, a atividade da β -glicosidade é facilmente influenciada pela temperatura, umidade e pH do solo (FOSTER *et al.*, 2018). Neste estudo, não houve diferença entre os tratamentos para a variável β -glicosidase (Figura 1), isso porque a adição do *biochar* ao solo tende a aumentar a atividade das enzimas relacionadas a ciclagem de N e P e diminuir a atividade das enzimas envolvidas com o sequestro e ciclagem de C (IRFAN

et al., 2019). Devido a área de superfície e porosidade do *biochar*, sua aplicação pode ocasionar a estabilização do carbono orgânico do solo, reduzindo a atividade da enzima β -glicosidase (AZEEM *et al.*, 2019). O aumento do pH do solo acarreta na diminuição da atividade da enzima β -glicosidase (GÜNAL *et al.*, 2018), corroborando com o que foi visto nesse estudo, pelo efeito corretivo do *biochar*.

CONCLUSÃO

A adição de *biochar* de diferentes resíduos animais influenciou positivamente os indicadores de produção do feijão-caupi e a qualidade biológica do solo. As variáveis diâmetro médio de caule, número de vagens por planta e massa seca de caule, carbono orgânico total, lábil e microbiano, e nitrogênio total foram aquelas mais responsivas à aplicação do *biochar*.

O uso do *biochar* combinado com fertilizante contribuiu com a obtenção dos melhores resultados dos indicadores avaliados. Com isso, pode-se indicar a adição desse condicionador de solo ao manejo de adubação do feijão-caupi.

REFERÊNCIAS

ABUJABHAH IS. *et al.* Assessment of bacterial community composition, methanotrophic and nitrogen-cycling bacteria in three soils with different biochar application rates. **Journal of Soils and Sediments**, v. 18, n. 1, p. 148–158, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11368-017-1733-1>>. Acessado em: Mar. 8, 2022. doi: 10.1007/s11368-017-1733-1.

ALBURQUERQUE, J. A. *et al.* Effects of biochars produced from different feedstocks on soil properties and sunflower growth. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 177, n. 1, p. 16-25, 2014. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/258617453_Effects_of_biochar_produced_from_different_feedstocks_on_soil_properties_and_sunflower_growth>. Acessado em: Mar. 7, 2022. doi: 10.1002/jpln.201200652.

ALBURQUERQUE, J. A. *et al.* Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, n. 3, p. 475-484, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s13593-012-0128-3>>. Acessado em: Mar. 8, 2022. doi: 10.1007/s13593-012-0128-3.

ALKHARABSHEH, H. M. Biochar and Its Broad Impacts in Soil Quality and Fertility, Nutrient Leaching and Crop Productivity: A Review. **Agronomy**, v. 11, n. 5, p. 993-1022, 2021. Disponível em:< <https://doi.org/10.3390/agronomy11050993>>. Acessado em: Mar. 16, 2022. doi:10.3390/agronomy11050993.

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>>. Acessado em:

Mar. 23, 2022. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

AMELOOT, N. et al. Biochar amendment to soils with contrasting organic matter level: effects on N mineralization and biological soil properties. **Global Change Biology Bioenergy**, v. 7, n. 1, p. 135–144, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/gcbb.12119>>. Acessado em: Mar. 10, 2022. doi:10.1111/gcbb.12119.

ANDERSON, J. P. E. **Soil respiration**. In: PAGE, A.L; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R. eds. Methods of soil analysis; Chemical and microbiological properties. 2.ed. Madison: Soil Science Society of American, 1982. Part 2. p.831-871.

ANDERSON, T.-H. & DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 21, n. 4, p. 471-479, 1989. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0038-0717\(89\)90117-X](https://doi.org/10.1016/0038-0717(89)90117-X)>. Acessado em: Mar. 26, 2022. doi: 10.1016/0038-0717(89)90117-X.

AZEEM, M. et al. Effects of biochar and NPK on soil microbial biomass and enzyme activity during 2 years of application in the arid region. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 12, n. 311, p. 1-13, 2019. Disponível em:< <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4482-1>>. Acessado em: Mar. 26, 2022. doi: 10.1007/s12517-019-4482-1.

