

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL

EDUARDO PRADI VENDRUSCOLO

**QUALIDADE FÍSICA E QUÍMICA DE UM SOLO EM RECUPERAÇÃO COM
PLANTAS NATIVAS E INTRODUZIDAS HÁ 9 ANOS, APÓS USO DE BIOCHAR.**

CHAPADÃO DO SUL - MS
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL

EDUARDO PRADI VENDRUSCOLO

**QUALIDADE FÍSICA E QUÍMICA DE UM SOLO EM RECUPERAÇÃO COM
PLANTAS NATIVAS E INTRODUZIDAS HÁ 9 ANOS, APÓS USO DE BIOCHAR.**

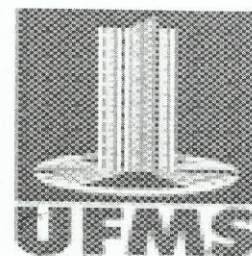
Orientador: Prof. Dr. Aguinaldo José Freitas Leal

Co-orientadora: Profa. Dra. Marlene Cristina Alves

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Mato
Grosso do Sul, para a obtenção do
título de Mestre em Agronomia, área
de concentração: Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL - MS

2015

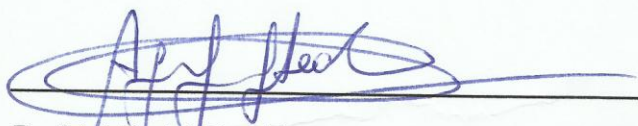


Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Câmpus de Chapadão do Sul

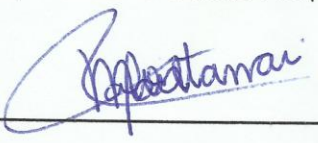
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Eduardo Pradi Vendruscolo
ORIENTADOR (A): Prof. (a) Dr. (a) Aguinaldo Jose Freitas Leal

**QUALIDADE FÍSICA E QUÍMICA DE UM SOLO EM RECUPERAÇÃO
COM PLANTAS NATIVAS E INTRODUZIDAS HÁ 9 ANOS, APÓS
USO DE BIOCHAR**



Prof.(a) Dr.(a) Presidente Aguinaldo Jose Freitas Leal

Prof.(a) Dr.(a) Cassiano Garcia Roque

Prof.(a) Dr.(a) Rafael Montanari

Chapadão do Sul, 13 de Janeiro de 2015.

À minha família, pelo apoio, carinho e compreensão, dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a toda minha família, em especial aos meus pais, Naudir José Vendruscolo e Anadir Elenir Pradi Vendruscolo, os quais me propiciaram a oportunidade de continuar meus estudos, sempre me motivando na busca dos meus objetivos.

A todos os meus grandes amigos, que me acompanharam nas dificuldades e nos bons momentos desta importante etapa e de tantos outros momentos da minha vida.

Ao meu orientador, Professor Dr. Aguinaldo José Freitas Leal, por ter aceitado o desafio de desenvolver este trabalho e por estar sempre presente ao longo deste processo, me aconselhando e apoiando.

A minha co-orientadora, Professora Dra. Marlene Cristina Alves, pela oportunidade de realizar um trabalho de grande importância para a sociedade e por estar sempre aberta às ideias e dúvidas que surgiram ao longo da realização da pesquisa.

Aos professores, funcionários e discentes da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – Campus de Chapadão do Sul, pela amizade e pelos conhecimentos passados ao longo destes dois anos, contribuindo imensamente para a minha formação profissional.

Aos amigos de Ilha Solteira, Eptácio, Diego, Sebastião, Ligia, Poliana, Guilherme, Valdivino, João, Sabrina, Laura, Bruno, Marcelo e Giuliano que contribuíram diretamente para a realização do experimento, seja ajudando nas avaliações ou fornecendo estadia.

À Fundect, pela concessão da bolsa de mestrado.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, pelo excelente curso e por proporcionar as condições necessárias ao desenvolvimento de pesquisa na área das Ciências Agrárias.

Enfim, a todos os que estiveram envolvidos e contribuíram tanto para a minha formação profissional como também para a minha formação pessoal.

"SE, A PRINCÍPIO, A IDEIA NÃO É ABSURDA, ENTÃO NÃO HÁ ESPERANÇA PARA ELA"

Albert Einstein

RESUMO

VENDRUSCOLO, Eduardo Pradi. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Qualidade física e química de um solo em recuperação com plantas nativas e introduzidas há 9 anos, após uso de biochar.

