

EFEITOS DO BIOCHAR, CULTURAS DE COBERTURA E LODO DE ESGOTO NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

EDUARDO PRADI VENDRUSCOLO^{1*}, MARLENE CRISTINA ALVES²,
AGUINALDO JOSÉ FREITAS LEAL³, EPITÁCIO JOSÉ DE SOUZA², SEBASTIÃO NILCE SOUTO FILHO⁴

Recibido: 11/03/2017

Recibido con revisiones: 19/09/2017

Aceptado: 25/09/2017

RESUMO

O manejo incorreto dos solos culmina na formação de grandes áreas com reduzida capacidade de sustentação da vida. A recuperação dessas áreas possui elevada importância ecológica, social e econômica. Assim, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar os efeitos da adição do biochar a tratamentos pré-estabelecidos há 9 anos para a recuperação de um Latossolo Vermelho. O delineamento adotado foi definido em blocos casualizados, em esquema fatorial 6x2, seis tratamentos (T1 – Solo exposto; T2 - Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* S.) (GA); T3 - Gonçalo-alves + *Crotalaria júncea* L. (GA+CR); T4 - Gonçalo-alves + *Canavalia ensiformis* L. (GA+FP); T5 - Gonçalo-alves + lodo de esgoto (60 t ha⁻¹) + *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens* S. (GA+BR+LE); T6 – Mata nativa de Cerrado) e duas épocas de avaliação do solo, anteriormente e após a aplicação do biochar. Amostras de cada parcela foram coletadas em quatro profundidades (0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m), nas quais foram avaliadas as características de porosidade, densidade, infiltração e resistência à penetração do solo. A macroporosidade do solo, de modo geral, foi afetada nas camadas até 0,10 m de profundidade, onde todos os tratamentos, com exceção dos tratamentos GA+CR e GA+BR+LE na profundidade de 0,05-0,10 m, apresentaram-se estatisticamente superiores à área degradada original quando houve a aplicação do biochar. Portanto, em curto prazo, a aplicação do biochar aumenta a macroporosidade da camada superficial, pouco interferindo nas demais propriedades físicas do Latossolo Vermelho degradado. No entanto, os tratamentos com adubos verdes e lodo de esgoto resultam em melhoras significativas nas propriedades do solo estudadas.

Palavras chave: Área de empréstimo; adubação orgânica; resíduos agroindustriais, solo degradado, Latossolo Vermelho.

EFFECT OF BIOCHAR, COVER CROPS AND SEWAGE SLUDGE ON SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES

ABSTRACT

Improper soil management culminates in the formation of large areas with reduced life sustaining capacity. The recovery of these areas has high ecological, social and economic importance. The present work was developed with the objective of evaluating the effects of the addition of biochar to treatments previously established 9 years ago for the recovery of an Oxisol. The study design was set in a randomized block design with factorial 6x2, six treatments (T1 – Exposed soil, T2 – Goncalo-alves (*Astronium fraxinifolium* S.) (GA), T3 - Goncalo-alves + *Crotalaria júncea* L. (GA+CR), T4 - Goncalo-alves + *Canavalia ensiformis* L. (GA+FP); T5 - Goncalo-alves and sewage sludge (60 t ha⁻¹) + *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens* S. (GA+BR+LE); T6 - Native Cerrado Forest) and two periods of soil evaluation, before and after the application of biochar. Soil macroporosity in general, was affected in layers up to 0.10 m, where all treatments, except for GA+CR and GA+BR+LE treatments at a depth of 0.05-0.10 m, showed statistical superiority to the original degraded area when there was the application of biochar. Therefore, in the short term, the application of biochar increases the macroporosity in the surface layer, having little impact in other physical properties of a degraded Oxisol. However, treatments with green manures and sewage sludge resulted in significant improvements in the soil properties studied.

Key words: Borrow area; organic fertilizer; agro-industrial waste, degraded soil, Oxissol.

1 Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Avenida Esperança, s/n, Campus Samambaia, Goiânia, Goiás, Brasil, CEP: 74690-900.

2 Universidade Estadual Paulista, Escola de Engenharia, Avenida Brasil Sul, 56, Centro, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil, CEP: 15385-000.

3 Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Avenida Rio Paranaíba, 1229, Iturama, Minas Gerais, Brasil, CEP: 38280-000.

4 Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Rodovia Graziela Maciel Barroso, Km 12, 25 - Zona Rural, Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brasil, CEP: 79200-000.

* Autor de contacto: agrovendruscolo@gmail.com

INTRODUÇÃO

Mundialmente, mais de 35 milhões de km² apresentam solos degradados ou em processo de degradação. Essa área corresponde a aproximadamente 23,5 % da litosfera, afetando cerca de um bilhão e meio de pessoas (Bai et al., 2008). Deve-se destacar que grande parte dessa degradação ocorre em função do fator humano, principalmente da agricultura e construção civil.