BLAIR, G. J. et al. Soil carbono fractions based on their degree of oxidation, and development of a carbono management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, n. 7, p. 1459-1466, 1995. Disponível em:<<https://doi.org/10.1071/AR9951459>>. Acessado em: Mar. 25, 2022. doi: 10.1071/AR9951459.

CLIMATE-DATA.ORG. Clima: Montes Claros, 2022. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/montes-claros-2886/>>. Acessado em: 22 de julho de 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB).Último levantamento da safra 2020/21 confirma redução na produção de grãos, 2021. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4234-ultimo-levantamento-da-safra-2020-21-confirma-reducao-na-producao-de-graos>>. Acessado: Dez. 17, 2021.

CORNELISSEN, G. et al. Fading positive effect of biochar on crop yield and soil acidity during five growth seasons in an Indonesian Ultisol. **Science of The Total Environment**, v. 634, n. 1, p. 561-568, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.380>>. Acessado em: Mar. 7, 2022. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.380.

COSTA, R. S. **Respostas fisiológicas, nutricionais e produtivas em plantas de feijão-de-corda cultivadas sob fontes de adubos**. 2020. 74 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de pós-graduação em

Agronomia-Fitotecnia, Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias.

EL-NAGGAR, A. et al. S. Biochar composition-dependent impacts on soil nutrient release, carbon mineralization, and potential environmental risk: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 241, p. 458-467, 2019. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.044>>. Acessado em: Mar. 19, 2022. doi:10.1016/j.jenvman.2019.02.044.

ENDERS, A. et al. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. **Bioresource Technology**, v. 114, p. 644–653, 2012. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.03.022>>. Acessado: Mar. 12, 2022. doi:10.1016/j.biortech.2012.03.022.

FATIMA, S. et al. Higher biochar rate strongly reduced decomposition of soil organic matter to enhance C and N sequestration in nutrient-poor alkaline calcareous soil. **Journal of Soils Sediments**, v. 21, n. 1, p. 148-162, 2021. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1007/s11368-020-02753-6>>. Acessado em: Mar. 12, 2022. doi: 10.1007/s11368-020-02753-6.

FOSTER, E. J. et al. Sorption to biochar impacts β -Glucosidase and Phosphatase enzyme activities. **Agriculture**, v. 8, n. 158, p. 1-12, 2018. Disponível em:<<https://doi.org/10.3390/agriculture8100158>>. Acessado em: Mar. 21, 2022. doi: 10.3390/agriculture8100158.

GUERRA, A. M. N. M. et al. Parcelamento de doses de K₂O sobre a produção de feijão-caupi. **Scientia Plena**, Barra, v.16, n. 8, p.1-9, 2020. Disponível em:<<https://scientiaplenu.org.br/sp/article/view/5466/2311>>. Acessado: Mar. 6, 2022. doi: 10.14808/sci.plena.2020.089901.

GÜNAL, E. et al. Effects of three biochar types on activity of β -glucosidase enzyme in two agricultural soils of different textures. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 64, n. 14, p. 1-32, 2018. Disponível em:<<https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1471205>>. Acessado em: Mar. 23, 2022. doi:10.1080/03650340.2018.1471205.

GŁUSZEK, S. et. Al. Biocharrhizosphere interactions - a review. **Polish Journal Microbiology**, v. 66, n. 2, p. 151–161, 2017. Disponível em:<<https://doi.org/10.5604/01.3001.0010.4361>>. Acessado em: Mar. 17, 2022. doi: 10.5604/01.3001.0010.6288.

GUIMARÃES, D. G. et al. Desempenho da cultivar de feijão-caupi brs novaera sob níveis de irrigação e adubação em ambiente protegido. **Agronomic Crop Journal**, Ilha Solteira, v. 29, n. 1, p. 61-75, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.32929/24468355.2020v29n1p61-75>>. Acessado: Mar. 6, 2022. doi: 10.32929/2446-8355.2020v29n1p61-75.

HOLANDA, R. F. de. **Crescimento inicial de Moringa oleifera (Moringa) em plantios homogêneos com diferentes adubações**. 2019. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) Curso de Engenharia

Florestal - Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

HORÁK, J. et al. Benefits of biochar and its combination with nitrogen fertilization for soil quality and grain yields of barley, wheat and corn. **Journal of Elementology**, v. 25, n. 2, p. 443-458, 2020. Disponível em: <341073226_Benefits_of_biochar_and_its_combination_with_nitrogen_fertilization_for_soil_quality_and_grain_yields_of_barley_wheat_and_corn>. Acessado em: Mar. 15, 2022. doi: 10.5601/jelem.2019.24.3.1887.

