

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AGRONOMIA

**BIOCARVÃO DE ESTERCO BOVINO COMO CONDICIONADOR
DE SOLO PARA O CULTIVO DO FEJJOEIRO**

MATHEUS RODRIGUES TORRES

Montes Claros - MG
2021

Matheus Rodrigues Torres

BIOCARVÃO DE ESTERCO BOVINO COMO CONDICIONADOR DE SOLO PARA O CULTIVO DO FEIJOEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial, para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Luiz Arnaldo Fernandes.

Montes Claros, MG
Instituto de Ciências Agrárias - UFMG

2021.

Matheus Rodrigues Torres. **BIOCARVÃO DE ESTERCO BOVINO COMO
CONDICIONADOR DE SOLO PARA O CULTIVO DO FEIJOEIRO**

Aprovada pela banca examinadora constituída por:

Prof. Luiz Arnaldo Fernandes - ICA/UFMG

Prof. Fernando Colen - ICA/UFMG

Manoel Ferreira de Souza - Doutorando ICA/UFMG



Prof. Luiz Arnaldo Fernandes - Orientador ICA/UFMG

Montes Claros, 17 de março de 2021.

Dedico este trabalho, ao meu pai, Frutuoso Batista Torres (*in memoriam*), por me conceder a sua sabedoria, dignidade e caráter. Sua lembrança me inspira e me faz persistir.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Orientador Luiz Arnaldo Fernandes, gratidão pela sábia orientação, por toda a disposição e compreensão nesta caminhada.

À Universidade Federal de Minas Gerais pela oportunidade e infraestrutura para realização das pesquisas.

Aos amigos e familiares que apoiaram e que sempre estiveram presentes.

Agradeço aos demais Professores do curso de Agronomia da UFMG por meio do seus ensinamentos contribuíram para a minha formação teórica, prática e profissional.

Agradeço também aos professores do IFNMG- campus Almenara, onde iniciei a minha formação acadêmica, por suas contribuições.

Aos amigos e colegas que auxiliaram na execução dos experimentos e avaliações.

Aos integrantes da banca de defesa, os professores Fernando Colen e Luiz Arnaldo, e ao doutorando Manoel Ferreira, pela suas valiosas contribuições.

Por fim, agradeço as pessoas que, direta ou indiretamente, me ajudaram ao longo de mais esta etapa.

“O problema não é o problema. O problema é a atitude com relação ao problema.”

Jack Sparrow

RESUMO

O biocarvão, produzido a partir da pirólise de resíduos orgânicos, vem sendo relatado constantemente na literatura, devido aos benefícios relacionados a sua incorporação ao solo. A sua adição tem contribuído para as melhorias físicas, químicas e biológicas, como, por exemplo, o aumento de retenção de água, disponibilidade de nutrientes, aumento nos teores de fósforo disponível, somado ao desenvolvimento de microrganismos no solo. O objetivo do trabalho foi avaliar o biocarvão de esterco bovino como condicionador de solo para plantas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). O trabalho foi conduzido no Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da Universidade Federal de Minas Gerias (UFMG), no campus regional de Montes Claros. O trabalho foi conduzido no período de maio a dezembro de 2020, iniciando com a produção do biocarvão, proveniente de esterco bovino coletado na área de alimentação de vacas leiteiras em lactação do ICA/UFMG. Essa matéria-prima foi utilizada para a produção de biocarvão. Foram testados 5 doses de biocarvão (0, 2, 4, 6 e 8% massa/volume), com 4 repetições, sendo o delineamento experimental utilizado o inteiramente casualizado(DIC). Avaliaram-se os atributos químicos do solo, após o período de incubação do biocarvão. Em seguida realizou-se a semeadura do feijão, sendo o mesmo do grupo comercial carioca, variedade Madrepérola. Ao final avaliou-se matéria seca de parte aérea, raízes e grãos, separadamente. Os atributos do solo analisados relacionados a fertilidade foram, acidez, disponibilidade de nutrientes, carbono orgânico no solo. A adição de biocarvão, contribuiu para o crescimento e desenvolvimento do feijoeiro, nas doses de 5,85%, 7,04% e 5,46% proporcionaram máxima produção para matéria seca parte aérea(MSPA), matéria seca raiz (MSRA) e matéria seca grão(MSGR) respectivamente. Soma-se a isto o biocarvão proporcionou melhorias nas propriedades químicas do solo, contribuindo para produção da cultura do feijão. A aplicação da dose de biocarvão correspondente a 3,68% do volume de solo proporcionou a máxima produção econômica dos grãos de feijoeiro.

Palavras-chave: biocarvão; *Phaseolus vulgaris* L.; pirólise; nutrição de plantas.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Biocarvão	14
2.2	Feijão.....	15
3	MATERIAL E MÉTODOS	17
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5	CONCLUSÃO	25
	REFÊRENCIAS	26

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Município de Montes Claros-MG.....	17
Figura 2- A) Disposição dos vasos e montagem do experimento; B) Experimento estabelecido aos 30 dias após o plantio.....	19
Figura 3. Produção de matéria seca da parte aérea em função das doses de biocarvão.....	23
Figura 4. Produção de matéria seca de raízes em função das doses de biocarvão.....	24
Figura 5. Produção de matéria seca de grãos em função das doses de biocarvão.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização do biocarvão de esterco bovino (BEB) e as quantidade de nutrientes adicionados por vaso de três decímetro cúbico (dm ³).....	18
Tabela 2: Resultados da análise de solo após a incubação (média de quatro repetições).....	20
Tabela 3: Equações de regressão ajustadas para os atributos do solo em função das doses de biocarvão, valores máximos dos atributos estimados de acordo com as equações ajustadas e percentagem de aumentos dos atributos em relação dose zero e o maior valor estimado.....	21
Tabela 4: Produção máxima de matéria seca.....	23