Professor Orientador: Aguinaldo José Freitas Leal.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as alterações nos atributos físicos e químicos do solo, promovidas pela adição do biochar em solo degradado pela remoção da camada superficial e subsuperficial, em processo de recuperação com culturas de cobertura e espécie arbórea nativa. O delineamento adotado foi definido em blocos casualizados, em esquema fatorial 6x2, duas épocas de coleta de solo, anterior à aplicação do biochar e seis meses após essa aplicação biochar (15 t ha^{-1}) e seis tratamentos implantados no ano de 2004. A composição dos tratamentos foi assim definida: T1 – Solo exposto; T2 - Gonçalves-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) + biochar; T3 - Gonçalves-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) + crotalária (*Crotalaria juncea*) + biochar; T4 - Gonçalves-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) + feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); T5 - Gonçalves-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) + lodo de esgoto (60 t ha^{-1}) + (*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens*); T6 – Mata nativa de Cerrado. Para avaliação dos atributos físicos, porosidade e densidade do solo, três 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). Os atributos de infiltração e resistência à penetração do solo foram amostrados em três pontos por parcela. Para análise dos atributos químicos, amostras de cada parcela foram coletadas em três profundidades (0,00-0,05, 0,05-0,10 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%. A macroporosidade do solo, de modo geral, foi afetada principalmente nas camadas até 0,10 m, onde 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 biochar. Portanto, concluiu-se que, em curto prazo, a aplicação do biochar aumenta a macroporosidade até a profundidade de 0,10 m, pouco interferindo nas demais propriedades físicas do Latossolo Vermelho álico degradado, em ambiente de cerrado, enquanto que a presença de plantas de cobertura influenciam positivamente as características de infiltração e resistência à penetração do solo. Houve acréscimo significativo 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. O biochar, portanto, eleva os teores de potássio na camada em que é incorporado no solo, seis meses após a sua aplicação, não alterando a composição química do solo nas camadas até 0,20 m em relação aos valores de pH, H+Al, CTC, V e m e aos teores de P, Ca, Mg e Al, enquanto que a aplicação de lodo de esgoto em solo degradado e o manejo dessa área com braquiária, durante nove anos, propiciam aumento no teor de fósforo no solo.

Palavras-chave: Biofertilizante. Adubação orgânica. Resíduos agroindustriais.

ABSTRACT

VENDRUSCOLO, Eduardo Pradi. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Physical and chemical quality of a soil recovery with native and introduced plants 9 years ago, after the use of biochar.

Adviser: Aguinaldo José Freitas Leal.

This study aimed at evaluating the changes in physical and chemical soil properties, promoted by the addition of biochar in soil degraded by removing the surface subsurface layer in the recovery process with cover crops and native tree species. The study design was a randomized block in a 6x2 factorial, two seasons of soil collection, prior to application of biochar and six months after that biochar application (15 t ha^{-1}) and six treatments implemented in 2004. The composition of the treatments was defined as follows: 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) + *Canavalia ensiformis*; T5 – Goncalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) and sewage sludge (60 t ha^{-1}) + (*Urochloa* (Syn *Brachiaria*) *decumbens*.); T6 - Cerrado Native Forest. To evaluate the physical attributes, soil porosity and soil density samples from each plot were collected at four depths (0.00-0.05, 0.05-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.40 m), while the attributes of infiltration and soil penetration resistance were sampled at three points per plot. For chemical analysis, samples from each plot were collected at three depths (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 and pH, Al H⁺, SB, CTC, m% and V% values. Soil macroporosity in general, was affected mainly in layers up to 0.10 m, where all treatments, except for GA and GA + CR + BR + LE treatments at a depth of 0.05-0.10 m, showed to be superior to the original degraded area when there was the application of biochar. Therefore, in the short term, the application of biochar increases macroporosity to a depth of 0.10 m, having little impact in other physical properties of degraded Oxisol, in cerrado environment, while the presence of cover crops positively affect the characteristics infiltration and penetration soil resistance. There was a significant increase of K in the layer of 0.05-0.10 m depending on the application of biochar, which had no effect on the other variables. Therefore, biochar increases the potassium content in the layer in which it is incorporated into the soil within six months of its implementation, not altering the chemical composition of the soil in layers up to 0.20 m in relation to pH, H⁺ + Al, CTC, V%, m% values and to P, Ca, Mg and Al levels, while the application of sewage sludge on soil and degrade the management of this area with brachiaria for nine years provide increased phosphorus content in the soil.