A grande demanda por energia elétrica, combinada ao grande potencial hídrico do Brasil, torna a construção de hidroelétricas a principal forma de obtenção de energia. Conforme a Agência Nacional de Energia Elétrica (2013), o país tem 204 empreendimentos, os quais correspondem a 66 % do potencial instalado. Mesmo sendo essa uma alternativa tecnológica para produção de energia considerada ambientalmente mais vantajosa em relação às demais, a formação dos reservatórios implica a ocorrência de diversos impactos ao ambiente, atingindo elementos físicos, biológicos e socioeconômicos da região (CESP, 1998).

A busca pela recuperação de uma área degradada implicará o reestabelecimento das atividades relacionadas à melhoria da qualidade do solo. Tal ato consistirá em condições que favorecem a formação de um horizonte A. Esse será o promotor do processo que culminará no surgimento dos outros horizontes devido à alta atividade biológica, conforme o condicionamento natural (Kitamura et al., 2008). No entanto, este é um processo lento quando conduzido naturalmente, sem a introdução de técnicas para a aceleração da recuperação.

A incorporação de matéria orgânica e de carbono ao solo é essencial ao processo de recuperação de um solo degradado. Uma alternativa para aumentar o carbono do solo pode ser a adoção de uma fonte mais estável. Resultante da pirólise rápida de resíduos orgânicos, o biochar possui alto teor de carbono, além de conter quantidades consideráveis de N, P, S e uma grande área superficial. Esse material, de elevada estabilidade, fornece abrigo para os microrganismos edáficos e pode atuar como sequestrador de carbono, impedindo as emissões para a atmosfera (Nóbrega, 2011).

Em consequência ao potencial para a utilização do biochar, verifica-se constante elaboração de estudos relativos à sua produção e à utilização. A elaboração de técnicas voltadas ao tratamento de resíduos provenientes de diferentes processos agroindustriais pode culminar em melhor destinação a esses produtos, evitando-se a contaminação do ambiente devido a fatores de má gestão, tais como armazenamento inadequado. Em complemento, os produtos obtidos podem retornar ao sistema produtivo de forma a colaborar para os aumentos dos estoques nutricionais do solo (Vendruscolo et al., 2016), manutenção da atividade biológica (Lehmann et al., 2011) e, devido a sua estrutura, propiciar alterações nas propriedades físicas (Hardie et al., 2014).

Tendo em vista a importância do disposto anteriormente, e no sentido de buscar alternativas viáveis para recuperar essas áreas, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar os efeitos, em curto prazo, da adição do biochar a tratamentos pré-estabelecidos há 9 anos para a recuperação de um Latossolo Vermelho.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em uma área inserida no Planalto da Bacia Sedimentar do rio Paraná, situada à margem direita do rio Paraná, no município de Selvíria, estado de Mato Grosso do Sul, Brasil (20°22'40"S, 51°24' 41,90"W e altitude média de 338 m). O tipo climático caracterizado como Aw, tropical úmido, chuvoso no verão e seco no inverno, segundo a classificação de Köppen (Kitamura et al., 2008). O relevo local é plano a suavemente ondulado, apresentando declives muito suaves (Demattê, 1980).

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho, muito profundo e com textura média (20-35% 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 de uma camada com cerca de 8,60 m para terraplanagem e fundação da barragem da usina hidroelétrica de Ilha Solteira, expondo assim o subsolo do local, esta

área recebe a denominação de “área de empréstimo”. Este subsolo, no início das atividades de pesquisa, estava exposto desde 1969 demonstrando 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 caracterização física do solo na camada de 0,00-0,20 m, obtendo as seguintes características: Em solo original de cerrado a média de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo foi de 17%, 23%, 40% e 1,45 kg dm⁻³, respectivamente, enquanto no solo presente na área de empréstimo, para essas mesmas variáveis foram observadas médias de 6%, 28%, 34% e 1,73 kg dm⁻³, respectivamente.

Em 2004 constaram do preparo da área, limpeza superficial, subsolagem e gradagens (aradora e niveladora). Também neste 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.

Os tratamentos para recuperação são compostos por uma espécie arbórea nativa de cerrado, a Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* S.), a qual foi implantada no ano de 2004 em espaçamento de 3 m x 2 m, totalizando 25 plantas por parcela experimental (150 m²). Nessa mesma época realizou-se a semeadura de braquiária (*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens* S.), utilizando-se 20 kg ha⁻¹ de sementes, crotalária (*Crotalaria júncea* L.), cultivada em densidade de sementes, a 35 sementes por metro, espaçadas em 0,50 m e o feijão-de-porco, (*Canavalia ensiformis* L.) 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 incorporação dos restos vegetais ao solo.

