ARTIGO ORIGINAL

Eduardo Pradi Vendruscolo^{1*}
Aguinaldo José Freitas Leal²
Marlene Cristina Alves³
Epitácio José de Souza³
Sebastião Nilce Souto Filho³

Atributos químicos de solo degradado em função da adoção de biochar, culturas de cobertura e residual da aplicação de lodo de esgoto

Chemical attributes of land degraded due to the adoption of biochar, cover crops and residual of sewage sludge application

¹ Universidade Federal de Goiás – UFG, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Avenida Esperança, s/n, Campus Samambaia, 74690-900, Goiânia, GO, Brasil

² Universidade Federal do Triângulo Mineiro – UFTM, Campus Iturama, Av. Rio Paranaíba, 1229, 38280-000, Iturama, MG, Brasil

³ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Avenida Brasil Sul, 56, Centro, 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil

*Autor Correspondente:

E-mail: agrovendruscolo@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE

Biofertilizante
Área de empréstimo
Resíduos agroindustriais

KEYWORDS

Biofertilizer
Borrow area
Agro-industrial waste

RESUMO: O presente trabalho teve como objetivo avaliar as alterações nos atributos químicos do solo promovidas por adição do biochar, pela adoção de culturas de cobertura e pelo residual da aplicação de lodo de esgoto em área com solo em processo de recuperação após remoção da camada superficial. O delineamento adotado foi definido em blocos casualizados, em esquema fatorial 6×2 , seis tratamentos (T1 – Solo exposto; T2 – Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) + biochar; T3 – Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) + crotalária (*Crotalaria juncea*) + biochar; T4 – Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) + feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); T5 – Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) + lodo de esgoto (60 t ha^{-1}) + *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens*; T6 – Mata nativa de Cerrado) e duas épocas de coleta de solo. O solo foi amostrado em três camadas (0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m), nas quais foram determinados os teores de P, K, Ca, Mg e Al e os valores de pH, H+Al, SB, CTC, V% e m%. Houve acréscimo nos teores de K na camada de 0,05-0,10 m em função da aplicação do biochar, o qual não apresentou influência sobre as demais variáveis estudadas. A aplicação de lodo de esgoto em solo degradado e o manejo dessa área com braquiária propiciam aumento no teor de fósforo no solo.

ABSTRACT: This study aimed to evaluate changes in the chemical attributes of the soil promoted by the addition of biochar and sewage sludge in land degraded by removal of the top layer; currently under recovery with cover crops and residual from the application of sewage sludge. The study design was set in randomized blocks with 6×2 factorial and six treatments (T1 – Exposed soil; T2 – Goncalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) + biochar; T3 – Goncalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) + (*Crotalaria juncea*) + biochar; T4 – Goncalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) + jack bean (*Canavalia ensiformis*); T5 – Goncalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) + sewage sludge (60 t ha^{-1}) + *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens*; T6 – Cerrado Native Forest) and two seasons of soil collection. Soil samples were collected in three layers (0.00-0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m), in which we determined the levels of P, K, Ca, Mg and Al, as well as levels of pH, Al+H, SB, CTC, m%, and V%. An increase was found in K content in the layer of 0.05-0.10 m due to the application of biochar, which had no effect on the other variables. The application of sewage sludge on degraded soil and the management of this area with brachiaria favors increase in the phosphorus content of the soil.

Recebido: 12 out. 2015

Aceito: 09 dez. 2016

1 Introdução

A destinação correta de resíduos da agroindústria é um assunto amplamente discutido em razão da grande quantidade de rejeitos produzidos no território brasileiro, resultado da expansão do setor e de sua capacidade de influenciar negativamente a qualidade de solos e recursos hídricos quando mal manejados.

Há grande interesse na utilização de resíduos da agroindústria para o aumento da produtividade agrícola, utilizando-os como biofertilizantes ou condicionadores dos atributos físicos e químicos dos solos (Dim et al., 2010; Fravet et al., 2010; Moraes et al., 2012). Essa mesma aplicabilidade pode ser direcionada para a recuperação de áreas em que o solo foi degradado por atividades antrópicas (Modesto et al., 2009).

Dentre os resíduos gerados pela atividade agroindustrial, a cama de aviário é considerada importante fonte de adubação orgânica e é comumente usada como fertilizante em regiões em que há concentração da produção aviária, por apresentar elevados teores de carbono (Adeli et al., 2007) e nutrientes (Boateng et al., 2006; Adeli et al., 2007; Costa et al., 2009), combinados ao valor relativamente baixo em relação ao adubo mineral (Valadão et al., 2011).