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BEB – Biocarvão de Esterco Bovino

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

DIC – Delineamento inteiramente casualizado

EB – Esterco Bovino

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICA – Instituto de Ciências Agrárias

MS – Matéria Seca

MSGR – Matéria Seca Grão

MSPA – Matéria Seca Parte Aérea

MSRA – Matéria Seca Raiz

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, com os objetivos, entre outros, de aproveitamento de resíduos orgânicos na agricultura e melhorar as propriedades do solo, tem aumentado o interesse pelos biocarvões. Além disso, o carbono dos biocarvões, resultantes do processo de pirólise, são mais estáveis que aquele dos resíduos orgânicos *in natura*, o que favorece o aumento do estoque de carbono do solo e a redução das emissões de gases de efeito estufa.

Os biocarvões são produzidos pelo processo de pirólise de qualquer material orgânico. Durante a decomposição termoquímica da biomassa os teores de carbono aumentam significativamente, assim como forma uma matriz com elevada porosidade e cargas elétricas de superfície, que contribuem para a melhoria das propriedades químicas, físicas e microbiológicas ao solo.

Uma das matérias primas com potencial para a produção de biocarvão é o esterco bovino. O esterco, principalmente da bovinocultura leiteira, além de ser produzido em grandes quantidades, é de fácil coleta, uma vez que, durante a ordenha os animais ficam confinados. Além disso, a disposição inadequada dos esterco pode causar danos ambientais, como, por exemplo, a eutrofização dos cursos d'água.

Em trabalhos anteriores realizados com biocarvão produzido a partir de esterco bovino, tal como o de Torres *et al.* (2020) verificou-se efeito significativo nos teores de nutrientes no solo e na produção do feijoeiro. No entanto, faltam informações sobre as doses a serem utilizadas para a produção do feijoeiro.

O feijoeiro é uma cultura de grande relevância social e econômica no Brasil, uma vez que faz parte da dieta diária da população. Assim, a oferta contínua e a baixos custos de grãos de feijão é fundamental para a segurança alimentar e nutricional, sobretudo para classes mais carentes da população brasileira (RAWAL *et al.*, 2019).

O aproveitamento dos resíduos orgânicos resultantes das atividades agropecuárias para a produção do biocarvão, é uma alternativa para a adequada disposição desses resíduos e evitar a pressão sobre os recursos naturais. Vários estudos evidenciam os efeitos dos biocarvões nas propriedades químicas, físicas e microbiológicas no solo, tendo, portanto, efeito condicionante, contribuindo também para o aumento da produtividade das culturas e para o aumento do estoque carbono ao solo.

No entanto, há na literatura científica, dúvidas da viabilidade de uso de biocarvão na agricultura devido à falta de informações sobre as doses a serem utilizadas. Nesse sentido, justifica-se o estudo de doses de biocarvões obtidos de diferentes matérias primas para a produção máxima econômica das culturas, como, por exemplo, do feijoeiro. Dessa forma objetivou-se com esse trabalho avaliar o biocarvão de esterco bovino como condicionador de solo para plantas de feijoeiro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Biocarvão

Muitos estudos têm sido conduzidos visando avaliar a adição de Biocarvão ao solo como alternativa para melhorar as propriedades físicas e químicas do solo (ABEL *et al.*, 2013; YAO *et al.*, 2012). Dessa forma, estudos relacionados a aplicação de biocarvão ao solo tem sido objeto de interesse científico, atraídos pela denominada “Terra Preta de Índio” encontrada na Amazônia, devido à sua alta fertilidade, disponibilidade de nutrientes e alto teor de carbono estável de origem pirogênica (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Obtido através da pirólise da biomassa o biochar ou biocarvão é um material orgânico, que tem efeitos na correção da acidez e nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, (AWAD *et al.*, 2018). O biocarvão tem como resíduos agrícolas sua fonte de matéria-prima, como, estrume animal e matéria vegetal proveniente de restos culturais. A importância desses resíduos para a produção de biocarvões é uma forma eficiente de transformar resíduos em produtos de maior valor agregado (BREWER *et al.*, 2014).

O processo de pirólise na qual é submetido os resíduos orgânicos, é uma tecnologia termoquímica onde a matéria orgânica é decomposta após ser submetida a condições de altas temperaturas, entre 350° e 700° C, na ausência de oxigênio, para transformar biomassa em biocarvão, bio-óleo e gás (VARMA *et al.*, 2018). As características da biomassa utilizada e as condições de pirólise interferem nas propriedades físicas e químicas do biocarvão resultante (SPOKAS *et al.*, 2012).

Os biocarvões podem ser uma estratégia para a captura, sequestro e armazenamento de carbono no solo, aumentar disponibilidade de nutrientes no solo, bem como reduzir a lixiviação dos elementos (ABNEY e BERHE, 2018). Direta ou indiretamente, os biocarvões oferecem diversas vantagens aos cultivos agrícolas, no qual a matéria orgânica é fundamental para a fertilidade do solo, principalmente em solos mais intemperizados, com baixa capacidade de troca catiônica (LORENZ; LAL, 2014).

Uma das principais fontes de nutrientes utilizadas por pequenos produtores é a prática da utilização de esterco bovino ao solo como fonte de nutrientes, a fim de melhorar a fertilidade do solo. Além disso, as práticas de adubação orgânica proporcionam o aumento da matéria orgânica do solo (MENEZES; SILVA, 2008) e o aumento da atividade microbiana (DOAN *et*

al., 2014). Entretanto, principalmente em regiões tropicais, com alta temperatura e umidade, a decomposição do material orgânico é acelerada, de forma que a manutenção do estoque de carbono, principalmente em solos de textura arenosa é muito difícil (PADILHA *et al.*, 2014).