O delineamento para a continuidade da pesquisa foi em blocos casualizados, num esquema fatorial 6 x 2, representado pelos seis tratamentos e a duas épocas de coleta de solo, anteriormente a aplicação do biochar e seis meses após a adição do biochar (15 t ha⁻¹) aos tratamentos implanta-

dos no ano de 2004, com exceção da vegetação natural de Cerrado e solo exposto.

A composição dos tratamentos, anteriormente à aplicação do biochar, foi assim definida: T1 – Solo exposto; T2 - Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* S.) (GA); T3 - Gonçalo-alves + crotalária (*Crotalaria júncea* L.) (GA+CR); T4 - Gonçalo-alves + feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* L.) (GA+FP); T5 - Gonçalo-alves + braquiária (*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens* S.) + lodo de esgoto (60 t ha⁻¹) (GA+BR+LE); T6 – Mata nativa de Cerrado.

O biochar foi obtido pela pirólise (queima em altas temperaturas e baixos níveis de oxigênio) da cama de aviário e teve sua composição previamente analisada por análise laboratorial para obtenção das características (**Tabela 1**). Este foi aplicado na forma de coroamento em torno de nove plantas de Gonçalo-alves escolhidas aleatoriamente em cada parcela, a 30 cm de distância da base do caule e incorporado à profundidade de 20 cm no solo.

Tabela 1. Composição química de biochar.

Table 1. 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

Para as análises dos atributos físicos do solo foram coletadas amostras indeformadas das profundidades de 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, em três pontos por parcela, sobre o sulco de aplicação do biochar, para a determinação da macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, seguindo-se processadas segundo metodologia descrita pela Embrapa (1997).

A infiltração de água no solo foi avaliada sobre o sulco de aplicação do biochar e fora deste sulco, empregando-se a metodologia proposta por Zhang (1997), onde se utilizou um mini infiltrômetro de disco (Decagon Devices®). Para verificação da resistência do solo à penetração foi utilizando penetrômetro eletrônico (FALKER PenetroLOG), com aptidão eletrônica para aquisição de dados. O penetrômetro foi configurado para registrar leituras a cada 0,01 m de incremento de profundidade até 0,40 m. Juntamente com os testes de resistência, foram coletadas amostras de solo para a determinação da sua umidade a base de massa, utilizando-se o método clássico de pesagem (Embrapa, 1997). Para estas avaliações, seis pontos em cada parcela, três sobre o sulco e três fora do sulco, foram estabelecidos.

Os dados resultantes das coletas foram analisados efetuando-se a análise de variância e a comparação entre as médias foi utilizado o teste de Tukey, com nível de significância de 0,05. O software estatístico utilizado foi o SISVAR 5.6 (Ferreira, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A macroporosidade do solo, de modo geral, foi afetada principalmente nas camadas até a profundidade 0,10 m, corroborando com os resultados observados por Alves *et al.* (2012). Nesta camada todos os tratamentos, com exceção dos tratamentos GA+CR e GA+BR+LE na profundidade de 0,05-0,10 m, apresentaram-se superiores à área degradada original quando houve a aplicação do biofertilizante (**Tabela 2**).

O solo que recebeu a aplicação de biochar na camada superior (0-0,05 m), apresenta condições físicas consideradas ótimas para o desenvol-

vimento radicular das plantas, segundo descrição de Tormena *et al.* (2008). Pois, essa camada de solo apresentou aeração com valores superiores a 10% (**Tabela 2**). Essas alterações podem ser resultantes da alta relação C/N do produto, implicando em um aumento no tamanho e na estabilidade dos agregados do solo e, por consequência, aumento da macroporosidade (Alves *et al.*, 2012).

A adição do biochar como matéria orgânica também é uma ação importante na busca por maior atividade dos micro-organismos edáficos, proporcionando-lhes abrigo (Nóbrega, 2011). Entretanto, no presente trabalho o resultado obtido pode ainda estar relacionado ao ato de incorporação do biofertilizante ao solo através da abertura dos sulcos de aplicação e posterior fechamentos destes, inferindo na criação de poros pela ação física do revolvimento.

Diferentemente da macroporosidade, a microporosidade do solo não foi alterada pelos tratamentos instalados no ano de 2004 ou pela aplicação do biochar visando a recuperação do solo degradado. Constatou-se apenas superioridade da mata nativa de Cerrado em relação à área degradada em recuperação (**Tabela 2**). Resultado esperado em função do grande aporte de matéria orgânica, fornecido ao solo pelas plantas nativas, pela atividade biológica decorrente das condições naturais e por esta área não ter sofrido alterações físicas pelo trânsito de máquinas ou outros tipos de atividades antrópicas.