IPPOLITO, J.A. et al. Feedstock choice, pyrolysis temperature and type influence biochar characteristics: a comprehensive meta-data analysis review. **Biochar**, v. 2, n. 4, p. 421–438, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00067-x>. Acessado em: Mar 12, 2022. doi: 10.1007/s42773-020-00067-x.

IRFAN, M. et al. Response of soil microbial biomass and enzymatic activity to biochar amendment in the organic carbon deficient arid soil: a 2-year field study. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 12, n. 95, p. 95-104, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4239-x>. Acessado em: Mar. 13, 2022. doi:10.1007/s12517-019-4239-x.

JAHROMI, B. N.; FULCHER, A. What Is Biochar and How Different Biochars Can Improve Your Crops. **Utextension**. Knoxville, v. 829, p. 1-6, 2019. Disponível em: <https://extension.tennessee.edu/publications/Documents/W829.pdf>. Acessado em: Mar. 14, 2022.

JÚNIOR, E. P. et al. Características agrônômicas de genótipos de feijão-caupi cultivados no sudoeste da Bahia. **Revista Científica**, v. 45, n.3, p. 223-230, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2017v45n3p223-230>. Acessado em: Mar. 15, 2022. doi: 10.15361/1984-5529.2017v45n3p223-230.

JUNIOR et. al. Development and water requirements of cowpea under climate change conditions in the Brazilian semi-arid region. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 9, p. 783-788, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n9p783-788> Acessado em: Abr. 6, 2022. doi:10.1590/1807-1929/agriambi.v20n9p783-788.

KHADEM, A.; RAIESI, F. Influence of biochar on potential enzyme activities in two calcareous soils of contrasting texture. **Geoderma**, v. 308, p. 149–158, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.004>. Acessado em: Mar. 14, 2022. doi: 10.1016/j.geoderma.2017.08.004.

MAHMOUD, E. et al. Effects of biochar and phosphorus fertilizers on phosphorus fractions, wheat yield and microbial biomass carbon in Vertic Torrifuvents. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 50, n. 3, p. 1-11, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1563103. Acessado em: Mar. 15, 2022. doi:10.1080/00103624.2018.1563103.

MARTIN, S. L. et al. Biochar-mediated reductions in greenhouse gas emissions from soil amended with anaerobic digestates. **Biomass and Bioenergy**, v. 79, p. 39–49, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.04.030>>. Acessado em: Mar. 15, 2022. doi:10.1016/j.biombioe.2015.04.030.

MELO, D. A. et al. Cowpea subjected to organic fertilization and management of the natural vegetation of the savannah of Roraima. **Original Scientific Article**, v. 15, p. 1-13, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v15i0.6997>>. Acessado: Mar. 6, 2022. doi: 10.18227/1982-8470.

MELO, B. A. de. **Influência do biochar de lodo de esgoto nas frações lábeis da matéria orgânica do solo cultivado com milho**. 2017. 59 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Curso de Agronomia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises**. Piracicaba: Cio da Terra, 2017. 221p.

MOUSAVI, S. A. et al. Integrated application of biochar and bio-fertilizer improves yield and yield components of Cowpea under water-deficient stress. **Italian Journal of Agronomy**, v. 15, n. 2, p. 94–101, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.4081/ija.2020.1581>>. Acessado em: Mar. 18, 2022. doi:10.4081/ija.2020.1581.

PRADHAN, S. et al. Biochar from vegetable wastes: agro-environmental characterization. Disponível em:<<https://doi.org/10.1007/s42773-020-00069-9>>. Acessado em: Mar. 16, 2022. **Biochar**, v. 2, n. 4, p. 439-453, outubro 2020. doi: 10.1007/s42773-020-00069-9.

