

MUDANÇAS NA FERTILIDADE DE UM LATOSSOLO DE CERRADO E NA PRODUTIVIDADE DE FEIJOEIRO COMUM IRRIGADO PELO USO DE BIOMASSA CARBONIZADA

MELLISSA ANANIAS SOLER DA SILVA¹, BEÁTA EMÖKE MADARI², MÁRCIA THAIS DE MELO CARVALHO³

¹Engenheira Agrônoma, Pesquisadora, Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, mellissa.soler@embrapa.br; ²Engenheira Agrônoma, Pesquisadora, Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, beata.madari@embrapa.br; ³Engenheira Agrônoma, Pesquisadora, Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, marcia.carvalho@embrapa.br

RESUMO: Para manutenção da produtividade agrícola em solos tropicais são necessárias aplicações de elevadas quantidades de calcário e fertilizantes minerais. O sistema de produção de feijoeiro comum irrigado demanda uso intensivo de água e de N mineral (cerca de 245 kg ha⁻¹ ano⁻¹) para manter produtividades em torno de 3,5 t ha⁻¹ ano⁻¹. Práticas de manejo que visem à adição e fixação de C ao solo, melhorando sua qualidade química e física, podem diminuir a demanda por recursos externos para manter a produtividade de grãos. Por fixar C no solo e melhorar sua fertilidade, a biomassa carbonizada ou *biocarvão*, pode ser uma opção sustentável para manter e aumentar a produção de grãos com menor uso de recursos naturais e fertilizantes sintéticos. Biocarvão é um material obtido a partir da transformação da biomassa vegetal em carvão por combustão parcial em ambiente deficiente em oxigênio. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do biocarvão sobre as propriedades químicas do solo e a produtividade do feijoeiro comum irrigado em uma única safra conduzida imediatamente após a incorporação de biocarvão ao solo. Esse material foi incorporado na camada 0-20 cm em um Latossolo Vermelho no município de Santo Antônio de Goiás, GO, bioma Cerrado, em junho de 2009. O feijoeiro foi semeado sobre tratamentos oriundos da combinação entre 4 doses de N (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹), e 4 doses de biocarvão (0, 8, 16 e 32 Mg ha⁻¹). O uso do biocarvão aumentou o pH, apresentou efeito positivo sobre a MOS, Ca, CT e K e, efeito negativo sobre a disponibilidade de Al do solo. A interação entre biocarvão e fertilizante nitrogenado aumentou a produção de massa seca. O fertilizante nitrogenado mineral foi o fator mais importante na produtividade de grãos de feijoeiro no primeiro ano da aplicação. O biocarvão favoreceu o aumento significativo dos teores de Cu, Fe, P e Mn nos grãos de feijão.

PALAVRAS-CHAVE: Nitrogênio, C pirogênico, biochar, propriedades químicas do solo.