Os mesmos fatores que favoreceram o aumento da macroporosidade também influenciaram a porosidade total do solo estudado. Esses fatores são interdependentes visto que não houve maiores variações na microporosidade do solo.

Para a densidade do solo observou-se que a aplicação do biochar no solo proporcionou uma melhora significativa da camada superior (0-0,05 m) em relação à testemunha (solo exposto) na macroporosidade, destacando-se o tratamento composto pela combinação de Gonçalo-alves, braquiária e lodo de esgoto, que possibilitou o menor valor de densidade do solo, após a aplicação do biochar (**Tabela 3**). Apesar da superioridade dos demais tratamentos sobre o solo ex-

Tabela 2. Valores médios de macroporosidade, microporosidade e porosidade total no perfil de solo sob diferentes manejos de recuperação e sob mata nativa de Cerrado em duas épocas, pré-aplicação do biochar e seis meses após a aplicação.

Table 2. Mean values of macroporosity, microporosity and total porosity in the soil profile under different management of recovery and under native forest of Cerrado in two seasons, pre-application of biochar and six months after application.

Tratamentos	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2
	Macroporosidade (%)		Microporosidade (%)		Porosidade Total (%)	
0,00-0,05 m						
Solo exposto	7,70cA	5,49dA	23,94aA	23,65aA	31,63cA	29,14bA
GA	7,27cB	13,27bcA	25,89aA	25,30aA	33,15bcB	38,57aA
GA+FP	9,60bcB	15,16abA	27,64aA	23,82aA	37,24bcA	38,98aA
GA+CR	11,70bA	10,71cA	27,62aA	29,89aA	39,31bA	40,60aA
GA+BR+LE	11,33bB	17,31aA	28,09aA	25,73aA	39,42bA	43,04aA
Cerrado	24,23aA	13,52bcB	26,36aA	28,42aA	50,59aA	41,94aB
CV (%)	13,14		13,41		7,78	
Média Geral	12,27		26,36		38,63	
0,05-0,10 m						
Solo exposto	5,71cA	6,37bA	22,74aA	22,72bA	28,45cA	29,10cA
GA	7,06cB	12,86aA	25,63aA	26,44bA	32,68bcB	39,30bA
GA+FP	6,45cB	11,26aA	27,32aA	23,08bA	33,77bcA	34,34bcA
GA+CR	11,98bA	5,39bB	26,31aA	29,56bA	38,29bA	34,95bcA
GA+BR+LE	6,19cA	7,02bA	25,90aA	24,23bA	32,08bcA	31,25bcA
Cerrado	20,59aA	13,84aB	28,69aB	39,22aA	49,28aA	53,06aA
CV (%)	20,43		12,40		10,43	
Média Geral	9,56		26,82		36,38	
0,10-0,20 m						
Solo exposto	5,35bcA	6,35abcA	23,62bA	24,19bA	28,98bA	30,54bA
GA	7,94bcA	4,48cB	26,48bA	26,52bA	34,42bA	31,01bA
GA+FP	6,65bcA	8,25abA	27,12bA	24,91bA	33,77bA	33,16bA
GA+CR	8,37bA	5,41abcB	26,17bA	27,82bA	34,54bA	33,23bA
GA+BR+LE	4,90cA	5,04bcA	24,01bA	26,10bA	28,90bA	31,14bA
Cerrado	13,13aA	8,57aB	34,05aB	39,01aA	47,18aA	47,58aA
CV (%)	23,16		9,53		7,70	
Média Geral	8,57		27,50		34,54	
0,20-0,40 m						
Solo exposto	4,82bA	4,32bA	23,07bA	23,23bA	27,88bA	27,55bA
GA	5,53bA	4,15bA	21,36bB	25,14bA	26,89bA	29,29bA
GA+FP	4,79bA	5,05bA	25,35bA	25,61bA	30,14bA	30,67bA
GA+CR	4,88bA	3,75bA	23,61bA	25,24bA	28,48bA	28,99bA
GA+BR+LE	4,39bA	3,48bA	23,64bA	23,62bA	28,03bA	27,10bA
Cerrado	12,61aA	8,07aB	36,08aA	38,08aA	48,68aA	46,15aA
CV (%)	23,95		7,41		6,03	
Média Geral	5,49		26,17		31,65	

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= Gonçalo-alves+Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA+C= Gonçalo-alves+Crotalária (*Crotalaria juncea*); GA+BR+LE = Gonçalo-alves+Braquiária+ lodo de esgoto.

Means followed by equal letters, lowercase in the column and upper case in the row, do not differ from each other by the Tukey test at 5% probability. GA+FP= *Astronium fraxinifolium* S.+*Canavalia ensiformis*; GA+C= *Astronium fraxinifolium* S.+*Crotalaria juncea*; GA+BR+LE = *Astronium fraxinifolium* S.+*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens* S.+ sewage sludge.