2.2 Feijão

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) se destaca como uma das leguminosas mais cultivadas no mundo, sendo o Brasil o 3º maior produtor (FAOSTAT, 2019). No Brasil, a região sudeste corresponde a cerca de (25,1%) da produção nacional de feijão, ficando atrás da região Sul e Centro-Oeste que são os principais polos produtores de feijão. O Estado do Paraná se destaca como o principal produtor nacional com 18,9% do total produzido, seguido por Minas Gerais 16,5% (CONAB 2018).

O feijão é uma cultura de grande importância para o agronegócio de vários países incluindo o Brasil (SHARASIA *et al.*, 2017). Somando-se a isto, é de fundamental importância para a segurança alimentar e nutricional, sobretudo para classes mais carentes da população, o feijoeiro-comum representa um dos pilares da dieta brasileira, devido a seus valores nutricionais contidos nessa planta, apresentando alto teor de proteínas, fibras, vitaminas, minerais e baixo teor de gorduras quando comparadas a outros principais cereais (FAO, 2016; RAWAL *et al.*, 2019).

O feijão tem sido uma das principais culturas alimentícias, além disso, ocupando lugar de destaque, de forma social e economicamente, sendo cultivadas nas regiões semiáridas do Brasil, frequentemente, produzido por pequenos produtores em sistema de sequeiro, com baixo investimento tecnológico (LIMA *et al.*, 2011; FREIRE FILHO *et al.*, 2011). Em termos de produção e consumo o feijão se destaca como umas das principais culturas globais, juntamente com o grão-de-bico, a ervilha e a lentilha (BELHASSEN *et al.*, 2019).

A Embrapa Arroz e Feijão, em parceria com a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), e as Universidades Federais de Lavras (UFLA) e Viçosa (UFV), desenvolveram a cultivar BRSMG Madrepérola, com o intuito de atender o grande consumo de feijão do tipo carioca pela população, e lançaram essa variedade para atender as demandas dos produtores que cultivam feijão no estado de Minas Gerais (EMBRAPA, 2011).

Comparadas as cultivares do grupo carioca, contidas no mercado, a cultivar Madrepérola se caracteriza pela qualidade dos grãos, mantendo uma coloração clara por período mais longo. Soma-se a isto o elevado potencial produtivo e alto nível de resistência às principais

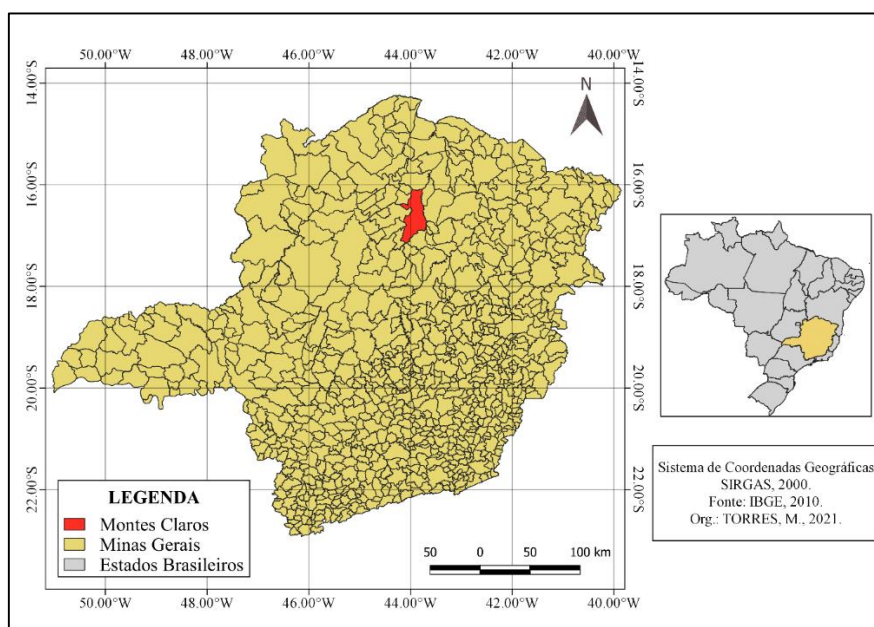
doenças que ocorrem na região. A cultivar BRSMG Madrepérola apresenta porte prostrado, hábito de crescimento indeterminado, tipo III, com baixa tolerância ao acamamento. A planta é considerada como semi-precoce, por apresentar ciclo mais curto, aproximadamente 83 dias, nas safras das “água” e “seca”, comparados as cultivar Pérola e semelhante ao da cultivar BRSMG Talismã (EMBRAPA, 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em vasos com solo, em casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), município de Montes Claros – MG (Figura 1), no período de maio a dezembro de 2020.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram cinco doses de biocarvão (0, 2, 4, 6 e 8% massa/volume), produzido a partir de esterco de bovino leiteiro.

Figura 1- Município de Montes Claros-MG.



O solo utilizado Latossolo Vermelho Amarelo, coletado na camada superficial de 0 a 20 cm de profundidade, sob vegetação de Cerrado *sensu stricto*. O solo foi caracterizado de acordo com Teixeira *et al.* (2017) e apresentou os seguintes atributos: textura da camada superficial classificada como arenosa (areia = 780 g kg⁻¹; silte = 100 g kg⁻¹; argila = 120 g kg⁻¹; pH (H₂O) = 5.0; fósforo disponível (método de resina) = 1.8 mg dm⁻³; potássio = 17 mg dm⁻³; cálcio = 0.25 cmol_c dm⁻³; magnésio = 0.12 cmol_c dm⁻³; alumínio = 0.42 cmol_c dm⁻³; saturação por base = 12.7 %; capacidade de troca de cátions potencial = 3.25 cmol_c dm⁻³ e carbono orgânico no solo = 10.6 g kg⁻¹.