ROLLON, R. J. C. et al. Corn (*Zea mays L.*) growth, nutrient uptake and soil fertility improvement of strongly acidic soil applied with biochar and animal manure. **Journal of Applied Biology Biotechnology**, v. 8, n. 2, p. 35-40, 2020. Disponível em:<<http://imsear.searo.who.int/handle/123456789/209883>>. Acessado em: Mar. 16, 2022. doi: 10.7324/JABB.2020.80206.

SADAF, J. et al. Improvements in wheat productivity and soil quality can accomplish by co-application of biochars and Chemical fertilizers. **Science of the Total Environment**, v. 607, p. 715-724, 2017. Disponível em:< <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.178>>. Acessado em: Mar. 21, 2022. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.06.178.

SARFARAZ, Q. et al. Characterization and carbon mineralization of biochars produced from different animal manures and plant residues. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1-9, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41598-020-57987-8>>. Acessado em: Mar. 13, 2022. doi: 10.1038/s41598-020-

57987-8.

SHANG, C.; TIESSEN, H. Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. **Soil Science**, v. 162, n. 11, p. 795-807, 1997. Disponível em:<<https://doi.org/10.1097/00010694-199711000-00004>>. Acessado em: Mar. 20, 2022. doi:10.1097/00010694-199711000-00004.

SHINDE, R. et al. Soil Conditioners. **Agriculture & food: e- newsletter**, Índia, v. 1, p. 1-6, 2019. Disponível em: < www.agrifoodmagazine.co.in>. Acessado em: Mar. 6, 2022.

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

SILVA, G. C. et al.; Rendimento de grãos secos e componentes de produção de genótipos de feijão-caupi em cultivo irrigado e de sequeiro. **Revista Agroambiente**, v. 10, n. 4, p. 342-350, 2016. Disponível em:<<https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v10i4.3385>>. Acessado em: Mar. 24, 2022. doi: 10.18227/1982-8470ragro.v10i4.3385.

SONG, D. et al. Responses of soil nutrients and microbial activities to additions of maize straw biochar and chemical fertilization in a calcareous soil. **European Journal of Soil Biology**, v. 84, p. 1–10, 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2017.11.003>>. Acessado em: Mar. 17, 2022. doi: 10.1016/j.ejsobi.2017.11.003.

SOUSA, E. M. S. et al. Inoculation methods and aggressiveness of *Macrophomina phaseolina* isolates in cowpea. **Ciência Rural**, v. 52, n. 6, p. 1-6, 2022. Disponível em:<<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210072>>. Acessado: Mar. 6, 2022. doi: 10.1590/0103-8478cr20210072.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W. et al. **Methods of Soil Analysis**. Part 2: Microbiological and Biochemical Properties. Madison: Soil Science Society of America, Wisconsin, 1994, 775–833 p.

VANCE, E. D. et al. An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. **Soil Biology e Biochemistry**, v.19, n.6, p. 703-707, 1987. Disponível em:< [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(87\)90052-6](https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90052-6)>. Acessado em: Mar. 26, 2022. doi: 10.1016/0038-0717(87)90052-6.

WERNER, S. et al. Agronomic benefits of biochar as a soil amendment after its use as waste water filtration medium. **Environmental Pollution**, v. 233, p. 561–568, 2018. Disponível em:<<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29102886/>>. Acessado em: Mar. 7, 2022. doi:10.1016/j.envpol.2017.10.048.

YEBOAH, E. et al. A. Method of biochar application affects growth, yield and nutrient uptake of cowpea. **Open Agriculture**, v. 5, n. 1, p. 352-360, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1515/opag-2020-0040>>. Acessado em: Mar. 21, 2022. doi: 10.1515/opag-2020-0040.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

TABELAS

Tabela 1- Altura de plantas (cm), diâmetro de caule (mm), número de nós e comprimento de raízes (cm) de feijão-caupi adubado com diferentes *biochars* de resíduos animais.