Tabela 3. Valores médios de densidade (kg dm^{-3}) no perfil de solo sob diferentes manejos de recuperação e sob mata nativa de Cerrado em duas épocas, pré-aplicação do biochar e seis meses após a aplicação.

Table 3. Mean values of density (kg dm^{-3}) in the soil profile under different management of recovery and under native forest of Cerrado in two seasons, pre-application of biochar and six months after application.

Tratamento	Época 1	Época 2						
	0,00-0,05 m		0,05-0,10 m		0,10-0,20 m		0,20-0,40 m	
Solo exposto	1,76Ad	1,68Ad	1,78Ac	1,76cA	1,83cA	1,85cA	1,93bA	1,92bA
GA	1,64cdB	1,52cA	1,66bcA	1,55bA	1,70bcA	1,62bA	1,91bA	1,84bA
GA+FP	1,51bcA	1,50bcA	1,62bA	1,57bA	1,65bA	1,69bcA	1,83bA	1,83bA
GA+CR	1,44bA	1,51cA	1,55bA	1,58bA	1,68bcA	1,70bcA	1,86bA	1,86bA
GA+BR+LE	1,52bcB	1,37bA	1,66bcA	1,60bcA	1,72bcA	1,69bA	1,84bA	1,87bA
Cerrado	1,11aA	1,23aB	1,25aA	1,22aA	1,35aA	1,33aA	1,30aA	1,41aB
CV (%)	4,18		4,96		4,56		4,08	
Média Geral	1,48		1,57		1,65		1,78	

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= Gonçalo-alves+Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA+C= Gonçalo-alves+Crotalária (*Crotalaria juncea*); GA+BR +LE = Gonçalo-alves+Braquiária+ lodo de esgoto.

Means followed by equal letters, lowercase in the column and upper case in the row, do not differ from each other by the Tukey test at 5% probability. GA+FP= *Astronium fraxinifolium* S.+*Canavalia ensiformis*; GA+C= *Astronium fraxinifolium* S.+*Crotalaria juncea*; GA+BR +LE = *Astronium fraxinifolium* S.+*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens* S.+ sewage sludge.

posto, estes apresentam valores muito próximos aos tidos como limitantes para o desenvolvimento radicular, em torno de $1,55 \text{ kg dm}^{-3}$ (Reichert *et al.*, 2003).

Os resultados corroboram com os descritos por Bonini & Alves (2012), em experimento conduzido em condição semelhante, com a implantação de tratamentos constituídos pela combinação de adubos verdes e condicionadores de solo. Também estão de acordo com os resultados obtidos por Alves *et al.* (2007) no ano de 2004, 356 dias após a implantação do experimento, avaliando as culturas de cobertura nesta mesma área. Nessa ocasião as condições físicas do solo apresentadas foram próximas às obtidas no presente trabalho, evidenciando uma recuperação lenta das propriedades físicas em solo com alto nível de degradação.

Efeitos positivos da aplicação do biochar foram notados, principalmente nas profundidades até 0,2 m, onde houve uma diminuição considerável da densidade em relação à testemunha com solo exposto. Esses resultados concordam com os apresentados por Arruda *et al.* (2013), que trabalhando em área semelhante obtiveram incremento nos teores de matéria orgânica no solo com a adição de lodo

de esgoto, juntamente com o revolvimento para a sua incorporação. Sendo, portanto, esses os principais fatores que favoreceram a melhoria das propriedades físicas das camadas até 0,2 m de profundidade.

A camada presente na profundidade 0,2-0,4 m é menos afetada pelas culturas de cobertura, lodo de esgoto e adição de biochar, não diferindo da testemunha sem tratamento de recuperação. Ressalta-se que a recuperação de solos que sofreram com processos de degradação até condições próximas às originais, é pouco provável e tal evento levaria dezenas ou até mesmo centenas de anos (Alves *et al.*, 2012) e que o processo de reestruturação do solo deve ser realizada no tempo e por meio do manejo de solo e planta (Alves & Souza, 2008).

As alterações nas propriedades físicas dos solos, as quais podem ser tomadas como avaliações de qualidade do solo são dependentes de fatores espaciais e temporais. Reichert *et al.* (2003) resalta a importância do tempo de influência do tratamento aplicado, para a quantificação de mudanças exercidas pelo mesmo sobre o solo e a frequência destes mesmos tratamentos no espaço deve considerar as variações espaciais provocadas pelo solo. Portanto, seis meses após

a incorporação do biochar, a mobilização do solo foi o fator que se destacou quanto ao aumento da porosidade do solo na camada superficial. Pois o tratamento apenas com Gonçalo-alves apresentou valores próximos de macroporosidade e densidade aos tratamentos com adubos verdes e, conseqüente, maior adição de MO.