O esterco bovino utilizado para a produção do biocarvão apresentou as seguintes concentrações, isto é, conforme Tedesco *et al.* (1995): 17,4 g kg⁻¹ nitrogênio total; 29,6 g kg⁻¹ de P; 25,0 g kg⁻¹ de Ca; 6,4 g kg⁻¹ de Mg e; 4,3 g kg⁻¹ de S.

Para a produção do biocarvão, foram confeccionadas manualmente esferas de aproximadamente 4 cm de diâmetro do esterco fresco bovino. As esferas foram secas em estufa à $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por um período de 48 horas e em seguida, acondicionadas em um recipiente de aço hermeticamente fechado para a produção de biocarvão em forno tipo mufla. A temperatura de pirólise foi de 450°C , com o tempo de residência de 30 minutos e taxa de aquecimento de 20°C por minuto.

O biocarvão foi caracterizado quanto à umidade, pH, densidade e condutividade elétrica, conforme Rajkovich *et al.* (2012). As cinzas foram determinadas de acordo com o procedimento descrito em ASTM D1762-84, os teores de carbono e nitrogênio foram determinados por analisador elementar e os nutrientes determinados por ICP-MS/MS após digestão por micro-ondas, conforme método USEPA 3051. A caracterização química do esterco e do biocarvão estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1- Caracterização do biocarvão de esterco bovino (BEB) e as quantidade de nutrientes adicionados por vaso de três decímetro cúbico (dm^3)

Atributos	BEB	Quantidade de nutrientes adicionadas por vaso			
		2%	4%	6%	8%
pH	9,8	-	-	-	-
Cond. el. (mS cm^{-1})	411	-	-	-	-
Densidade (g dm^{-3})	0,54	-	-	-	-
Cinzas (%)	36,2	-	-	-	-
Compostos voláteis (%)	43,5	-	-	-	-
Carbono fixo (%)	12,7	-	-	-	-
		----- g/vaso -----			
Biocarvão (g/vaso)	-	60	120	180	240
Carbono total (g kg^{-1})	167,9	10,07	20,15	30,22	40,30
Nitrogênio total (g kg^{-1})	6,43	0,39	0,77	1,16	1,54
P (g kg^{-1})	32,67	1,96	3,92	5,88	7,84
K (g kg^{-1})	5,40	0,32	0,65	0,97	1,30
Ca (g kg^{-1})	19,33	1,16	2,32	3,48	4,64
Mg (g kg^{-1})	23,22	1,39	2,79	4,18	5,57
Na (g kg^{-1})	1,08	0,06	0,13	0,19	0,26
S (g kg^{-1})	0,70	0,04	0,08	0,13	0,17
		----- mg/vaso -----			
Fe (mg kg^{-1})	375,3	22,52	45,04	67,55	90,07
Zn (mg kg^{-1})	100,4	6,02	12,05	18,07	24,10
Mn (mg kg^{-1})	82,08	4,92	9,85	14,77	19,70
Cu (mg kg^{-1})	15,28	0,92	1,83	2,75	3,67
B (mg kg^{-1})	6,64	0,40	0,80	1,20	1,59

Fonte: Do autor, 2020.

Em cada vaso (unidade experimental) foram adicionados 3 dm³ de solo e as respectivas doses de biocarvão. O solo e os respectivos tratamentos foram incubados por 90 dias com a umidade mantida próxima à capacidade de campo (Figura 2). Após o período de incubação, coletou-se uma amostra homogênea de cada unidade experimental para análise química, conforme Teixeira *et al.* (2017).

Após a amostragem foram semeadas seis sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) do grupo comercial carioca, variedade Madrepérola por unidade experimental. Aos 10 dias após a semeadura ocorreu o desbaste, deixando apenas duas plantas por vaso. As plantas foram cultivadas até o ponto de colheita dos grãos, mantendo-se a umidade próxima à capacidade de campo.

Figura 2- A) Disposição dos vasos e montagem do experimento; B) Experimento estabelecido aos 30 dias após o plantio.



Fonte: Do autor, 2020.

Ao final do período experimental as plantas foram colhidas, separadas em folhas + caule + vagem, raízes e grãos. Em seguida foram ligeiramente lavadas com água destilada e acondicionadas em saco de papel para secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65- 70°C até massa constante para obtenção das respectivas matérias secas.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativo, foram ajustadas equações de regressão das variáveis estudadas em função das doses de biocarvão. Utilizou-se o programa estatístico R.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o período de incubação do solo com as respectivas doses de biocarvão verificou-se que a acidez ativa do solo (pH) variou de elevada a fraca e, na dose 8% de biocarvão o solo apresentou alcalinidade fraca (Tabela 2). Em função da elevação do pH do solo, acidez potencial trocável (Al) foi totalmente neutralizada com a aplicação de biocarvão ao solo (Tabela 2). Para o fósforo disponível, potássio e cálcio trocáveis, e saturação por bases, os valores variaram de muito baixo a baixo a muito bom (Tabela 2). Já os valores de magnésio variaram de muito baixo a bom, enquanto que não houve diferença quanto as classes de interpretação para os valores de CTC com a aplicação de biocarvão (Tabela 2).

O fósforo remanescente, que estima a capacidade de fixação de fósforo pelo solo, verificou-se nas doses mais baixas de biocarvão a capacidade de adsorção desse elemento pelo solo variou de baixa a muito baixa com o aumento das doses de biocarvão, enquanto que os teores de carbono orgânico do solo variaram de baixo a médio (Tabela 2)

Tabela 2 : Resultados da análise de solo após a incubação (média de quatro repetições).