Key-words: Biofertilizer. Organic fertilizer. Agro-industrial waste.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA		PÁGINA
1	Umidade do perfil do solo nos tratamentos na primeira época de coleta.....	41
2	Umidade do perfil do solo nos tratamentos na segunda época de coleta.....	41

LISTA DE TABELAS

TABELA		PÁGINA
1	Características físicas do solo original (Cerrado) e degradado antes da implantação da pesquisa, Selviria-MS, 2004.....	31
2	Caracterização química do lodo de esgoto utilizado.....	31
3	Composição química de biochar.....	32
4	Médias da 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.....	35
5	Médias da densidade 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.....	36
6	Médias da infiltração acumulada e da taxa constante de infiltração para os diferentes tratamentos nas épocas de pré-aplicação do biochar e seis meses após a aplicação.....	38
7	Médias da resistência à penetração da ração para os diferentes tratamentos nas épocas de coleta, sendo que, na época 2 a coleta foi realizada sobre a linha de aplicação do biochar.....	40
8	Rendimento de biomassa verde e seca de braquiária, feijão de porco e crotalária.....	44
1	Características químicas do solo original (Cerrado) e degradado antes da implantação da pesquisa, Selviria-MS, 2004.....	53
2	Caracterização química do lodo de esgoto utilizado.....	53
3	Análise química (teores totais) para fins de toxicidade do lodo de esgoto utilizado.....	54
4	Composição química de biochar.....	56
5	Desdobramento da interação entre tratamentos e épocas de coleta para as médias dos teores de K, na camada 0,05-0,10 m....	58
6	Valores de F, valores médios de pH e teores médios de P e K nas camadas de 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m dos tratamentos e das épocas de coleta de solo.....	59
7	Valores de F e teores médios de Ca, Mg e H+Al nas camadas de 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m dos tratamentos e das épocas de coleta de solo.....	60
8	Valores de F, teores médios de Al e valores médios de SB e CTC nas camadas de 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m dos tratamentos e das épocas de coleta de solo.....	61
9	Valores de F e teores médios de Ca, Mg e H+Al nas camadas de 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m dos tratamentos e das épocas de coleta de solo.....	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1	Solos degradados.....	13
2.2	Indicadores de qualidade dos atributos do solo.....	14
2.3	Matéria orgânica do solo e o biochar.....	16
2.4	Planta nativa.....	18
2.5	Plantas de cobertura.....	19
3	REFERÊNCIAS.....	20
	CAPÍTULO 1 - EFEITOS DA APLICAÇÃO DO BIOCHAR SOBRE ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO EM PROCESSO DE RECUPERAÇÃO.....	26
	RESUMO.....	26
	ABSTRACT.....	27
1	INTRODUÇÃO.....	28
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4	CONCLUSÃO.....	44
5	AGRADECIMENTO.....	44
6	REFERÊNCIAS.....	44
	CAPÍTULO 2 - EFEITO QUÍMICO DA APLICAÇÃO DO BIOCHAR EM ÁREA DE RECUPERAÇÃO.....	49
	RESUMO.....	49
	ABSTRACT.....	50
1	INTRODUÇÃO.....	51
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	52
3	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	57
4	CONCLUSÃO.....	63
5	AGRADECIMENTO.....	63
6	REFERÊNCIAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

A busca incessante por uma melhor qualidade de vida para a população resulta em ações que vão de encontro à melhoria das condições ambientais. Isso acontece uma vez que as maiores necessidades da comunidade moderna estão relacionadas à obtenção de energia, seja ela na forma de alimentos ou de energia elétrica, para as atividades cotidianas.

A demanda por alimentos é ditada pelo aumento populacional, dando origem à necessidade da abertura de novas áreas de floresta para cultivo e criação, muitas vezes resultando em manejos desorientados e que transcendem a capacidade de utilização do solo e de outros recursos, gerando altas pressões sobre o ambiente e, em alguns casos, degradando o solo. Apesar da ocorrência natural de áreas degradadas, a ação antrópica gera, em ritmo acelerado, áreas nas quais é inexistente a capacidade de recuperação natural após sofrerem distúrbios. Tais áreas são definidas como áreas degradadas.