Para a taxa constante de infiltração e infiltração acumulada, houve diferença significativa entre os tratamentos nas épocas e dos tratamentos entre as épocas da amostragem (**Tabela 4**).

A proteção exercida pela cobertura vegetal contra o efeito do impacto direto das gotas de chuva sobre o solo e o efeito cimentante e estabilizador gerado pelas substâncias orgânicas excretadas pelas raízes das plantas, principalmente as sintetizadas pelos microrganismos do solo no processo de decomposição, também são prováveis responsáveis pela maior infiltração nos tratamentos com coberturas vegetais (Alves *et al.*, 2007).

Para a taxa constante de infiltração, verificou-se diferença significativa entre os tratamentos na segunda época de amostragem, na qual se destacaram os tratamentos GA e GA+FP, não diferindo do tratamento com solo exposto, sem aplicação do biochar. Entre as épocas houve diferença dos tratamentos GA+FP, GA+CR e GA+BR+LE, sendo que houve diminuição da infiltração acumulada na segunda época em relação à primeira época de avaliação (**Tabela 4**).

Verificou-se que, para a infiltração acumulada na segunda época, destacaram-se os tratamentos onde houve a aplicação do biochar, com exceção do tratamento GA+BR+LE. Os resultados estão provavelmente ligados ao revolvimento do solo para aplicação do produto, corroborando com o exposto por Vieira & Klein (2007) e Antoneli & Thomaz (2009), que constataram a superioridade da capacidade de infiltração de água no solo em áreas com plantio convencional, devido à mobilização do solo.

Entre as épocas de amostragem, houve diferença para os tratamentos GA+CR e GA+BR+LE, onde se verificou a diminuição da infiltração acumulada na segunda época. Neste contexto os resultados podem ser explicados por um provável selamento superficial devido ao impacto das go-

tas de chuva, favorecendo a dispersão física dos agregados ou também a formação do selo superficial causado pelo caráter químico da aplicação do biochar. Ao aplicarem superficialmente resíduos alcalinos da indústria de celulose, Albuquerque *et al.* (2002) observaram o efeito da alcalinidade do produto sobre a dispersão da argila, formando assim o selo superficial. Assim como os resíduos utilizados por estes autores, o biochar apresenta pH alcalino de 8,7.

Em relação à máxima resistência à penetração nas camadas do solo estudadas, de uma maneira geral, pode-se observar na época 1, a superioridade da mata nativa de cerrado em relação aos demais tratamentos, com exceção dos tratamentos GA+BR+LE na camada de 0,0-0,05 m, GA,

Tabela 4. Valores médios taxa constante de infiltração e infiltração acumulada no perfil de solo sob diferentes manejos de recuperação e sob mata nativa de Cerrado em duas épocas, pré-aplicação do biochar e seis meses após a aplicação.

Table 4. Mean values of constant rate of infiltration and accumulated infiltration in the soil profile under different management of recovery and under native forest of Cerrado in two seasons, pre-application of biochar and six months after application.

Tratamentos	Taxa constante de infiltração (cm h ⁻¹)		Infiltração acumulada (cm)	
	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2
Solo exposto	21,20bcB	46,58aA	2,02bA	2,39abA
GA	44,97aA	38,80abA	4,14aA	3,35aA
GA+FP	49,06aA	33,84abcB	3,67aA	2,63abA
GA+CR	41,43abA	25,59bcB	3,42abA	2,06abB
GA+BR+LE	41,90aA	16,81cdB	2,94abA	1,24cbB
Cerrado	2,89cA	1,63dA	0,24cA	0,13cA
CV (%)	31,36		31,76	
Média Geral	30,39		2,35	

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= Gonçalo-alves+Feijão-deporco (*Canavalia ensiformis*); GA+C= Gonçalo-alves+Crotalária (*Crotalária juncea*); GA+BR+LE = Gonçalo-alves+Braquiária+lodo de esgoto.

Means followed by equal letters, lowercase in the column and upper case in the row, do not differ from each other by the Tukey test at 5% probability. GA+FP= *Astronium fraxinifolium* S.+*Canavalia ensiformis*; GA+C= *Astronium fraxinifolium* S.+*Crotalária juncea*; GA+BR+LE = *Astronium fraxinifolium* S.+*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens* S.+ sewage sludge.

Tabela 5. Valores médios de resistência à penetração no perfil de solo sob diferentes manejos de recuperação e sob mata nativa de Cerrado em duas épocas, pré-aplicação do biochar e seis meses após a aplicação.