INTRODUÇÃO: Os Latossolos do cerrado brasileiro são, em geral, altamente intemperizados, com baixa fertilidade, baixos teores de matéria orgânica e elevados níveis de acidez. Na manutenção de sua fertilidade para o cultivo agrícola são necessárias, anualmente, aplicações de elevadas quantidades de calcário e fertilizante minerais. Os fertilizantes contendo nitrogênio sofrem transformações que podem modificar a disponibilidade de nitrato e amônio no solo e a produção de óxido nitroso em função do tipo de manejo, cultura e clima da região, o que pode causar a poluição ambiental quando da saída de N do sistema solo:cultura (Webb et al. 2000). Porém, a atividade agrícola pode também ser um reservatório de carbono por meio do sequestro de carbono na biomassa de plantas/micro-organismos e na matéria orgânica do solo (Johnson et al. 2007). Nesse sentido, o uso do carbono pirogênico ou biocarvão vem sendo explorado como opção tanto para melhorar a fertilidade do solo e aumentar a produtividade das culturas quanto para fixar carbono no solo. O biocarvão mais disponível no Brasil seria o resíduo (pedaços menores que 8 mm) da produção de carvão vegetal a partir de florestas plantadas de eucalipto. Esse biocarvão é composto basicamente por C, H e N, com uma estrutura aromática rica em grupos C-aryl, sendo altamente estável no solo (Madari et al. 2010, Petter et al. 2012). O uso de biocarvão como condicionador de solo nas culturas agrícolas comerciais poderia representar parte significativa no esforço em reduzir as emissões de CO₂. O uso de biocarvão como condicionador de solo nesse sistema poderia aumentar o uso eficiente de água e nitrogênio mineral mantendo sua alta produtividade de grãos. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de biocarvão sobre as propriedades químicas do solo e sobre a produtividade do feijoeiro comum irrigado em um Latossolo Vermelho distrófico no Cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi conduzido no município de Santo Antônio de Goiás, GO, na Fazenda Capivara, da Embrapa Arroz e Feijão, no bioma Cerrado. A localização geodésica é 16°28'00" S e 49°17'00" W Gr, e 823 m de altitude, em um Latossolo Vermelho distrófico, com textura (g kg^{-1}): argila (574), silte (100), e areia (326). O clima da região é do tipo Aw. A área experimental vinha sendo conduzida com um sistema de plantio direto com feijoeiro irrigado (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola no inverno, sucedido por milho (*Zea mays*) + braquiária (*Urochloa ruziziensis*) no verão há 6 anos. O biocarvão, um resíduo de carvão vegetal de *Eucalyptus* sp., foi moído para passar em peneira de 2 mm, espalhado manualmente sobre o solo e incorporado na camada de 0-20 cm com o uso de grade aradora antes da semeadura do feijão. Os tratamentos avaliados são: 4 doses de N (0, 30, 60 e 90 kg ha^{-1}), e 4 doses de biocarvão (0, 8, 16 e 32 Mg ha^{-1}), com 4 repetições em parcelas de 32 m^2 . A composição elementar do biocarvão é a seguinte: N: 9,6 g kg^{-1} ; P_2O_5 : 1,0 g kg^{-1} ; K_2O : 8,0 g kg^{-1} ; Ca: 16 g kg^{-1} ; Mg: 2,8 g kg^{-1} ; S: 1,0 g kg^{-1} ; Cu: 10 mg kg^{-1} ; Fe: 7200 mg kg^{-1} ; Mn: 240 mg kg^{-1} ; Zn: 20 mg kg^{-1} ; Mo: 10 mg kg^{-1} ; Co: 10 mg kg^{-1} ; B: 20 mg kg^{-1} ; CO: 35%; umidade: 75 g kg^{-1} ; material mineral: 205 g kg^{-1} e relação C:N: 43,5. A adubação de plantio foi realizada com a aplicação de 100 kg ha^{-1} da fórmula de NPK 5-15-20 para todos os tratamentos. O N restante foi fornecido na forma de ureia, em cobertura aos 25 dias após o plantio. A coleta de solo para análise das propriedades químicas foi realizada antes da instalação do experimento verificando-se a seguinte composição: pH: 5,13; P: 10,43 mg dm^{-3} ; K: 0,24 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; Ca: 1,59 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; Mg: 0,58 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; Al: 0,17 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; H+ Al: 4,82 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; V: 33,34%; CTC 7,23 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; MOS: 20 g dm^{-3} ; Fe: 60,33 mg dm^{-3} ; Mn: 9,67 mg dm^{-3} ; Zn: 11,43 mg dm^{-3} ; Cu: 1,80 mg dm^{-3} . As seguintes propriedades químicas do solo foram avaliadas no presente estudo: pH (Embrapa 2009); Fósforo foi determinado pelo método colorimétrico (Embrapa 2009), Cálcio e Mg foram determinados por espectrofotometria atômica e K por espectrometria de emissão de chama (Embrapa 2009). Alumínio de acordo com Embrapa (2009). A acidez potencial (H + Al) foi de acordo com Embrapa (2009). A capacidade de troca de cátions foi obtida através da soma de Ca, Mg e K (Embrapa 2009). A textura do solo foi com hidrômetro padrão com escala de Bouyoucos (Gee & Bauder 1996) e a textura foi identificada como argilosa. A quanti-