Apesar dos benefícios que a utilização da cama de aviário propicia ao solo, buscam-se métodos para a otimização da aplicação desse produto, reduzindo o volume a ser aplicado, aumentando a disponibilidade de nutrientes e a manutenção da matéria orgânica por períodos longos no solo, o que não ocorre em grande parte dos ambientes do território brasileiro devido a condições edafoclimáticas.

O emprego do tratamento por pirólise rápida da cama de aviário tem como um de seus produtos o biochar. Esse apresenta alto teor de carbono, além de quantidades consideráveis de N, P, K e S e uma grande área superficial, expandida por consequência da queima, a qual aumenta a microporosidade do produto final (Madari et al., 2009).

O biochar possui uma gama bastante grande de aplicações – incluindo sua incorporação como biofertilizante – na melhoria das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo. Apresenta estabilidade elevada, a qual confere ao produto característica de abrigo para micro-organismos do solo e de sequestrador de carbono, impedindo as emissões de carbono para a atmosfera (Nóbrega, 2011).

No Brasil, estudos relacionados à utilização e à produção do biochar são escassos. O incentivo do emprego dessa técnica de tratamento de resíduos pode colaborar com a diminuição dos volumes de rejeitos que são, muitas vezes, armazenados de forma incorreta, acarretando degradação ambiental. Adicionalmente, gera um produto com manejo facilitado e que pode voltar ao campo na forma de fertilizante.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as alterações nos atributos químicos do solo promovidas por adição do biochar, pela adoção de culturas de cobertura e pelo residual da aplicação de lodo de esgoto em área com solo em processo de recuperação após remoção da camada superficial para construção de usina hidrelétrica.

2 Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em uma área inserida no Planalto da Bacia Sedimentar do Rio Paraná, situada à margem direita desse, no município de Selvíria, MS (20°22'40"S, 51°24'41,90"W e altitude média de 338 m). O tipo climático, segundo Köppen,

é Aw, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O relevo local é plano a suavemente ondulado, apresentando declives muito suaves (Demattê, 1980).

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, muito profundo e com textura média (200-350 kg g⁻¹ de argila). A sua fração argila é de baixa atividade, dominada essencialmente por gibbsita e caulinita (Demattê, 1980; Santos et al., 2013).

A degradação da área onde o experimento foi instalado se deu com a retirada das camadas superficiais (cerca de 8,60 m) para terraplanagem e fundação da barragem da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira. Por ter ficado com o subsolo do local exposto, essa área recebe a denominação “área de empréstimo”. No início das atividades de pesquisa, constatou-se que o referido subsolo estava exposto desde 1969, demonstrando, dessa forma, compactação superficial e baixa presença de vegetação espontânea (Alves & Souza, 2011). O início das atividades para a recuperação do solo se deu em 2004, quando foi realizada a sua caracterização química (Tabela 1).

O preparo da área foi efetivado em 2004, realizando-se a limpeza superficial, subsolagem e gradagens (aradora e niveladora). Também nesse ano foi realizada uma única calagem, na dose de 2,0 t ha⁻¹, e em seguida uma gradagem para incorporação, exceto no tratamento com solo exposto, que não passou por nenhum tipo de manejo. Em seguida o lodo de esgoto foi adicionado, numa dose de 60 t ha⁻¹.

A aplicação do lodo de esgoto teve como principal objetivo a adição de material orgânico no solo. Proveniente de efluentes residenciais, esse lodo não apresentou problemas relativos a metais pesados, podendo ser aplicado sem consequências negativas ao ambiente (Tabela 2) (Suzuki & Alves, 2005). Assim sendo, o lodo de esgoto foi aplicado manualmente sobre o solo, sendo, logo depois, incorporado por meio de uma gradagem.

Todos os tratamentos para recuperação do solo valeram-se de espécie arbórea nativa de Cerrado, a Gonçalves-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott). Essa espécie arbórea nativa foi implantada com espaçamento de 3 × 2 m, totalizando 25 plantas por parcela experimental. Cada parcela constituiu área de 92 m² (8 × 12 m), em 2004.

Também em 2004 foram semeadas plantas de cobertura para a composição dos tratamentos. Foram semeadas as culturas: braquiária [*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens*], utilizando-se 20 kg ha⁻¹ de sementes; crotalária (*Crotalaria juncea*), cultivada em densidade de 35 sementes por metro, espaçadas em 0,50 m; e o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), em espaçamento de 0,50 m entrelinhas com 10 sementes por metro. Anualmente foi realizada a semeadura da crotalária e do feijão-de-porco, os quais foram roçados em pleno florescimento, enquanto a braquiária foi manejada por roçagem uma vez ao ano, sem que fosse feita incorporação dos restos vegetais ao solo.