Table 5. Average values of resistance to penetration in the soil profile under different management of recovery and under native forest of Cerrado in two seasons, pre-application of biochar and six months after application.

Tratamentos	Resistência à penetração (MPa)							
	Época 1		Época 2		Época 1		Época 2	
	0,00-0,05 m		0,05-0,10 m		0,10-0,20 m		0,20-0,40 m	
Solo exposto	6,08cA	6,84cA	9,57bA	10,58cA	13,08bA	12,34cA	13,35bA	15,15cA
GA	2,52bA	3,69bA	2,73aA	5,38bB	3,35aA	6,32abB	11,02bA	11,68bA
GA+FP	2,35bA	3,69bB	4,18aA	5,86bA	5,29aA	5,70abA	12,71bA	10,88bA
GA+CR	2,50bA	2,63bA	4,08aA	5,15bA	4,33aA	5,72abA	12,02bA	11,58bA
GA+BR+LE	1,85abA	2,06aA	3,08aA	3,80abA	4,14aA	7,28bB	11,55bA	13,14bcA
Cerrado	0,15aA	0,43aA	2,31aA	1,77aA	3,86aA	3,68aA	5,57aA	5,51aA
CV (%)	29,39		25,51		19,89		12,03	
Média Geral	2,9		4,87		6,26		11,18	

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= Gonçalo-alves+Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA+C= Gonçalo-alves+Crotalária (*Crotalaria juncea*); GA+BR+LE = Gonçalo-alves+Braquiária+ lodo de esgoto.

Means followed by equal letters, lowercase in the column and upper case in the row, do not differ from each other by the Tukey test at 5% probability. GA+FP= *Astronium fraxinifolium* S.+*Canavalia ensiformis*; GA+C= *Astronium fraxinifolium* S.+*Crotalaria juncea*; GA+BR+LE = *Astronium fraxinifolium* S.+*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens* S.+ sewage sludge.

GA+FP, GA+CR e GA+BR+LE na camada de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m (**Tabela 5**).

Esse resultado corrobora com os encontrados em estudo anterior, que relaciona a menor resistência do solo à penetração aos maiores teores de matéria orgânica e, em consequência, a maior estabilidade de agregados, em consequência à presença das plantas de cobertura (Alves *et al.*, 2012).

Na segunda época de amostragem, houve superioridade da mata nativa de cerrado em relação aos demais tratamentos, com exceção dos tratamentos GA+BR+LE nas camadas de 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m e dos tratamentos GA, GA+FP e GA+CR na camada de 0,10-0,20 m. O resultado é esperado devido à condição natural da mata nativa, que não passou por processos de distúrbio. Entre as épocas de coleta houve aumento significativo da resistência na época 2 para os tratamentos GA+FP na camada 0,0-0,05 m, GA na camada de 0,05-0,10-0,20 m e para os tratamentos GA e GA+BR+LE na camada de 0,10-0,20 m, sem diferenças significativas para a profundidade 0,20-0,40 m (**Tabela 5**).

O aumento da resistência à penetração na segunda época também pode estar relacionada

à menor umidade do solo em relação à primeira época de coleta. Esta diminuição resulta no aumento da resistência a penetração, como observado por Genro Júnior *et al.* (2004), analisando a variabilidade temporal da resistência à penetração em sistemas de semeadura direta com rotação de culturas em um Latossolo argiloso.

Os valores obtidos no presente trabalho indicam que todos os tratamentos apresentam condições inapropriadas para o desenvolvimento vegetal, com exceção da mata nativa de cerrado. Pois valores de resistência a penetração na faixa de 2,0 a 4,0 MPa têm sido propostos como limitantes ao crescimento radicular de culturas anuais e espécies arbóreas (Arshad *et al.*, 1996; Suzuki *et al.*, 2007).

Os resultados obtidos evidenciam a importância da continuidade destes estudos por longos períodos de tempo a fim de que sejam observadas modificações ocasionadas pela presença do biochar sobre os atributos físicos do solo. Deve-se levar em consideração o tempo de permanência e atuação desse material no solo, uma vez que o carbono pirogênico possui a maior média de vida dentre as frações que contém carbono (Pessenda *et al.*, 2004), podendo ser observadas frações com idades estimadas em

500 a 7000 anos, através do método de rádio-carbono (Neves *et al.* 2003), o que

CONCLUSÕES

Em curto prazo, a aplicação do biochar aumenta a macroporosidade, pouco interferindo nas demais propriedades físicas do Latossolo Vermelho degradado, em ambiente de cerrado. A utilização de adubos verdes e lodo de esgoto propicia melhoras significativas nas propriedades físicas do Latossolo Vermelho degradado, após 9 anos da instalação dos tratamentos de recuperação da área.