O Brasil detém enormes reservas hídricas, o que torna a obtenção de energia elétrica através de usinas hidrelétricas uma opção viável. O consumo de energia elétrica estende-se das grandes empresas aos domicílios e compõe um insumo indispensável para a população em geral.

A obtenção desta energia, porém, envolve alterações irreversíveis, em curto prazo, ao ambiente, como é o caso da construção de usinas hidrelétricas, principalmente daquelas construídas até a década de 90 sob leis menos restritivas, o que acarretou a degradação de grandes áreas no entorno das obras. Essa degradação se dava pelo uso da camada superficial do solo para realização da terraplanagem e fundação da parede da barragem. Como resultado, ainda hoje, podem ser vistas grandes áreas onde há a exposição de um subsolo pobre em atividade biológica e compactado devido ao tráfego de grandes máquinas.

A recuperação de uma área degradada é um processo lento no qual se busca afetar positivamente as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. São inúmeras as práticas utilizadas para tal ação e em sua grande maioria a adição de matéria orgânica é imprescindível para a ocorrência de alterações significativas. Dentre as diferentes formas de matéria orgânica passíveis de aplicação está o biochar.

O biochar é um produto obtido por meio da pirólise de diferentes materiais orgânicos, que pode ser inserido como um biofertilizante com alta relação C/N, o que permite uma lenta liberação dos nutrientes para o meio. A pirólise, que nada mais é que a queima de um determinado material, pode ser utilizada para o descarte de materiais que, em sua forma original, ocupam grandes espaços físicos.

Para quantificar as alterações sobre as propriedades do solo são utilizadas avaliações físicas (estabilidade de agregados, infiltração de água, morfologia do solo) e químicas (análise quantificadora de nutrientes e interações) como indicadores destas mudanças.

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 da adição do biofertilizante biochar na recuperação de um Latossolo Vermelho, o qual foi revegetado com uma espécie arbórea nativa de cerrado há nove anos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Solos degradados

A degradação dos solos ocorre naturalmente por meio da ação de fatores naturais como água, vento e gelo. Ela pode, porém, ser intensificada pela ação antrópica (construção de estradas, hidrelétricas, atividades de mineração, atividades agrícolas, etc.), que diminui a capacidade do solo de produzir alimentos, fibras e combustível (ALVES et al., 2010).

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 1 bilhão e meio de pessoas (BAI, 2008). Deve-se destacar que grande parte dessa degradação ocorre em função do fator humano, principalmente da agricultura e construção civil. No Brasil, uma grande porção dessas áreas encontra-se em região de bioma Cerrado. Segundo Machado et al., (2004), no ano 2002 esse bioma apresentou cerca de 55% da sua área desmatada ou com algum tipo de alteração causada pela ação humana. Essa área corresponde a mais de um milhão de km².

A grande demanda por energia elétrica, combinada ao grande potencial hídrico do Brasil, torna a construção de hidrelétricas a principal forma de obtenção de energia. Assim sendo, o país conta com 204 empreendimentos principais, os quais correspondem a 66% da potência instalada, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2013).

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). Tais impactos ocorrem, por exemplo, no processo de construção de uma barragem, assim como em outras obras civis, uma vez que a retirada das camadas superiores do solo provoca alta degradação das suas características físicas, químicas e biológicas (DUDA et al., 1999). Com o solo exposto às intempéries, a recuperação das suas características é lenta, podendo levar séculos para que uma comunidade clímax seja estabelecida novamente nesta área (BEGON et al., 2006).

Embora haja dificuldades adaptativas devido às condições encontradas em áreas com altas taxas de degradação, o uso de cobertura vegetal pode representar uma opção coerente, prática e econômica (NEVES et al., 2001) para que, a partir dela, possam ser adotadas outras práticas para a revegetação da área. Portanto, essa deve ser uma alternativa a ser buscada em condições de degradação do solo.

2.2 Indicadores de qualidade dos atributos do solo

A qualidade do solo está diretamente ligada ao equilíbrio de seus atributos físicos, químicos e biológicos, sustentando o seu aspecto funcional, como o proposto por Doran e Parkin (1994), segundo os quais a qualidade do solo é expressa por sua capacidade de funcionar dentro dos limites do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde de plantas e animais.

A busca pela recuperação de uma área degradada implicará o reestabelecimento das atividades relacionadas à qualidade do solo. Tal ato, porém, consistirá inevitavelmente na restauração ou na criação de um novo 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).