Biocavão	pH*	P	Prem	K	Ca	Mg	Al	T	V	COS
%		mg dm ⁻³	mg L ⁻¹	-----mmol c dm ⁻³ -----					%	g kg ⁻¹
0	4,5AcE**	1,6Mx	36,2Bx	0,6Bx	2,5Bm	0,9Mx	4,2Bx	16,3Bx	24,3Bx	4,9Bx
2	5,3AcE	21,8Mx	42,3Bx	4,5Mb	9,9Mb	3,6Bx	0	26,0Bx	62,4Bm	5,2Md
4	6,3AcF	87,4Mb	44,3Bx	7,1Mb	15,8Mb	5,7Md	0	35,8Bx	84,6Mb	5,9Md
6	6,8AcF	105,5Mb	46,5Mx	8,2Mb	17,8Mb	7,3Md	0	40,9Bx	86,1Mb	6,9Md
8	7,5AlF	130,2Mb	49,1Mx	8,6Mb	20,8Mb	10,2Bm	0	41,7Bx	90,8Mb	8,2Md

*: pH= Acidez ativa do solo; P= Fósforo disponível- Método Mehlich-1; P rem= Fósforo remanescente; K= Potássio; Ca= Cálcio; Mg=Magnésio; T= CTC a pH 7,0; V= Saturação por bases; COS= Carbono orgânico do solo.

** : AcE = acidez elevada; AcF = acidez fraca; AlF = alcalinidade fraca; Mx = muito baixo, Bx = baixo; Md = médio; Bm= bom, Mb = muito bom; Ma = muito alta.

De acordo com a equação ajustada os valores de pH do solo aumentaram linearmente, sendo o maior valor, estimado na dose 8% de biocarvão, de 7,58. A aumento do pH do solo com a aplicação de biocarvão pode estar relacionado às cinzas produzidas durante o processo de pirólise (Tabela 1), uma vez que são ricas em bases, como carbonato de potássio (KHCO₃) e carbonato de cálcio (CaCO₃), que atuam como corretivos da acidez do solo e aumentam os teores de bases trocáveis (DOMINGUES *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2017).

Corroborando com o aumento do pH do solo, verificou-se a neutralização da acidez potencial trocável (Al) (Tabela 2). Dessa forma, os biocarvões atuam como corretivos da acidez do solo, não somente pela conversão do Al^{+3} em $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ e $\text{Al}(\text{OH})_3$ por reações de precipitação devido ao aumento do pH, mas também por reações de adsorção dos monômeros $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$ e $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ nos grupos carboxila presentes na superfície das partículas dos biocarvões (QIAN; CHEN; HU, 2013; TANG *et al.*, 2013).

Tabela 3: Equações de regressão ajustadas para os atributos do solo em função das doses de biocarvão, valores máximos dos atributos estimados de acordo com as equações ajustadas e percentagem de aumentos dos atributos em relação dose zero e o maior valor estimado.

Atributos	Equação	R ²	Valor máximo Dose 8%	% aumento em relação a dose zero
pH ¹	$y = 0,375x + 4,58$	0,99	7,58	65,50
P (mg dm ⁻³)	$y = 17,037x + 1,136$	0,95	137,43	11997,89
P rem (mg L ⁻¹)	$y = 1,4985x + 37,702$	0,94	49,69	31,80
K (mmol _c dm ⁻³)	$y = 0,985x + 1,86$	0,88	9,74	423,66
Ca (mmol _c dm ⁻³)	$y = 2,225x + 4,46$	0,94	22,26	399,10
Mg (mmol _c dm ⁻³)	$y = 1,115x + 1,08$	0,99	10,00	825,93
T (mmol _c dm ⁻³)	$y = 3,285x + 19$	0,92	45,28	138,32
V (%)	$y = -1,5641x^2 + 20,342x + 25,809$	0,98	88,44	242,68
COS (g kg ⁻¹)	$y = 0,415x + 4,56$	0,95	7,88	72,81

¹=(H₂O); pH= Acidez ativa do solo; P= Fósforo disponível- Método Mehlich-1; P rem= Fósforo remanescente; K= Potássio; Ca= Cálcio; Mg=Magnésio; T= CTC a pH 7,0; V= Saturação por bases; COS= Carbono orgânico do solo.

Os teores de fósforo disponíveis, extraídos pelo Mehlich-1, aumentaram linearmente com as doses de biocarvão, sendo o maior valor 137,43 mg dm³ (Tabela 3). O aumento da disponibilidade de P foi superior a 1000%, quando se comparam os teores na dose zero e na dose 8% de biocarvão (Tabela 2). Além de ser fonte de fósforo (Tabela 1), os biocarvões podem atuar como condicionadores de fósforo e diminuir a capacidade de fixação de fosforo pelo solo. Corroborando com os resultados do P disponível, verificou-se um aumento dos valores de P remanescente (Tabela 2). O método do fósforo remanescente permite estimar a capacidade de fixação de fósforo (ALVAREZ *et al.*, 2000), a partir de um valor único (60 mg L⁻¹ de P) da curva de adsorção de P (ROGERI *et al.*, 2017).

As hipóteses para o aumento expressivo nos teores de P disponível com o aumento das doses de biocarvão são: o biocarvão é fonte de P (Tabela 1); aumento do pH do solo e a presença de grupamentos carboxílicos que reduzem as reações de fixação de P (YUAN; XU, 2012; ABDALA *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2017) e; adição de sílica solúvel, uma vez que silício compete com o P pelos sítios de adsorção das argilas (CARVALHO *et al.*, 2001; WANG; XIAO; CHEN, 2018; TORRES *et al.*, 2020).