ficação do teor de C e N totais do solo foi obtida através do método Dumas (Nelson & Sommers 1996). A matéria orgânica do solo (SOM) foi determinada pelo método de Walkley-Black (Embrapa 2009) sem calor externo, usando ácido sulfúrico para criar calor interno para a ocorrência da reação. A massa seca de plantas foi obtida pela secagem das plantas em temperatura de 65 °C, por 72 horas (Embrapa 2009). A produtividade do feijoeiro foi quantificada por meio da colheita de duas linhas de três metros (2,7 m^2) por parcela. Nas análises estatísticas do presente estudo utilizaram-se modelos mistos para investigar possíveis funções, lineares ou quadráticas, entre os níveis dos efeitos de N e biocarvão e interação entre essas variáveis. A análise estatística foi realizada utilizando os pacotes NLME, LME e MuMIn do programa estatístico R (Team 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Devido às suas características particulares, que devem variar de acordo com o material de origem, o biocarvão pode promover alterações no pH do solo (Kookana et al. 2011b). Observou-se que com o aumento das doses de biocarvão aplicadas, houve aumento no pH do solo (Tabela 1) concordando com Kookana et al. (2011a). Esse incremento foi mantido mesmo com aumento nas doses de N, atenuando significativamente o efeito acidificante desse fertilizante mineral, especialmente quando a dose de 90 kg ha^{-1} de N foi aplicada. Observou-se redução também do Al trocável e da acidez potencial com uso de biocarvão, com efeito significativo da interação entre os fatores biocarvão \times N na redução do Al disponível (Tabela 1), mesmo com aumento das doses de N, concordando com Van Zwieten et al. (2010). A aplicação de biocarvão afetou a disponibilidade de cálcio nas condições experimentais estudadas (Tabela 1), com aumento significativo na concentração de Ca com o aumento das doses de carvão, concordando com Van Zwieten et al (2010), que observaram aumento das concentrações de Ca e Mg com aplicação de biocarvão. Nos tratamentos com aplicação de biocarvão, observou-se pequeno incremento nos níveis de MOS, com interação positiva entre N e biocarvão (Tabela 1). A aplicação de biocarvão aumentou significativamente os teores de K disponível no solo havendo diferença estatística, entre os valores observados na dose de 32 Mg ha^{-1} e as demais, dentro das doses de N avaliadas (Tabela 1). Esse aumento de K disponível tem sido observado em vários estudos, com diferentes fontes de biocarvão e tipos de solo (Madari et al.

2006, Oguntunde et al. 2004, Yao et al. 2009). O biocarvão favoreceu o aumento dos níveis de **matéria orgânica, com efeito positivo significativo** para a interação entre N e biocarvão. Observou-se também efeito positivo desse material sobre os teores totais de Carbono no solo, com efeito quadrático do biocarvão sobre esses teores (Tabela 1). **Verificou-se efeito positivo da interação** entre adubação nitrogenada e biocarvão sobre a produção de massa seca das plantas (Tabela 1), sendo que uma das hipóteses para isso seria o favorecimento do crescimento radicular em virtude do aumento do pH do solo, conforme relatado por Marimon Junior et al. (2012), em cultivo de mudas de jiló com uso de biochar associado à solo e outros resíduos orgânicos, bem como a diminuição nos teores de Al trocáveis, ressaltando mais um importante aspecto positivo do uso desse material. Embora o biocarvão apresente efeitos **benéficos sobre a fertilidade do solo, o efeito significativo positivo** ($R^2 = 0,84$) da adubação nitrogenada sobre a produtividade da cultura do feijoeiro é mais importante, especialmente nesse primeiro ano da utilização do carvão como condicionante do solo (Tabela 1). Os resultados relacionados à composição nutricional dos grãos do feijoeiro refletem e explicam, **em boa medida, alguns dos resultados obtidos nas análises de fertilidade de solo. As modificações no pH do solo geradas pelo biocarvão possivelmente favoreceram a absorção de quantidades e formas diferenciadas de alguns elementos. É interessante observar que, embora não tenha havido efeito significativo de biocarvão na disponibilidade de Cu, P, Fe e Mn no solo, houve aumento nas concentrações desses elementos nos grãos de feijão, com efeito significativo** (lineares e/ou quadráticos) do componente biocarvão nas equações de regressão (Tabela 1). De acordo com Dechen et al. (1991), esse efeito pode estar relacionado à exportação desses elementos pela cultura, já que há correlação positiva entre aumento na concentração de Mn, Cu e Fe no solo e redução de pH (Dechen et al. 1991) favorecido pelo uso de fertilizantes nitrogenados. Assim, pode ter havido maior mineralização desses elementos contidos no biocarvão, tornando-os disponíveis e possibilitando posterior exportação para os grãos. No caso do P, o processo pode ter se dado de forma diferente, isto é, segundo Ernani (2008), a **acidez do solo influencia a disponibilidade de P às plantas** porque ela afeta o desenvolvimento de raízes e a concentração de P na solução do solo. Assim, se houver restrição no crescimento radicular ocorrerá diminuição na