A realização de trabalhos cujo foco seja a recuperação do solo deve seguir etapas. A primeira dessas etapas deve consistir na identificação e caracterização dos processos de degradação atuantes e na análise de suas consequências ambientais. Para tanto, é necessário o uso de indicadores que, segundo Marzall e Almeida (2000), são ferramentas as quais possibilitam medir uma condição, um processo, uma reação ou um comportamento e que permitem o levantamento de informações sobre uma determinada realidade, refletindo a resposta de um dado sistema às atividades antrópicas.

Um indicador isolado, entretanto, não possibilitará a descrição ou quantificação de todos os aspectos envolvidos na qualidade do solo, ou mesmo de uma única qualidade do solo, tendo em vista a relação entre todas as propriedades do solo (STENBERG, 1999), indicando que uma quantidade mínima de propriedades deve ser tomada.

Segundo Doran (1994), os critérios para a definição dos indicadores abrangem as propriedades físicas, químicas e biológicas, além da sensibilidade ao manejo e variações climáticas relacionadas, principalmente, à sua utilidade em definir os processos do ecossistema.

Com a conceituação da qualidade do solo no início da década de noventa, houve o surgimento da divergência de percepções sobre o tema. Assim, dentre os inúmeros estudos que envolvem o conceito de qualidade do solo, alguns autores buscaram apenas estudar as suas propriedades físicas (COSTA et al., 2003; BERTOL et al., 2004; CAMPOS e ALVES, 2008).

As principais propriedades e fatores físicos utilizados para a avaliação e descrição da qualidade do solo segundo Ingarano (2003) são a porosidade, distribuição do tamanho de poros, densidade do solo, profundidade de enraizamento, resistência mecânica, condutividade hidráulica e distribuição de tamanhos de partículas. O fato destas propriedades serem inerentes ao solo faz delas instrumentos valiosos para a avaliação da qualidade do mesmo, visto que elas não podem ser modificadas facilmente.

Todavia, são inúmeras as maneiras pelas quais é possível ocorrer alterações das propriedades físicas do solo, influenciando o desenvolvimento vegetal e de populações da fauna edáfica. A perda da estrutura original de uma área onde houve retirada de uma expressiva camada de solo, implica quase sempre em fracionamento dos agregados em unidades menores e, conseqüentemente, em redução no volume de macroporos, aumentos no volume de microporos e na densidade do solo (TISDALL e OADES, 1980; CARPENEDO e MIELNICZUK, 1990).

Por definição de Correia et al. (2004), um solo ideal, com boas propriedades de aeração, permeabilidade e ao mesmo tempo uma boa retenção de água para as plantas é um solo que apresenta seu espaço poroso igualmente dividido em microporos e macroporos. A identificação deste equilíbrio possibilita expressar a qualidade do solo.

O aparecimento de camadas compactadas, além das implicações citadas anteriormente, também irá influenciar a taxa final de infiltração de água no solo e o desenvolvimento radicular das plantas (DALLA ROSA, 1981; SILVA e MIELNICZUK, 1997). Carduro e Dorfman (1988) relatam que condições tais como porosidade, umidade, atividade biológica, cobertura vegetal, rugosidade superficial e declividade

do terreno, dentre outras, têm grande influência na infiltração da água no solo. Também Alves et al., (2007), concluíram que a taxa de infiltração de água é um bom indicador da qualidade física de um solo em recuperação.

Têm sido propostos como limitantes ao crescimento radicular de culturas anuais e espécies arbóreas valores na faixa de 2,0 a 4,0 Mpa para resistência do solo à penetração (ARSHAD et al., 1996; EMBRAPA, 2005; SUZUKI et al., 2007), 1,55 Mg m⁻³ para densidade do solo (REICHERT et al, 2003), 10 a 15% para macroporosidade (TORMENA et al., 2002)

Entretanto, não são apenas as propriedades físicas que interferem nas atividades de recuperação de um solo. Atributos químicos também são utilizados para identificar e mensurar a qualidade de um solo, tendo em vista que há, por meio dessas propriedades, alterações na relação solo-planta, qualidade da água, efeito tamponante do solo e disponibilidade de nutrientes (USDA, 1996).

Tanto no Brasil, assim como em outras partes do mundo, um dos fatores mais limitantes para a produtividade de diversas culturas é a acidez do solo, a qual pode ser amenizada pela ação de calagem, o que também infere no aumento dos teores de Ca e Mg no solo (FAGERIA, 2001).