Os teores de cálcio, magnésio e potássio trocáveis aumentaram linearmente com as doses de biocarvão (Tabela 2). De acordo com as equações ajustadas, em relação a dose zero, os aumentos corresponderam a 423, 399 e 826% para Ca, Mg e K, respectivamente (Tabela 2). Esses aumentos podem ser explicados pela adição desses elementos pelo próprio biocarvão (Tabela 1).

Da mesma forma, ocorreu um aumento linear da CTC do solo com as doses de biocarvão (Tabela 2). Esse resultado pode ser explicado pelo aumento das bases trocáveis (Ca, Mg e K), uma vez que no presente estudo a CTC foi calculada pela soma das bases trocáveis e da acidez potencial (H+Al) e pelo aumento do carbono orgânico do solo (Tabela 2). Para a saturação por bases, os valores se ajustaram a um modelo quadrático em função das doses de biocarvão, sendo o maior valor obtido na dose correspondente a 8%. Em relação à dose zero, verificou-se um aumento de 138 e 243% na CTC e na saturação por bases, respectivamente (Tabela 2), evidenciando os efeitos do biocarvão como corretivo da acidez, fonte de nutriente e condicionador das propriedades químicas do solo.

Para o carbono orgânico do solo houve um aumento linear nos teores com o aumento das doses de biocarvão (Tabela 2). Além dos teores mais elevados de carbono orgânico contribuem para a melhoria das propriedades químicas e físicas do solo, o carbono dos biocarvões é mais estável no solo, que favorece a sua permanência por ao longo período de tempo, contribuindo assim para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GWENZI *et al.*, 2016).

Houve efeito das doses de biocarvão na produção de matéria da parte aérea, caule e folhas (Figura 3), de raízes (Figura 4) e de grãos (Figura 5) do feijoeiro.

Para a produção de matéria seca da parte aérea, de acordo com a equação ajustada (Figura 3), a máxima produção (8,65 g/planta) ocorreu na dose correspondente a 5,85% de biocarvão (Tabela 4). A produção máxima econômica, que corresponde a 90% da produção

máxima, ocorreu na dose 3,72% de biocarvão (Tabela 4). Dessa forma, para uma redução da produção em matéria seca da parte aérea em 10%, reduz-se a dose de biocarvão em 36%.

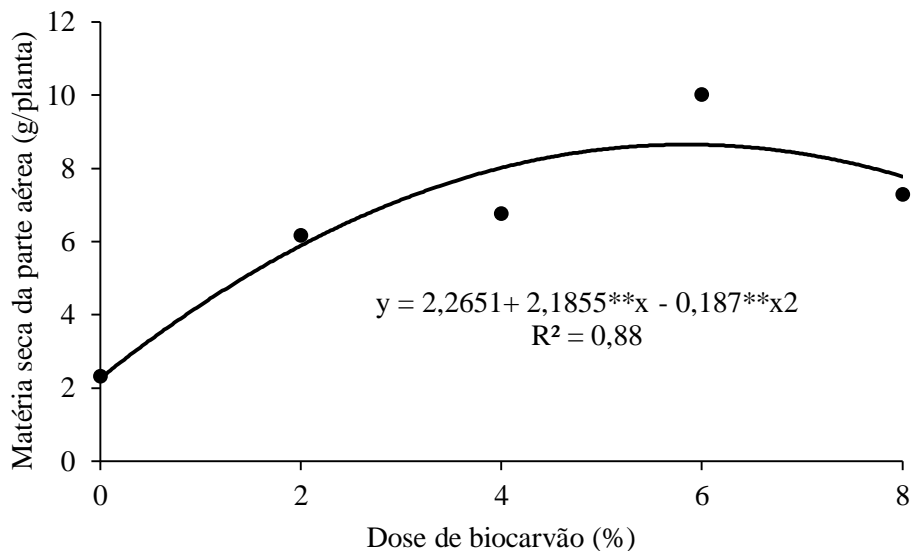


Figura 3. Produção de matéria seca da parte aérea em função das doses de biocarvão.

Tabela 4: Produção máxima de matéria seca.

	Produção máxima (g/planta)	Dose biocarvão para produção máxima (%)	90% da produção máxima (g/planta)	Dose biocarvão para 90% da produção máxima (%)
MSPA	8,65	5,85	7,78	3,72
MSRA	5,11	7,04	4,60	4,45
MSGR	6,42	5,46	5,77	3,68

MSPA= matéria seca parte aérea; MSRA=matéria seca raízes; MSGR=matéria seca grãos.

Semelhantemente ao verificado para a produção de matéria seca da parte aérea, a produção de raízes (Figura 4) e de grãos (Figura 5) se ajustaram a um modelo quadrático em função das doses de biocarvão. A máxima produção de raízes (5,11g) e de grãos (6,42g) ocorreram nas doses 7,04 e 5,46% de biocarvão, respectivamente, de acordo com as equações ajustadas (Tabela 3). Considerando produção máxima econômica aquela correspondente a 90% da máxima, a dose de biocarvão para a produção econômica de grãos de feijoeiro foi de 3,68%.