Em novembro de 2013 foi adicionado o biochar aos tratamentos estabelecidos no ano de 2004. Esse foi aplicado na forma de coroamento em torno de nove plantas de *Astronium fraxinifolium* Schott escolhidas aleatoriamente em cada parcela, a 30 cm de distância da base do caule, incorporado à profundidade de 20 cm no solo. A Tabela 3 resume as proporções relativas no biochar utilizado no presente estudo, obtido pela pirólise (queima em altas temperaturas e baixos níveis de oxigênio) da cama de aviário.

Tabela 1. Características químicas de solo original (Cerrado) e degradado antes da implantação da pesquisa, em Selvíria, MS, 2004.**Table 1.** Chemical characteristics of the original soil (Cerrado) and degraded before the implementation of research, Selvíria – MS, 2004.

Profundidade	P resina	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V
(m)	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	-----mmol _e dm ⁻³ -----							%
Solo original (Cerrado)											
0,00-0,05	4,0	28,0	4,2	1,2	2,0	3,0	31,0	8,0	6,1	36,9	16
0,05-0,10	4,0	14,0	4,1	1,2	5,0	4,0	31,0	8,0	11,1	41,7	21
0,10-0,20	2,0	10,0	4,1	0,8	0,0	2,0	26,0	8,0	2,8	29,0	10
Solo degradado											
0,00-0,05	1,0	7,0	4,4	0,8	4,0	2,0	17,0	2,0	6,5	23,3	28
0,05-0,10	1,0	3,0	4,4	0,4	3,0	2,0	17,0	2,0	4,6	21,4	22
0,10-0,20	1,0	2,0	4,3	0,3	2,0	2,0	16,0	3,0	3,7	19,6	18

Tabela 2. Caracterização química do lodo de esgoto utilizado, em Selvíria, MS, 2004.**Table 2.** Chemical characterization of sewage sludge. Selvíria – MS, 2004.

MO	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Umidade	C/N
%	-----g kg ⁻¹ -----						-----mg kg ⁻¹ -----					kg kg ⁻¹	
20	71	19	15	11	3	8	16	160	961	116	583	0,85	7/1

Tabela 3. Composição química de biochar.**Table 3.** Chemical composition of biochar.

Parâmetro	Unidade	Resultado
pH (em água 1:10)	-----	8,7
Umidade, a 60-65 °C	% (m/m)	2,4
C orgânico	g de C kg ⁻¹	725
Nitrogênio Kjeldahl	g de C kg ⁻¹	2,5
Relação C/N	-----	290
Arsênio	mg de As kg ⁻¹	<1,0
Boro	mg de B kg ⁻¹	20
Cádmio	mg de Cd kg ⁻¹	3,8
Cálcio	g de Ca kg ⁻¹	7,1
Chumbo	mg de Pb kg ⁻¹	5,9
Cobre	mg de Cu kg ⁻¹	170
Cromo total	mg de Cr kg ⁻¹	120
Enxofre	g de S kg ⁻¹	32,7
Ferro	mg de Fe kg ⁻¹	47254
Fósforo	g de P kg ⁻¹	0,54
Magnésio	g de Mg kg ⁻¹	1
Manganês	mg de Mn kg ⁻¹	628
Mercúrio	mg de Hg kg ⁻¹	<1,0
Níquel	mg de Ni kg ⁻¹	167
Selênio	mg de Se kg ⁻¹	<1,0
Zinco	mg de Zn kg ⁻¹	44
Potássio	mg de K kg ⁻¹	5888

O novo delineamento foi estabelecido em blocos casualizados, num esquema fatorial 6 x 2, compostos por seis tratamentos e duas épocas de coleta de solo, a primeira, anteriormente à aplicação do biochar e a segunda, seis meses após a adição de 15 t ha⁻¹ do biochar (Época 1 e Época 2) aos tratamentos implantados em 2004, com exceção da vegetação natural de Cerrado e solo exposto, em quatro repetições.

A composição dos tratamentos foram: T1 – Solo exposto; T2 – Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) (GA) + biochar; T3 – Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium*

Schott) + crotalária (*Crotalaria juncea*) (CR) + biochar; T4 – Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) + feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) (FP); T5 – Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) + lodo de esgoto (60 t ha⁻¹) (LE) + *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens* (BR); T6 – Mata nativa de Cerrado.

Para as análises químicas do solo foram coletadas amostras das camadas de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, em três pontos por parcela, antes e após a aplicação de biochar, formando amostras compostas. Utilizando-se o método de extração com resina trocadora de íons (Raij et al., 2001), foram determinados os teores de fósforo, potássio, magnésio, cálcio e alumínio dessas amostras. Em seguida foram calculadas as somas de bases (SB = Ca + Mg + K), capacidade de troca catiônica [CTC = SB + (H + Al)] e saturação por bases [V% = (100 x SB) / CTC]. O teor de matéria orgânica do solo (MOS) foi determinado conforme a metodologia da Embrapa (1997).