A alta capacidade de fixação de fosfato (adsorção e precipitação) nos solos das regiões tropicais implica a deficiência generalizada desse nutriente e limita a produtividade das culturas nessas áreas (RAIJ, 1991). No entanto, visando o aumento de matéria orgânica, aumento do pH e maior atividade da microbiota do solo, sistemas de manejo do solo podem ser adotados a fim de reduzir a adsorção de P (SOUZA et al., 2006).

2.3 Matéria orgânica do solo e o biochar

O conteúdo de matéria orgânica em solos de regiões tropicais, além de ser baixo, apresenta um alto grau de degradação. A quantidade de matéria orgânica presente é regulada pela taxa de produção primária de material orgânico, pela distribuição dos fotoassimilados entre parte aérea e raízes e pela velocidade de decomposição dos compostos orgânicos (BATJES, 1996). As substâncias húmicas são consideradas o estágio final da evolução dos compostos de C no solo

(STEVENSON, 1994) e representam cerca de 30% a 85% do húmus (KONONOVA, 1982).

As condições de temperatura e umidade na época das chuvas provocam a aceleração da decomposição dos materiais presentes no solo, restos vegetais, adubos, dejetos advindos da pecuária e agroindústria. Existem, porém, maneiras de contornar a ação do intemperismo, possibilitando a permanência da matéria orgânica no solo por um período longo de tempo.

Uma alternativa é o tratamento da matéria orgânica por pirólise rápida, que consiste em um processo termoquímico de decomposição da matéria orgânica. Nessa reação ocorre a ausência completa de oxigênio a uma temperatura que varia entre 300 e 500°C, tendo como produtos finais principais o carvão vegetal (sólido), bio-oil (líquido) e o gás combustível.

As propriedades favoráveis da porção sólida da queima de material orgânico podem ser claramente vistas nas características de solos antrópicos na Amazônia, também conhecidos como terra preta de índio. Apesar das diferentes hipóteses para o surgimento desse tipo de solo, a mais aceita é a descrita por Woods e McCann (1999), de acordo com a qual a formação é atribuída ao homem pré-histórico. Esses locais de ocorrência serviram de depósitos de resíduos vegetais, animais e de carvão vegetal proveniente de fogueiras e, no decorrer dos séculos, formaram solos altamente férteis, com elevados teores de nutrientes como fósforo disponível, cálcio, magnésio, zinco, manganês, carbono e matéria orgânica estável de origem pirogênica (KERN, 1988; KERN E KÄMPF, 1989; KERN, 1996; COSTA E KERN, 1999).

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. Essa, segundo Madari et al. (2009), é expandida por consequência da queima, a qual aumenta a microporosidade do produto final. Esse produto possui uma gama bastante grande de aplicações, incluindo sua incorporação no solo, como um biofertilizante (biochar), para a melhoria das propriedades biológicas, físicas e químicas do mesmo. Outros pontos positivos do biochar são sua elevada estabilidade, a qual lhe confere a característica de abrigo para os micro-organismos do solo e de sequestrador de carbono, impedindo as emissões de carbono para a atmosfera (NÓBREGA, 2011).

Melhorias nas propriedades do solo são de inquestionável importância, à medida que os fatores edáficos (do solo) como o ar, a umidade, a composição de elementos minerais, entre outros, juntamente com os fatores climáticos, afetam enormemente o desenvolvimento, o crescimento, a reprodução e a sobrevivência dos vegetais (TAIZ e ZEIGER, 2013).

A adição do biochar proporciona a redução nas emissões de CO₂ devido à adsorção do carbono orgânico até a sua superfície ou porque esse promove a formação de agregados no solo, dificultando a decomposição da matéria orgânica neles presentes. Quanto à mineralização de carbono, ela acontece com maior intensidade em solos combinados com biochar produzido a baixas temperaturas, e menor teor de oxigênio em relação ao carbono, e maior do que o esperado em solos combinados com biochar produzido a altas temperaturas (NÓBREGA, 2011). Alguns estudos comprovam que a adição de biochar no solo proporciona a elevação do pH, proporcionando uma maior disponibilidade de nutrientes como potássio, fósforo, cálcio e magnésio (OGUNTUNDE et al. (2004) e LAIRD et al. (2010)), consequentemente proporcionando melhor desenvolvimento da macro e microbiota.