AGRADECIMENTO

À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT) pela concessão da bolsa de mestrado ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica. 2013. Relatório ANEEL 2012. ANEEL.
- Albuquerque, JA; J Argenton; EC Fontana; FS Costa & TD Rech. 2002. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 26(4):1065-1073, 2002.
- Antoneli, V & EL Thomaz. 2009. Comparação de infiltração de água no solo mensurada em período seco e úmido, em diferentes usos da terra na bacia do arroio Boa Vista, Guamiranga, Paraná. *Ambiência* 5(2):301-318.
- Alves, MC; V Nascimento & ZM Souza. 2012. Recuperação em área de empréstimo usada para construção de usina hidroelétrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 16(8):887-893.
- Alves, MC & ZM Souza. 2008. Recuperação de área degradada por construção de hidroelétrica com adubação verde e corretivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32:2505-2516.
- Alves, MC; LGAS Suzuki & LEAS Suzuki. 2007. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho Distrófico em recuperação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 31:617-625.
- Arruda, OGD; MC Alves; CDSB Bonini & DDC Marchini. 2013. Atributos físicos de um Latossolo degradado do tratado com biossólido há cinco anos. *Científica* 41(1):73-81.
- Arshad, MA; B Lowery & B Grossman. 1996. Physical tests for monitoring soil quality. En: JW DORAN & AJ JONES, eds. *Methods for assessing soil quality*. Pp.123-141. Soil Science Society of America.
- Bai, ZG; DL Dent; L Olsson & ME Schaeppman. 2008. Proxy global assessment of land degradation. *Soil Use and Management* 24(3)223-234.
- Bonini, CDSB & MC Alves. 2012. Qualidade física de um Latossolo Vermelho em recuperação há dezessete anos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 16(4)329-336.
- Centrais Elétrica do Estado de São Paulo. 1998. Diretoria de Meio Ambiente Recomposição vegetal. CESP.
- Demattê, JLI. 1980. Levantamento detalhado dos solos do Campus Experimental de Ilha Solteira. 131p. (Mimeografado).
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1997. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. EMBRAPA/CNPQSO.
- Ferreira, DF. 2014. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia* 38(2):109-112.
- Genro Junior, SA; DJ Reinert & JM Reichert. 2004. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28(3):477-484.
- Hardie, M; B Clothier; S Bound; G Oliver & D Close. 2014. Does biochar influence soil physical properties and soil water availability?. *Plant and Soil*, 376(1-2), 347.
- Kitamura, AE; MC Alves; LGAS Suzuki & AP Gonzalez. 2008. Recuperação de um solo degradado com aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32:405-416.
- Lemann, J; MC Riling; J Thies; CA Masiello; WC Hockaday & D Crowley. 2011. Biochar effects on soil biota—a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9): 1812-1836.
- Madari, BE; TJF Cunha; EH Novotny; DMBP Milori; L Martin Neto; VM Benites; MR Coelho & GA Santos. 2009. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (terra preta de índio). Suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. En: *As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Pp. 172-188. Embrapa Amazônia Ocidental.
- Neves, EG; JB Petersen; RN Bartone & CAD Silva. 2003. Historical and socio-cultural origins of Amazonian Dark Earths. En: J Lehmann; DC Kern; B Glaser & WI Woods. (eds) *Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management*. Pp. 29-50. Kluwer Academic Publishers.

- Nóbrega, ÍPC. 2011. Efeitos do biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: sequestro de carbono no solo. Tesis Doctoral, Universidade Técnica de Lisboa.
- Pessenda, LCR; SEM Gouveia; R Aravena; R Boulet & EPE Valencia. 2004. Holocene fire and vegetation changes in southeastern Brazil as deduced from fossil charcoal and soil carbon isotopes. *Quaternary International* 114(1):35-43.
- Reichert, JM; DJ Reinert & JA Braidá. 2003. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência Ambiental* 48(1):27-29.
- Santos, HG; PKT Jacomine; LHC Anjos; VA Oliveira; JF Lumbreras; MR Coelho; JA Almeida; TJF Cunha & JB Oliveira. 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Embrapa Solos.
- Suzuki, LEAS; JM Reichert; DJ Reinert & CLR Lima. 2007. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 42(8):1159-1167.
- Tormena, CA; J Fidalski & W Rossi Junior. 2008. Resistência tênsil e friabilidade de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32(1):33-42.
- Vendruscolo, EP; AJF Leal; MC Alves; EJ Souza & SN Souto Filho. 2016. Chemical attributes of land degraded due to the adoption of biochar, cover crops and residual of sewage sludge application. *Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 59(3), 235-242.
- Vieira, ML & VA Klein. 2007. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 31:1271-1280.
- Zhang, R. 1997. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disc infiltrometer. *Soil Science Society America Journal* 61(4):1024-1030.