Tratamentos ¹	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	Nº de nós	Comprimento de raízes (cm)
CT	67,2 ^{ns}	3,4 c	11,12 ^{ns}	30,8 ^{ns}
CTF	80,0 ^{ns}	5,5 b	11,12 ^{ns}	31,6 ^{ns}
BB	60,7 ^{ns}	5,3 b	11,87 ^{ns}	30,5 ^{ns}
BBF	88,0 ^{ns}	6,8 a	11,75 ^{ns}	30,8 ^{ns}
BS	68,1 ^{ns}	5,4 b	10,87 ^{ns}	29,6 ^{ns}
BSF	87,1 ^{ns}	6,6 a	12,62 ^{ns}	34,5 ^{ns}
BA	70,1 ^{ns}	6,4 a	10,62 ^{ns}	30,5 ^{ns}
BAF	84,2 ^{ns}	6,9 a	11,87 ^{ns}	24,1 ^{ns}

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade. ¹CT: correção; CTF: correção + fertilizante; BB: *biochar* bovino; BBF: *biochar* bovino + fertilizante; BS: *biochar* suíno; BSF: *biochar* suíno + fertilizante; BA: *biochar* avícola; BAF: *biochar* avícola + fertilizante.

Tabela 2- Número de vagens por planta e número de grãos por vagem de feijão-caupi após aplicação de diferentes *biochars* de resíduos animais.

Tratamentos ¹	Número de vagens por planta	Número de grãos por vagem
CT	0,25 c	1,25 c
CTF	1,87 a	16,37 a
BB	2,50 a	16,87 a
BBF	2,75 a	18,25 a
BS	2,87 a	20,75 a
BSF	1,25 b	10,00 b
BA	2,25 a	15,87 a
BAF	2,12 a	16,25 a

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade. ¹CT: correção; CTF: correção + fertilizante; BB: *biochar* bovino; BBF: *biochar* bovino + fertilizante; BS: *biochar* suíno; BSF: *biochar* suíno + fertilizante; BA: *biochar* avícola; BAF: *biochar* avícola + fertilizante.

Tabela 3- Massa seca de folhas, de caule, de raízes e de grãos de feijão-caupi após aplicação de diferentes *biochars* de resíduos animais.

Tratamentos	Massa seca de	Massa seca	Massa seca	Massa seca de
	folhas	de caule	de raízes	grãos
(g/planta)				
CT	1,76 ^{ns}	0,93 b	0,56 ^{ns}	0,30 ^{ns}
CTF	4,67 ^{ns}	2,83 a	1,22 ^{ns}	1,63 ^{ns}
BB	3,45 ^{ns}	2,82 a	1,29 ^{ns}	2,63 ^{ns}
BBF	4,37 ^{ns}	4,28 a	1,36 ^{ns}	2,27 ^{ns}
BS	4,55 ^{ns}	2,83 a	1,11 ^{ns}	3,23 ^{ns}
BSF	4,04 ^{ns}	3,22 a	1,17 ^{ns}	1,69 ^{ns}
BA	3,35 ^{ns}	3,35 a	0,79 ^{ns}	1,74 ^{ns}
BAF	4,29 ^{ns}	3,94 a	1,05 ^{ns}	2,04 ^{ns}

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade. ¹CT: correção; CTF: correção + fertilizante; BB: *biochar* bovino; BBF: *biochar* bovino + fertilizante; BS: *biochar* suíno; BSF: *biochar* suíno + fertilizante; BA: *biochar* avícola; BAF: *biochar* avícola + fertilizante.

Tabela 4 – Carbono orgânico e Nitrogênio total (COT e NT), relação C:N e Carbono lábil (CL) do solo após cultivo do feijão-caupi e aplicação de diferentes *biochars* de resíduos animais.

Tratamentos ¹	COT	NT	C:N	C Lábil
	-----g kg ⁻¹ -----			g kg ⁻¹
CT	14,07 d	1,03 b	13,61 b	1,86 b
CTF	13,15 d	0,75 c	17,41 a	1,76 b
BB	22,45 b	1,26 b	17,77 a	2,33 a
BBF	24,4 a	1,25 b	19,86 a	2,32 a
BS	21,26 b	1,48 a	14,34 b	2,51 a
BSF	18,30 c	1,54 a	12,00 b	2,40 a
BA	21,52 b	1,65 a	13,08 b	2,74 a
BAF	19,03 c	1,66 a	11,57 b	2,66 a
CV	7,88%	12,33%	11,41%	11%

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade. ¹CT: correção; CTF: correção + fertilizante; BB: *biochar* bovino; BBF: *biochar* bovino + fertilizante; BS: *biochar* suíno; BSF: *biochar* suíno + fertilizante; BA: *biochar* avícola; BAF: *biochar* avícola + fertilizante.