As estruturas aromáticas presentes no biochar possuem característica hidrofóbica, o que leva a um aumento da estabilidade de agregados do solo em função da diminuição da penetração de água nos espaços porosos desses agregados (GLASER et al., 2002).

2.4 Planta nativa

Conhecida comumente como gonsalo-alves, a espécie nativa de cerrado *Astronium fraxinifolium* Schott, vem sendo utilizada na recuperação de áreas com presença de solos degradados, tendo em vista sua agressividade e resistência às condições adversas (ALVES et al., 2007). Exemplos disso são os solos do Cerrado, onde há uma dificuldade natural para o desenvolvimento vegetal devido aos altos teores de alumínio (FRANCO, 2005)

Lorenzi (1992) e Aguiar et al. (2001) salientam que a espécie *Astronium fraxinifolium* Schott é tida como pioneira e seletiva xerófita, formando grupamentos descontínuos em terrenos rochosos e secos e tem sido, segundo Caldeira Júnior

(2009), uma das espécies de maior ocorrência em áreas de Neossolo Litólico, que apresentam revegetação espontânea após perturbação por uso agrícola.

2.5 Plantas de cobertura

A utilização de plantas de cobertura visando a proteção superficial do solo em sistemas concervacionistas é uma prática básica, que diminui a ação dos agentes erosivos (SCHINCK et al., 2000), e favorece a formação e a manutenção dos agregados do solo, por meio do efeito físico das raízes (TISDALL & OADES, 1982; MUNNER & OADES, 1989; SILVA & MIELNICZUK, 1997; SILVA et al., 1998), além de reciclar nutrientes (ALVARENGA et al., 1986) e adicionar C fotossintetizado e N fixado biologicamente ao solo (AMADO & MIELNICZUK, 2000).

Segundo Assad (1997), as gramíneas constiuem fator de grande importância na adição de matéria orgânica e na reestruturação do solo. Tal fato se deve ao seu sistema radicular fasciculado capaz de formar canais de infiltração, armazenar água no solo e atuar como agente de descompactação do solo.

Sistemas de pastagem formados por braquiária mostram-se eficientes no acúmulo de matéria orgânica em relação à vegetação de Cerrado. Essa eficiência muito se deve ao seu sistema radicular, que é abundante e volumoso, apresentando contínua renovação e elevado efeito rizosférico (D'ANDREA et al., 2004).

Outras espécies também apresentam grande valor como plantas de cobertura. Um exemplo é a *Crotalaria juncea*, devido a sua produção de biomassa, como demonstram os valores obtidos por Lima et al. (2012). Em experimento conduzido em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura média típico, a produção de biomassa seca de crotalaria cultivada no verão atingiu 18.100,00 kg ha⁻¹. Já Cavalcante et al. (2012), ao desenvolver estudos em Argissolo Vermelho distrófico, obteve 13.500,00 e 3.000,00 kg ha⁻¹ de massa verde e massa seca, respectivamente.

Segundo Gama-Rodrigues et al. (2007), o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes*) apresentou maior velocidade de decomposição de sua matéria seca, o que acarretou maiores taxas de liberação de C, N, P, Ca e Mg quando comparadas às demais espécies, amendoim forrageiro, sirato, cudzu e braquiária com e sem adubação, mostrando sua alta capacidade de ciclagem de nutrientes.

O emprego da crotalária e do feijão-de-porco em um programa de recuperação de solo pode ser de grande interesse pois, sendo pertencentes à família das leguminosas, tais plantas conseqüentemente desenvolvem associações simbióticas com bactérias fixadoras, as quais, por sua vez, são responsáveis pelo aporte de quantidades expressivas de N₂ ao solo e, conseqüentemente, às plantas e microrganismos presentes neste sistema (PERIN et al., 2003).

3 REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica. **Relatório ANEEL 2012**. Brasília: ANEEL, 2013, 92p.

AGUIAR, A.V.; BORTOLOZO, F.R.; TEIXEIRA DE MORAES, M.L. & EUSTÁQUIO DE SÁ, M. Determinação de parâmetros genéticos em população de gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium*) através das características fisiológicas da semente. **Sci. Florestales**, v.60, p.89-97, 2001.

ALVARENGA, R.C.; FERNANDES, B.; SILVA, T.C.A. & RESENDE, M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palhada de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.273-277, 1986.

ALVES, M.C.; SUZUKI, L.G.A.S.; SUZUKI, L.E.A.S. 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**, v.31, p.617-625, 2007.