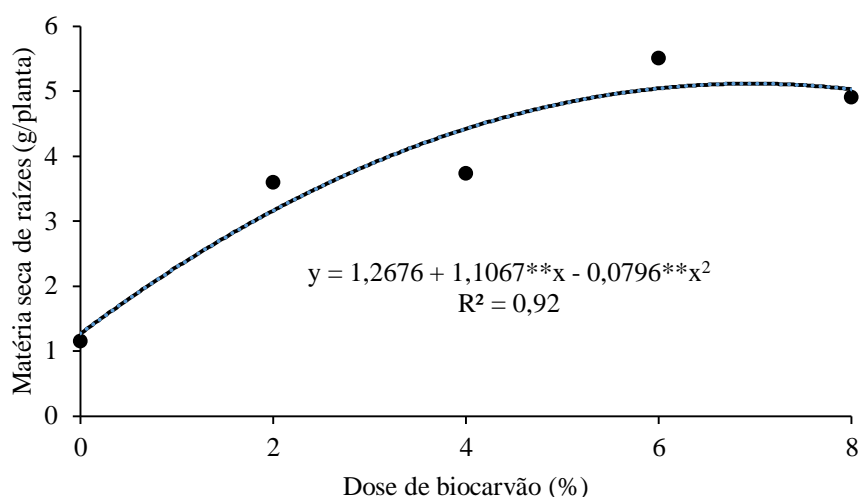


Figura 4. Produção de matéria seca de raízes em função das doses de biocarvão.

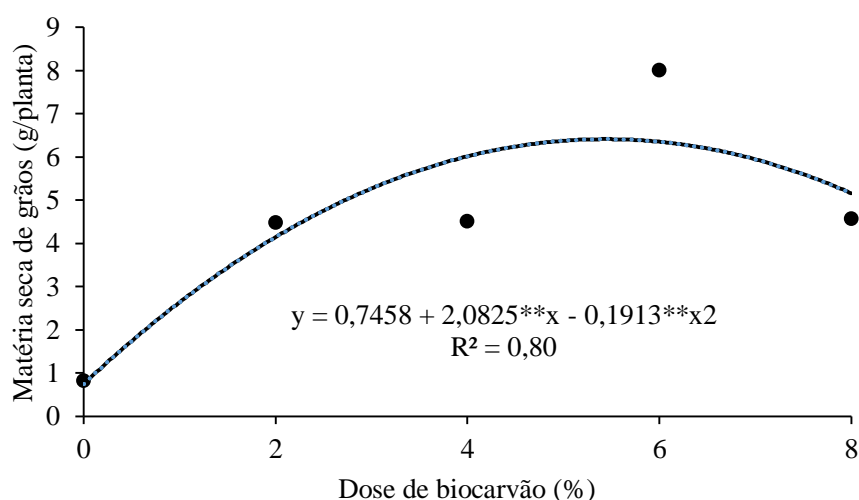


Figura 5. Produção de matéria seca de grãos em função das doses de biocarvão.

O aumento da produção de matéria seca do feijoeiro com aplicação certamente está relacionada aos efeitos do biocarvão na correção da acidez do solo, no aumento da disponibilidade de nutrientes e melhorias nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. De modo geral, para o solo, os biocarvões aumentam o pH, a disponibilidade de nutrientes, a capacidade de troca de cátions e a retenção de água pelo solo (NOVAK *et al.*, 2014), assim como, diminuem a densidade e alteram a microbiota do solo, com efeitos positivos para as associações plantas - microrganismos (HAMMER *et al.*, 2014). Para os vegetais, os biocarvões influencia no metabolismo, alterando a produção de compostos relacionados ao crescimento das plantas (VIGER *et al.*, 2015) e eficiência de aquisição de nutrientes (DI LONARDO *et al.*, 2013).

5 CONCLUSÃO

O biocarvão de esterco bovino, como condicionador do solo, corrigiu a acidez e aumentou os teores de carbono e de nutrientes do solo. A aplicação da dose de biocarvão correspondente a 3,68% do volume de solo proporcionou a máxima produção econômica dos grãos de feijoeiro.

REFÊRENCIAS

- ABDALA, D. B. et al. Long-term manure application effects on phosphorus speciation, kinetics and distribution in highly weathered agricultural soils. **Chemosphere**, 119: 504-514, 2015.
- ABEL, S., PETERS, A., TRINKS, S., SCHONSKY, H., FACKLAM, M. AND WESSOLEK, G. (2013) Impact of Biochar and Hydrochar Addition on Water Retention and Water Repellency of Sandy Soil. *Geoderma*, 202-203, 183-191, 2013.
- ABNEY, R.B., BERHE, A.A. Pyrogenic carbon erosion: implications for stock and persistence of pyrogenic carbon in soil. *Front. Earth Sci.* 6, 1–16, 2018.
- ABREU, A. F. B. *et al.* BRSMG Madrepérola: Cultivar de Feijão Tipo Carioca com Escurecimento Tardio dos Grãos. Santo Antônio de Goiás, GO: EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2011. 4 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico, 200).
- ALVAREZ, V. V. H. *et al.* Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 25:27-34, 2000.
- AWAD, Y.M., LEE, S.S., KIM, K.H., OK, Y.S., KUZYAKOV, Y. Carbon and nitrogen mineralization and enzyme activities in soil aggregate-size classes: effects of biochar, oyster shells, and polymers. *Chemosphere*. 198, 40–48, 2018.
- BELHASSEN, B. B.; RAWAL, V.; NAVARRO, D. K. Introduction. In: RAWAL, V.; NAVARRO, D. K. (eds.). **The Global Economy of Pulses**. Rome: FAO, 2019.
- BREWER, C.E., CHUANG, V.J., MASIELLO, C.A., GONNERMANN, H., GAO, X., DUGAN, B. New approaches to measuring biochar density and porosity. **Biomass Bioenergy** 66, 176–185, 2014.
- CARVALHO, RUI. *et al.* Interações silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36(3):557-565, 2001.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). Acompanhamento da safra brasileira: grãos: safra 2019/2020:sexto levantamento. v. 7, mar. 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/gaos/boletim-da-safra-de-gaos>. Acesso em: 20 fev. 2021.
- DI LONARDO, S., F.P. VACCARI, S. BARONTI, M. CAPUANA, L. BACCI, F. SABATINI, M. LAMBARDI, AND F. MIGLIETTA. Biochar successfully replaces activated charcoal for in vitro culture of two white poplar clones reducing ethylene concentration. *Plant Growth Regulation*, 69, p.43–50. 2013.
- DOAN, T. T.; BOUVIER, C.; BETTAREL, Y.; BOUVIER, T.; HENRY-DES-TUREAUX, T.; JANEAU, J. L.; LAMBALLE, P.; NGUYEN, B. V.; JOUQUET, P. Influence of buffalo manure, compost, vermicompost and biochar amendments on bacterial and viral communities in soil and adjacent aquatic systems. **Applied Soil Ecology**, v. 73 p. 78– 86, 2014.
- DOMINGUES, R.R. *et al.* Properties of biochar derived from wood and high-nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits. **Plos One**, 12(5):1-19, 2017.

FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura). **Agricultura mundial: em direção a 2015/2030. Uma perspectiva da FAO**, 334-356, 2015.

FAOSTAT. Crops. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 20 de fev. 2021.

FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; ROCHA, M.M.; SILVA, K.J.D.; NOGUEIRA, M.S.R.; RODRIGUES, E.V. Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 84 p.

GWENZI W. et al. Comparative short-term effects of sewage sludge and its biochar on soil properties, maize growth and uptake of nutrients on a tropical clay soil in Zimbabwe. **Journal of Integrative Agriculture**, 15(6):1395-1406, 2016.

HAMMER, E.C.; BALOGH-BRUNSTAD, Z.; JAKOBSEN, I.; OLSSON, P.A.; STIPP, S.L.S.; RILLIG, M.C. A mycorrhizal fungus grows on biochar and captures phosphorus from its surfaces. **Soil Biology & Biochemistry**, 77, p.252-260. 2014.

LIMA, S. L *et al.* Balanço de energia e evapotranspiração de feijão caupi sob condições de sequeiro. **REVISTA CIÊNCIA AGRONÔMICA**, v. 42, p.65-74, 2011.

LORENZ; LAL, R. Biochar application to soil for climate change mitigation by soil organic carbon sequestration. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science.**, v.177, p. 651-670, 2014.

MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. Mudanças na fertilidade de um Neossolo Regalítico após seis anos de adubação orgânica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, p. 251-257, 2008.

NOVAK, J. M., CANTRELL, K. B., WATTS, D. W., BUSSCHER, W. J., AND JOHNSON, M. G. (2014). Designing relevant biochars as soil amendments using lignocellulosic-based and manure-based feedstocks. *J. Soil Sed.* 14, 330–343.

OLIVEIRA, N. C.; PASCHOAL, A. R.; PAULA, R. J.; CONSTANTINO, I. C.; BISINOTI, M. C.; MOREIRA, A. B.; FREGOLENTE, L. G.; SANTANA, A. M.; SOUSA, F. A.; FERREIRA, O .P; PAULA, A. J.; **GEODERMA** 2018, 311, 58.

PADILHA, K. M. *ET AL.*; Indicadores biológicos de dois solos com a incorporação de subproduto da agroindústria de café. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p. 1377-1386, 2014.

QIAN, L.; CHEN, B.; HU, D. Effective alleviation of aluminum phytotoxicity by manure-derived biochar. **Environmental Science & Technology**, 47(6):2737-2745, 2013.

RAJKOVICH, S. *et al.*. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. **Biology and Fertility of Soils**, 48(3):271-284, 2012.

RAWAL, V.; NAVARRO, D. K. *The Global Economy of Pulses*. Rome: FAO, 2019.

SHARASIA, P. L.; GARG, M. R.; BHANDERI, B. M. Pulses and their by-products as animal feed. Calles T.; Makkar, H. P. S. (eds.). Rome: FAO, 2017.

SILVA, I.C.B *et al.* Growth and production of common bean fertilized with biochar. **Ciência rural**, 47: 1-8, 2017.

SPOKAS, K. A.; BAKER, J.M.; REICOSKY, D.C. Ethylene: potential key for biochar amendment impacts. **Plant Soil**, 333(1-2):443-452, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3.ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2006. 722p.
TANG et al. Characteristics of biochar and its application in remediation of contaminated soil. **Journal of bioscience and bioengineering**, 116:653-659, 2013.

TEDESCO, M. J. *et al.* **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de solos, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. Brasília: Embrapa. Informação Tecnológica, Brasília: Embrapa, 2017.573p.

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**, 44:.e014620, 2020.

USEPA 3051- **Method 3050B: acid digestion of sediments, sludges, and soils**. Revision 2. Washington: Environmental Protection Agency, 1996. 12p. Available in: <<https://www.epa.gov/sites/productin/files/2015-06/documents/epa-3050b.pdf>>Acess in: June, 20, 2019.

VARMA, A.K., SHANKAR, R., MONDAL, P. A Review on Pyrolysis of Biomass and the Impacts of Operating Conditions on Product Yield, Quality, and Upgradation. Sarangi, P.K., Sonil, N., Pravakar, M., Recent Advancements in Biofuels and Bioenergy Utilization. Springer, In, pp. 227–259, 2018.

VIGER, M. *et al.* “More plant growth but less plant defence? First global gene expression data for plants grown in soil amended with biochar”. **Global Change Biology**, 7:(4)658-672, 2015.

WANG, Y.; XIAO, X.; CHEN, B. Biochar impacts on soil silicon dissolution kinetics and their interaction mechanisms. **Scientific Reports**, 8(1):1-11, 2018.

YUAN, J. H.; XU, R. K. Effects of biochars generated from crop residues on chemical properties of acid soils from tropical and subtropical China. **Soil Research**, 50:570-578, 2012.