Os dados resultantes das coletas foram investigados efetuando-se análise de variância e teste de Tukey para as comparações entre médias. O nível de significância utilizado foi de 5%.

3 Resultados e Discussão

Houve interação significativa entre tratamentos e épocas de coleta de solo (antes e após a aplicação de biochar) para os teores de K na camada de 0,05-0,10 m. Para as demais camadas de profundidade foram verificadas diferenças entre os tratamentos ou entre as épocas de coleta (Tabela 4).

O efeito obtido se deve à aplicação do biochar, incorporado na camada até 0,20 m, pois o mesmo possui, em sua composição química, consideráveis teores de K. Entretanto, apesar do aumento, os teores desse elemento no solo continuaram baixos (Sousa & Lobato, 2004), não favorecendo o desenvolvimento vegetal. O residual da aplicação de lodo de esgoto na recuperação da área degradada e o manejo desse solo com a braquiária influenciaram os atributos químicos do solo avaliado nove anos

depois. Além de incrementar os teores de fósforo no tratamento GA + BR + LE, a aplicação de lodo de esgoto destacou-se dos demais tratamentos para todas as camadas de solo estudadas (Tabela 5). Esse resultado se deve à alta concentração de P presente no lodo de esgoto, o qual foi aplicado na implantação do experimento (2004).

No entanto, o fósforo aplicado na forma orgânica, presente na composição do lodo de esgoto, pode apresentar alta resiliência devido a decomposição da MO do resíduo e a consequente adsorção do nutriente à fase mineral do solo. Essa transição resulta na indisponibilidade parcial ou total do fósforo para as plantas. Há culturas que conseguem converter o fósforo não lábil através da dissolução dos colóides do solo pela exsudação de

ácidos orgânicos e consequente solubilização do fósforo para a solução do solo, como ocorre com a braquiária (Corrêa et al., 2004), o que resulta nos maiores teores verificados.

Para os teores de Ca, de uma maneira geral, os tratamentos GA, GA + FP e GA + CR destacam-se com relação às duas testemunhas e ao tratamento GA + BR + LE (Tabela 6). Esse resultado era esperado devido à aplicação e incorporação do calcário (2,0 t ha⁻¹) nesses tratamentos, no início do experimento de recuperação.

O menor teor de Ca encontrado no tratamento GA + BR + LE pode ser consequência da retirada e acúmulo desse nutriente pela braquiária, estando o mesmo presente na área, mas formando compostos orgânicos, portanto, não disponível. Segundo Bianco et al. (2005), o Ca é o terceiro elemento mais requerido pela planta de braquiária, ficando atrás apenas do K e do N, sendo os principais órgãos de acúmulo folhas, raízes, caules e colmos.

A aplicação do calcário também foi responsável pela diminuição da H+Al, dos teores de Al e dos valores de m (%), e pelo aumento do V (%) e do pH, que seguiram a mesma tendência dos teores de Ca (Tabelas 6, 7 e 8). A ocorrência desses eventos é de suma importância para o estabelecimento da vegetação na área, tendo em vista os efeitos maléficos do Al e da acidez sobre o desenvolvimento vegetal (Carvalho et al., 2007).

A calagem, segundo Natale et al. (2007), propicia o aumento do pH, fornecimento de Ca e Mg para o solo, neutralização do Al trocável, alterações na CTC efetiva e na disponibilização de micronutrientes, podendo elevar os teores foliares de Ca e Mg. Outros estudos têm demonstrado que há correlações positivas entre pH e valores de P, Ca, Mg, K, SB, CTC e V% do solo, e negativas com a saturação de Al, que corresponde ao cátion trocável predominante em grande parte dos solos estudados (Abreu Júnior et al., 2003).

Tabela 4. Desdobramento da interação entre tratamentos e épocas de coleta para as médias dos teores de K, na camada 0,05-0,10 m, em Selvíria, MS, 2014.

Table 4. Breakdown of interaction between treatment and collection times for the average of the K, in the 0.05-0.10 m layer. Selvíria – MS, 2014.

Tratamentos	K (mmol _e dm ⁻³)	
	Época 1	Época 2
Solo degradado	0,43bcA	0,48bA
GA	0,28cB	0,63abA
GA+FP	0,55bB	0,75aA
GA+CR	0,48bcB	0,75aA
GA+BR+LE	0,40bcB	0,75aA
Cerrado	1,00aA	0,83aB
CV (%)	18,24	
Média geral	0,60	

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; GA + FP = Gonçalves-alves + Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA + CR = Gonçalves-alves + Crotalaria (*Crotalaria juncea*); GA + BR + LE = Gonçalves-alves + Braquiária + lodo de esgoto.