absorção de P pelas plantas, uma vez que o P é o nutriente com a mais baixa mobilidade no solo e, portanto, o mais dependente do crescimento das raízes (Ernani 2008). Com o incremento na produção de massa seca favorecido pela adubação nitrogenada, é admissível que também tenha havido maior crescimento radicular, aumentando assim a absorção do fósforo (Tabela 1, R^2 : 0,53), especialmente nas parcelas com biocarvão, resultando em grãos com mais elevada concentração de P (Tabela 1, R^2 : 0,96). A adubação nitrogenada afetou a concentração de Zn nos grãos do feijoeiro, **com efeito linear positivo, embora não significativo** estatisticamente (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos e teor de matéria orgânica do solo, composição química, produção de massa seca e produtividade de grãos de feijoeiro comum irrigado sob diferentes doses de biocarvão e N mineral, inverno 2009, em Santo Antônio de Goiás, GO.

Parâmetro	Solo (0-20 cm)	R ² (m) ¹	R ² (c)
pH	4.8-0.01N* + 0.01char*	0.55	0.88
Al	0.21+0.005N*-0.003char-0.00009Nchar*	0.52	0.96
H+Al	5.41+0.02N*-0.02char*	0.41	0.77
Ca	1.23-0.02N+0.008char*+0.0002N ² *	0.18	0.95
Mg	0.43-0.0062N*-0.002char+0.00006N ² *+0.0002char ² *-0.00004Nchar	0.67	0.92
P	12.87-0.13N+0.002N ² *	0.25	0.53
K	95.07-0.51N*+2.16char*	0.60	0.69
Cu	1.93-0.006N-0.007char+0.00005N ² +0.00007char ² +0.00005Nchar	0.56	0.86
Zn	11.82-0.09N-0.14char+0.0008N ² +0.003char ² +0.0006Nchar	0.69	0.89
Fe	55.51-0.41N*-0.22char+0.004N ² *+0.009char ² -0.0009Nchar	0.90	0.90
Mn	8.75-0.10N*+0.04char+0.001N ² *+0.0007char ² -0.00006Nchar	0.79	0.87
CT	20.3+0.05char*-0.0001char ² *	0.65	0.74
SOM	20.23-0.04N+0.05char+0.0003N ² -0.00char ² *+0.0007Nchar*	0.45	0.83
Parâmetro	Plantas	R² (m)	R² (c)
MST	24.75+0.13N*-0.83char*+0.02char ² *+0.005Nchar*	0.56	0.81
Prod	2595.28+67.63N*-0.36N ² *	0.79	0.84
Parâmetro	Grãos	R² (m)	R² (c)
Ca	2.19-0.003N	0.11	0.91
Cu	8.76+0.14char*-0.0036char ² *	0.14	0.93
Fe	13.17+0.37char*-0.01char ² *	0.18	0.95
K	6.37-0.01N-0.03char+0.0002N ² +0.001char ² -0.0002Nchar	0.11	0.99
Mg	2.24+0.0005N-0.003char-0.00004N ² +0.00009char ² +0.00001Nchar	0.02	0.99
Mn	13.17+0.37char*-0.01char ² *	0.18	0.95
P	5.02-0.0097N*+0.04char*-0.0008char ² *	0.59	0.96
Zn	41.63+0.06N+0.16char-0.0008N ² -0.005char ² +0.001Nchar	0.04	0.93

¹ R²(m): Variação explicada pelos fatores fixos; R²(c): Variação explicada pelos fatores fixos + aleatórios; N: Fertilizante nitrogenado; char: Biocarvão; CT: Carbono Total; SOM: Matéria Orgânica do Solo; MST: Matéria Seca Total; Prod: Produtividade.