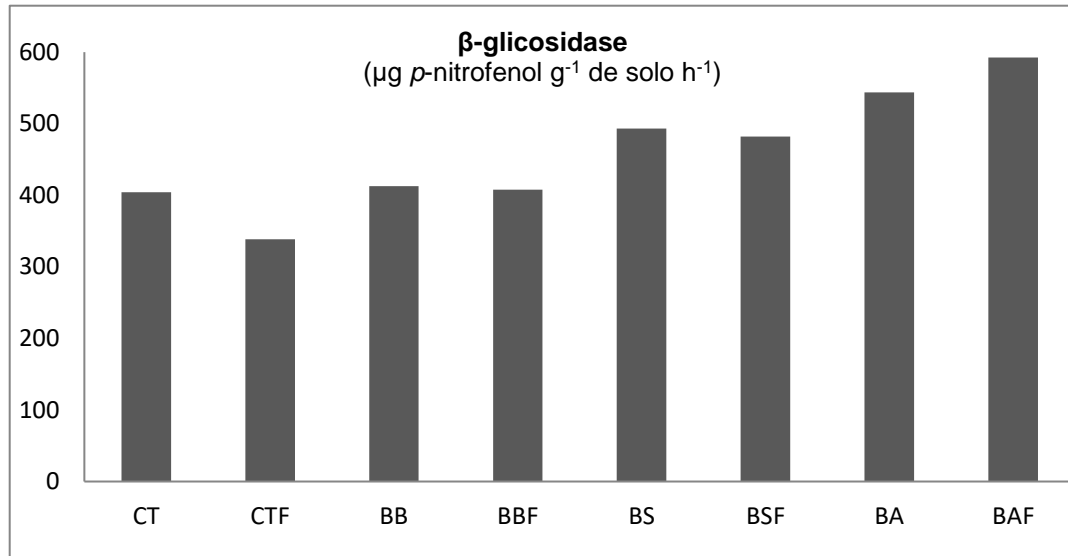
Tabela 5 – Carbono microbiano (Cmic), respiração basal do solo (RBS), quociente metabólico (qCO₂) do solo após cultivo do feijão-caupi e aplicação de diferentes *biochars* de resíduos animais.

Tratamentos ¹	Cmic	RBS	qCO ₂
	mg kg ⁻¹	mg C-CO ₂ kg ⁻¹	mg C-CO ₂ g ⁻¹ Cmic-C h ⁻¹
CT	330 ^{ns}	5,09 ^{ns}	0,66 a
CTF	487,5 ^{ns}	2,83 ^{ns}	0,25 b
BB	525 ^{ns}	3,95 ^{ns}	0,33 b
BBF	457,5 ^{ns}	2,95 ^{ns}	0,26 b
BS	450 ^{ns}	3,03 ^{ns}	0,40 b
BSF	517,5 ^{ns}	2,61 ^{ns}	0,34 b
BA	555 ^{ns}	3,27 ^{ns}	0,24 b
BAF	570 ^{ns}	3,02 ^{ns}	0,27 b
CV	17,82%	37,99%	40%

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade. ¹ CT: correção; CTF: correção + fertilizante; BB: *biochar* bovino; BBF: *biochar* bovino + fertilizante; BS: *biochar* suíno; BSF: *biochar* suíno + fertilizante; BA: *biochar* avícola; BAF: *biochar* avícola + fertilizante. ns = não significativo.

FIGURA

Figura 1- Enzima β -glicosidase do solo após cultivo de feijão-caupi e aplicação de diferentes *biochars* de resíduos animais.



¹CT: correção; CTF: correção + fertilizante; BB: *biochar* bovino; BBF: *biochar* bovino + fertilizante; BS: *biochar* suíno; BSF: *biochar* suíno + fertilizante; BA: *biochar* avícola; BAF: *biochar* avícola + fertilizante.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo evidenciou que o uso do *biochar* de resíduos animais combinado com fertilizante mineral teve respostas positivas para o cultivo do feijão-caupi. Assim, os dados obtidos subsidiar novos experimentos sobre o uso de *biochar* de resíduos animais na agricultura. Estudos adicionais devem ser realizados em campo a fim de verificar tais resultados em função das condições edafoclimáticas locais.