Tabela 5. Valores de F, valores médios de pH e teores médios de P e K nas camadas de 0,0-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m dos tratamentos e das épocas de coleta de solo, em Selvíria, MS, 2014.

Table 5. Values of F, average values of pH and concentration of P and K in the layers of 0.0-0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m of treatment and the seasons solo collection. Selvíria-MS, 2014.

Trat	pH (CaCl ₂)			P (mg dm ⁻³)			K (mmol _e dm ⁻³)		
				Profundidade (m)					
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20
Solo degradado	4,60b	4,60b	4,68b	1,50c	1,38c	1,25c	0,46c	0,45c	0,40b
GA	5,58a	5,58a	5,49a	1,63c	1,63c	1,75c	0,71bc	0,45c	0,34b
GA+FP	5,38a	5,38a	5,45a	1,88c	1,63c	1,75c	0,90b	0,65b	0,44b
GA+CR	5,48a	5,48a	5,68a	1,63c	1,63c	1,38c	0,85b	0,61bc	0,36b
GA+BR+LE	4,69b	4,69b	4,75b	31,25a	23,38a	14,38a	0,85b	0,58bc	0,36b
Cerrado	4,45b	4,45b	4,33b	6,58b	4,67b	3,67b	1,32a	0,92a	0,78a
Época 1	4,99a	4,99a	5,05a	7,33a	5,58a	3,65b	0,82a	0,52b	0,35b
Época 2	5,05a	5,05a	5,07a	7,49a	5,85a	4,40a	0,90a	0,70a	0,54a
Teste F									
Trat	22,06*	18,84*	25,53*	1191,04*	364,19*	264,34*	9,67*	19,17*	29,03*
Ép	0,42 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,50 ^{ns}	8,43*	0,70 ^{ns}	30,31*	54,64 ^{ns}
Trat*Ép	0,35 ^{ns}	1,01 ^{ns}	1,19 ^{ns}	2,33 ^{ns}	0,44 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,18 ^{ns}	6,64*	1,91 ^{ns}
CV (%)	5,93	7,52	6,03	13,10	22,67	22,22	29,90	18,24	19,78
MG	5,02	5,12	5,06	7,41	5,72	4,03	0,85	0,61	0,45

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * e ns = significativo e não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, respectivamente; GA + FP = Gonçalves-alves + Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA + CR = Gonçalves-alves + Crotalaria (*Crotalaria juncea*); GA + BR + LE = Gonçalves-alves + Braquiária + lodo de esgoto.

Tabela 6. Valores de F e teor médio de Ca, de Mg e de H+Al nas camadas de 0,0-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m dos tratamentos e das épocas de coleta de solo, em Selvíria, MS, 2014.**Table 6.** Values of F and average contents of Ca, Mg and H + Al in the layers of 0.0-0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m of treatments and seasons solo collection. Selvíria – MS, 2014.

Trat	Ca (mmolc dm ⁻³)			Mg (mmolc dm ⁻³)			H+Al (mmolc dm ⁻³)		
	Profundidade (m)			Profundidade (m)			Profundidade (m)		
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20
Solo degradado	3,13b	4,38c	2,88b	1,63c	1,63c	1,25b	15,50c	14,75bc	14,13bc
GA	6,50a	6,63a	6,13a	3,88bc	3,88ab	2,75a	12,75c	11,88c	12,63c
GA+FP	7,13a	7,00a	5,50a	5,38ab	3,75ab	3,00a	14,13c	13,63c	12,88c
GA+CR	6,50a	6,13ab	5,75a	4,50abc	3,88ab	3,25a	13,63c	13,50c	12,88c
GA+BR+LE	6,13a	5,25bc	4,38ab	7,38a	4,38a	2,75a	27,38b	21,50b	17,00b
Cerrado	6,42a	1,63d	2,88a	5,71ab	2,67bc	2,50a	53,38a	37,33a	39,00a
Época 1	6,10a	5,08a	4,28a	5,21a	3,42a	2,54a	23,46a	19,10a	18,97a
Época 2	5,83a	5,25a	4,88a	4,28a	3,31a	2,63a	22,13a	18,43a	17,19b
Teste F									
Trat	4,19*	60,97*	11,02*	6,96*	7,46*	5,15*	370,24*	28,97*	126,15*
Ép	0,21 ^{ns}	0,65 ^{ns}	2,78 ^{ns}	2,40 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,11 ^{ns}	3,88 ^{ns}	0,21 ^{ns}	5,55*
Trat*Ép	0,77 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,62 ^{ns}	1,95 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,87 ^{ns}
CV (%)	33,1	13,87	27,11	43,83	31,43	33,83	10,28	27,15	14,45
MG	5,97	5,17	4,58	4,74	3,36	2,58	22,79	18,76	18,08

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * e ns = significativo e não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, respectivamente; GA + FP = Gonçalo-alves + Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA + CR = Gonçalo-alves + Crotalária (*Crotalaria juncea*); GA + BR + LE = Gonçalo-alves + Braquiária + lodo de esgoto.