CONCLUSÕES: O uso do biocarvão aumentou o pH, apresentou efeito positivo sobre a MOS, CT, Ca e K e, efeito negativo sobre a disponibilidade de Al do solo. A interação entre fertilizantes mineral e biocarvão favoreceu a produção de massa seca pelas plantas de feijoeiro. O fertilizante nitrogenado foi o fator mais importante na produtividade de grãos de feijoeiro no primeiro ano da aplicação. O biocarvão permitiu o aumento do teor de Cu, Fe, P

e Mn nos grãos de feijão, favorecendo seu enriquecimento, principalmente, em micronutrientes. Estudos relacionados aos efeitos do uso desse material ainda se fazem necessários, especialmente com a finalidade de avaliar a evolução nas modificações químicas e físicas do biocarvão e suas implicações na agricultura de regiões tropicais.

AGRADECIMENTOS: CNPq; Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes; Embrapa Arroz e Feijão.

REFERÊNCIAS

Dechen AR, Haag HP, Carmello QAC (1991): Mecanismos de absorção e de translocação de micronutrientes. In: Ferreira ME, Cruz MCP (Editors), Micronutrientes na agricultura. POTAFOS/CNPq, Piracicaba, SP, pp. 79-97.

Embrapa (2009): Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa Informação Tecnológica, 627 p.

Ernani PR (2008): Química do solo e disponibilidade de nutrientes. Autor, Lages, SC, 230 p.

Gee GW, Bauder JW (1996): Particle-size Analysis. In: Sparks DL (Editor), Methods of soil analysis: Chemical Methods (part 3). book series nº 5. SSSA, Madison, Wisconsin, p. 383-411.

Johnson JMF, Franzluebbers AJ, Weyers SL, Reicosky DC (2007): Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. Environmental Pollution, 107-124.

Kookana RS, Sarmah AK, Van Zwieten L, Krull E, Singh B (2011a): Chapter three - Biochar Application to Soil: Agronomic and Environmental Benefits and Unintended Consequences. In: Donald LS (Editor), Advances in Agronomy. Academic Press, pp. 103-143.

Kookana RS, Sarmah AK, Van Zwieten L, Krull E, Singh B (2011b): Biochar Application to Soil: Agronomic and Environmental Benefits and Unintended Consequences. Advances in Agronomy 112, 103-143.

Madari BE, Costa AR, Castro LM, Santos JLS, Benites VM, Rocha AO, Machado PLOA (2006): Carvão vegetal como condicionador de solo para arroz de terras altas (cultivar Primavera): um estudo prospectivo, Comunicado Técnico. Embrapa Arroz e Feijão: Comunicado Técnico, p. 2.

Madari BE, Petter FA, Carvalho MTM, Machado DM, Silva OM, Freitas FC, Otoni RF (2010): Biomassa carbonizada como condicionante de solo para a cultura do arroz de terras altas, em solo arenoso, no cerrado: efeito imediato para a fertilidade do solo e produtividade das plantas. In: Feijão EAe (Hrsg.). Embrapa Arroz e Feijão: Comunicado Técnico, p. 8.

Marimon Junior BH, Petter FA, Andrade FR, Madari BE, Marimon BS, Schossler TR, Gonçalves LG, Belém R (2012): **Produção de mudas de jiló em substrato condicionado com Biochar.** 3, 108-114.

Nelson DW, Sommers LE (1996): Total carbon, organic carbon and organic matter, Methods of Soil Analysis: Chemical Methods (part 3). SSSA, Madison, Wisconsin, pp. 961-1010.

Oguntunde PG, Fosu M, Ajayi aE, Giesen Nv (2004): **Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil.** Biol Fertil Soils, 295-299.

Petter FA, Madari BE, da Silva MAS, Carneiro MAC, Carvalho MTD, Marimon B, Pacheco LP (2012): Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira 47, 699-706.

Team RC (2013): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Van Zwieten L, Kimber S, Morris S, Chan YK, Downie A, Rust J, Joseph S, Cowie A (2010): **Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility.** Plant and Soil 327, 235-246.

Webb J, Harrison R, Ellis S (2000): **Nitrogen fluxes in three arable soils in the UK.** European Journal of Agronomy, 207-223.

Yao FX, Arbestain MC, Virgel S, Blanco F., Arostegui J, Macia-Agullo JA, Macias F (2009): **Simulated geochemical weathering of a mineral ash-rich biochar in a modified Soxhlet reactor.** Chemosphere 80, 724-732.