Tabela 7. Valores de F, teor médio de Al e valor médio de SB e CTC nas camadas de 0,0-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m dos tratamentos e das épocas de coleta de solo, em Selvíria, MS, 2014.**Table 7.** F values, average contents of Al and average values of SB and CTC in layers of 0.0-0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m of treatment and the seasons solo collection. Selvíria – MS, 2014.

Trat	Al (mmolc dm ⁻³)			SB (mmolc dm ⁻³)			CTC (mmolc dm ⁻³)		
	Profundidade (m)			Profundidade (m)			Profundidade (m)		
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20
Solo degradado	4,25b	3,50b	5,25b	5,21b	5,50b	4,79b	20,71c	20,21c	18,91c
GA	0,00d	0,00c	0,13c	11,09a	10,96a	9,21a	23,84c	23,86c	21,84bc
GA+FP	0,13d	0,25c	0,13c	13,40a	10,30a	8,44a	27,53c	24,48c	21,31bc
GA+CR	0,13d	0,13c	0,00c	11,85a	10,58a	9,37a	25,48c	24,08c	22,24bc
GA+BR+LE	2,00c	2,50b	2,00c	14,35a	10,50a	7,49ab	38,23b	31,75b	24,49b
Cerrado	11,38a	11,42a	11,33a	12,45a	5,25b	5,55b	68,07a	51,32a	46,62a
Época 1	2,93a	2,83a	3,08a	12,12a	8,61a	7,17a	35,79a	29,32a	26,14a
Época 2	3,03a	3,10a	3,19a	10,66a	9,09a	7,78a	32,16a	29,25a	25,66a
Teste F									
Trat	106,28*	131,0*	212,78*	6,10*	29,86*	8,72*	105,25*	97,61*	113,70*
Ép	0,08 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,20 ^{ns}	1,88 ^{ns}	1,45 ^{ns}	1,29 ^{ns}	6,62*	0,01 ^{ns}	0,38 ^{ns}
Trat*Ép	0,09 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,74 ^{ns}	1,53 ^{ns}	0,57 ^{ns}	1,17 ^{ns}	1,58 ^{ns}	0,05 ^{ns}
CV (%)	40,82	36,54	27,75	32,55	15,80	24,60	14,39	11,18	10,55
MG	2,98	2,97	3,14	11,39	8,85	7,47	33,97	29,28	25,90

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * e ns = significativo e não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, respectivamente; GA + FP = Gonçalo-alves + Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA + CR = Gonçalo-alves + Crotalária (*Crotalaria juncea*); GA + BR + LE = Gonçalo-alves + Braquiária + lodo de esgoto.

Para os teores de matéria orgânica foi observada a superioridade da mata nativa de Cerrado sobre os demais tratamentos (Tabela 8). Isso muito se deve à grande produção de serrapilheira na mata nativa, a qual fornece grande quantidade de material orgânico ao solo, aumentando, consequente, as atividades biológicas de

decomposição e deslocamento desse material entre as camadas do perfil do solo.

Dentre os tratamentos implantados para a recuperação do solo destacou-se o GA + BR + LE (Tabela 8). A alta produtividade de biomassa vegetal da braquiária, tanto da parte aérea quanto

Tabela 8. Valores de F e teor médio de MO, V% e m% nas camadas de 0,0-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m dos tratamentos e das épocas de coleta de solo, em Selvíria, MS, 2014.**Table 8.** Values of F and average contents of MO, V% and m% in layers of 0.0-0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m of treatments and collection times of soil. Selvíria – MS, 2014.

Trat	MO (g dm ⁻³)			V (%)			m (%)		
				Profundidade (m)					
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20
Solo degradado	8,38c	7,88c	8,38bc	24,85c	29,75b	15,38c	66,50a	54,88b	57,63a
GA	9,13c	8,38c	7,88c	46,25ab	49,50a	41,75a	0,00d	0,00d	0,00c
GA+FP	10,75c	9,25c	8,25c	47,75a	44,25a	39,00a	1,00d	2,00d	0,00c
GA+CR	9,63c	9,13c	8,13c	46,25ab	44,00a	41,88a	1,00d	1,00d	0,00c
GA+BR+LE	17,50b	12,25b	9,50b	36,38b	33,13b	30,63b	27,25c	17,13c	20,63b
Cerrado	28,83a	21,25a	17,29a	17,79c	12,00c	11,58c	52,63b	70,71a	63,67a
Época 1	15,56a	11,88a	10,22a	36,26a	36,26a	29,03a	24,71a	24,44a	24,64a
Época 2	12,51b	10,83b	9,58b	36,83a	36,83a	31,04a	24,75a	24,17a	22,67a
Teste F									
Trat	82,49*	104,37*	170,49*	24,13*	76,32*	57,99*	457,90*	471,88*	195,32*
Ép	18,04*	6,58*	7,78*	0,07 ^{ns}	0,00 ^{ns}	1,93 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,06 ^{ns}	1,28 ^{ns}
Trat*Ép	1,71 ^{ns}	0,79 ^{ns}	1,59 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,44 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1,08 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,63 ^{ns}
CV (%)	17,68	12,39	8,01	19,95	12,50	16,72	15,61	16,54	25,51
MG	14,04	11,35	9,90	36,55	35,44	30,03	24,73	24,31	23,65

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * e ns = significativo e não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, respectivamente; GA + FP = Gonçalves-alves + Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA + CR = Gonçalves-alves + Crotalaria (*Crotalaria juncea*); GA + BR + LE = Gonçalves-alves + Braquiária + lodo de esgoto.

radicular, proporciona o aumento da atividade da macro e da microbiota edáfica. Silva et al. (2007), trabalhando com diferentes coberturas de solo, verificaram que há influência do tipo de cobertura sobre os atributos biológicos do solo, uma vez que são alterados fatores como umidade e temperatura do ambiente edáfico.

Na comparação entre as épocas de coleta para os tratamentos em todas as profundidades, observou-se, de modo geral, a diminuição dos teores de matéria orgânica (Tabela 8). Esse fato está, provavelmente, ligado às condições climáticas na época das coletas, pois a quantidade e a qualidade do material que se deposita no solo sofre efeito direto do tipo de vegetação e das condições ambientais, alterando a heterogeneidade da microbiota e a taxa de decomposição dos materiais (Moreira & Siqueira, 2002).

Assim, infere-se que, devido à segunda época de coleta ter sido realizada no período da seca, a falta de água interferiu nas atividades da macro e da microbiota edáfica, causando diminuição da velocidade de produção, decomposição e movimentação da serrapilheira nas camadas do solo e, consequentemente, dos teores de matéria orgânica nessas camadas.

Outro fator relevante para a diminuição da matéria orgânica foi a sazonalidade de oferta de substrato para a biota do solo. Com a roçagem das coberturas realizada ao final da estação chuvosa, estima-se que houve altas taxas de atividade biológica, resultando na mineralização desse substrato (Ferreira et al., 2007). Por fim, observa-se diminuição nos estoques de matéria orgânica, que continua a ser mineralizada, uma vez que não foram feitos novos aportes pela adição de material vegetal.

Os demais tratamentos, constituídos pela espécie nativa e sua combinação à crotalaria e ao feijão-de-porco, tiveram teor de matéria orgânica muito próximos ao do solo exposto

(Tabela 8). Esse resultado pode ser consequência da baixa quantidade de material fornecido pelos adubos verdes, os quais tiveram desenvolvimento de fitomassa muito abaixo do seu potencial, devido às condições edafoclimáticas.

Os atributos químicos do solo apresentaram pequena variação após 6 meses da aplicação de biochar, contrariando resultados obtidos em outros estudos, os quais apontam a eficiência do carvão vegetal no aumento da produção de biomassa das plantas, por meio da disponibilização, e no aumento de nutrientes no solo (Lehmann et al., 2003a, 2003b).

4 Conclusões

As características químicas de um solo degradado podem ser influenciadas positivamente em longo prazo com a introdução de lodo de esgoto e, em curto prazo, com a incorporação do biochar, aumentando a disponibilidade de nutrientes como o fósforo e o potássio. Dessa forma, destaca-se que essas práticas são passíveis de utilização visando a recuperação de áreas submetidas a degradação severa por atividades antrópicas.

Referências

- ABREU JÚNIOR, C. H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A. F. Relationship between acidity and chemical properties of Brazilian soils. *Scientia Agricola*, v. 60, n. 2, p. 337-343, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162003000200019>.
- ADELI, A.; SISTANI, K. R.; ROWE, D. E.; TEWOLDE, H. Effects of broiler litter applied to no-till and tillage cotton on selected soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, v. 71, n. 3, p. 974-983, 2007. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2006.0092>.

- ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. D. Recuperação do subsolo em área de empréstimo usada para construção de hidrelétrica. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 2, p. 301-309, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000200007>.
- BIANCO, S.; TONHÃO, M. A. R.; PITELLI, R. A. Crescimento e nutrição mineral de capim-braquiária. *Planta Daninha*, v. 23, n. 3, p. 423-428, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582005000300005>.
- BOATENG, S. A.; ZICKERMANN, J.; KORNAHRENS, M. Poultry manure effect on growth and yield of maize. *West African Journal of Applied Ecology*, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2006.
- CARVALHO, F. G.; BURITY, H. A.; SILVA, V. N.; SILVA, A. J. N. Efeito sazonal e de sistemas de manejo com pastagens de *Brachiaria decumbens* Stapf sobre as características químicas num Argissolo Vermelho Amarelo. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 29, n. 1, p. 1-7, 2007. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v29i1.57>.
- CORRÊA, J. C.; MAUAD, M.; ROSELEM, C. A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 12, p. 1231-1237, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004001200010>.
- COSTA, A. M.; BORGES, E. N.; SILVA, A. A.; NOLLA, A.; GUIMARÃES, E. C. Potencial de recuperação física de um Latossolo Vermelho, sob pastagem degradada, influenciado pela aplicação de cama de frango. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, v. 33, p. 1991-1998, 2009.
- DEMATTE, J. L. I. *Levantamento detalhado dos solos do "Campus Experimental de Ilha Solteira"*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1980. p. 11-31.
- DIM, V. P.; CASTRO, J. G. D.; ALEXANDRINO, E.; SANTOS, A. C. D.; SILVA NETO, S. P. Fertilidade do solo e produtividade de capim mombaça adubado com resíduos sólidos de frigorífico. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 11, n. 2, p. 303-316, 2010.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ, 1997. 212 p.
- FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; RAMOS, M. L. G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 6, p. 1625-1635, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000600038>.
- FRAVET, P. R. F.; SOARES, R. A. B.; LANA, R. M. Q.; LANA, A. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H. Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, n. 3, p. 618-624, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542010000300013>.
- LEHMANN, J.; SILVA, J. P.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, v. 249, n. 2, p. 343-357, 2003a.
- LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GERMAN, L. A.; MCCANN, J.; MARTINS, G. C.; MOREIRA, A. Soil fertility and production potential. In: LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, W. I. (Ed.). *Amazonian dark earths: origin, properties, management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003b. p. 105-124.
- MADARI, B. E.; CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V. M.; COELHO, M. R.; SANTOS, G. A. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (terra preta de índio). Suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: TEIXEIRA, W. G. *As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p. 172-188.
- MODESTO, P. T.; SCABORA, M. H.; COLODRO, G.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Alterações em algumas propriedades de um Latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 5, p. 1489-1498, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000500039>.
- MORAES, M. T.; SILVA, V. R.; ARNUTI, F. Resíduos líquidos de efluentes de agroindústria de carnes na produtividade do girassol. *Enciclopédia Biosfera*, v. 8, n. 14, p. 843-853, 2012.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2002. 625 p.
- NATALE, W.; PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M. Efeitos da calagem na fertilidade do solo e na nutrição e produtividade da goiabeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 6, p. 1475-1485, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000600024>.
- NÓBREGA, Í. P. C. *Efeitos do biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: sequestro de carbono no solo*. 2011. 46 f. Dissertação (Mestrado)-Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.
- RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: IAC, 2001.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.
- SILVA, M. B.; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M.; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 12, p. 1755-1761, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007001200013>.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. *Cerrado: correção do solo e adubação*. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2004. 416 p.
- SUZUKI, L. G. A. S.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um solo em recuperação tratado com diferentes fontes de matéria orgânica. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 6.; CONGRESSO LATINO-AMERICANO SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, Curitiba, 2005. *Anais...* Curitiba: UFPR, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 2005. p. 1-13.
- VALADÃO, C. A.; MAAS, K. D. B.; WEBER, O. L. S.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; SILVA, T. J. Variação nos atributos do solo em sistemas de manejo com adição de cama de frango. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 6, p. 2073-2082, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000600022>.

Contribuição dos autores: Eduardo Pradi Vendruscolo realizou o experimento e a escrita científica; Aguinaldo José Freitas Leal e Marlene Cristina Alves contribuíram com a escrita científica e com a revisão ortográfica e gramatical do trabalho; Eptácio José de Souza e Sebastião Nilce Souto Filho participaram da condução do experimento e contribuíram com a escrita científica.

Fonte de financiamento: FUNDECT - Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.