ALVES, M.C.; WHALEN, J.K.; RODRIGUES, R.A.F.; MARCHINI, D.C., Aggregation and morphological properties of a degraded Oxisol receiving organic amendments. 19th World Congress of Soil Science, Brisbane, Australia. 2010. Published on DVD.

AMADO, T.J.C. & MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.553-560, 2000.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. **Methods for assessing soil quality**. Madison, Soil Science Society of America, p.123-141, 1996.

ASSAD, M. L. L. Fauna do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA, 1997. 524 p.

BAI, Z. G.; DENT, D. L.; OLSSON, L.; SCHAEPMAN, M. E. Proxy global assessment of land degradation. **Soil Use and Management**, v. 24, n. 3, p. 223-234, 2008.

BATJES, N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**, v.47, n.2, p.151-163, 1996.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecology**: from individuals to ecosystems. 4ed. Blackwell Publishing: United Kingdom, 2006. 759 p.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:155-163. 2004.

CALDEIRA JÚNIOR, C. F; SOUZA, R. A.; SANTOS, A. M.; SAMPAIO, R. A.; MARTINS, E. R. Características químicas do solo e crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott em área degradada adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio. **Revista Ceres**. v. 56, n. 1, p. 213-218, 2009.

CAMPOS, F.S.; ALVES, M.C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1389-1397, 2008.

CARDURO, F.A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e campo para irrigação e drenagem**. Brasília: PRONI/MA, 1988. 216p.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregados e qualidade de agregados de um latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.99-105, 1990.

CAVALCANTE, V. S.; SANTOS, V. R.; SANTOS NETO, A. L.; SANTOS, M.; SANTOS, C.; COSTA, L. C. Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 521-528, 2012.

CESP - CENTRAIS ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Diretoria de Meio Ambiente Recomposição vegetal**. São Paulo: CESP, 1998. 11p.

CORREIA, J. R.; REATTO, A.; SPERA, S. T. Solos e suas relações com o uso e manejo. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Eds. **Cerrado**: correção do solo e adubação. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2ª ed. p. 29-58, 2004.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p.527-535. 2003.

COSTA, M.L.; KERN, D.C. Geochemical signatures of tropical soils with archaeological black earth in the Amazon, Brazil. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 66, n. 1, p. 369-385, 1999.

DALLA ROSA, A. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo no solo Santo Ângelo (Latosolo Roxo Distrófico)**. 1981. 138p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1981.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N. GUINARÃES, L.R. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.2, p.179-186, 2004.

DORAN, J. W. **Soil quality and sustainability**. Madison: ASA/SSSA, 1994.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.3-21. (SSSA Special Publication, 35)

DUDA, G.P.; CAMPELLO, E.F.C.; MENDONÇA, E.S.; LOURES, J.L.; DOMINGOS, M., Avaliação de frações da matéria orgânica do solo para caracterização de áreas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.23, p.723-728. 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- Embrapa Cerrados. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (DF). **Compactação dos solos: consequências para o desenvolvimento vegetal**. Planaltina, 2005. 26 p. (Documento, 136).

FAGERIA, Nand Kumar. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 11, p. 1419-1424, 2001.

FRANCO, A. C. Biodiversidade de forma e função: implicações ecofisiológicas das estratégias de utilização de água e luz em plantas lenhosas do Cerrado. In: SCARIOT, A, SOUSA-SILVA J. C., FELFILI J. M. (Orgs.) **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente. p.179-196. 2005.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; BRITO, E.C. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho-Amarelo na região noroeste fluminense-RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1421-1428, 2007.

GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soil in the tropic with charcoal – a review. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 35, n. 4, p. 219-230. 2002.

INGARANO, O. E. **Indicadores Físicos de la Degradación del Suelo**. Tesis Doctoral. Universidad de La Coruña, Facultad de Ciencias, 2003. 298p.

KERN, D.C. **Caracterização pedológica de solos com Terra Preta Arqueológica na Região de Oriximiná, Pará.** 1988. 231p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

KERN, D.C. **Geoquímica e pedogeoquímica de sítios arqueológicos com Terra Preta na Floresta Nacional de Caxiuanã (Portel-Pará).** 1996, 124p. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Pará, Belém. 1996.

KERN, D. C.; KÄMPF, N. O Efeito de Antigos Assentamentos Indígenas na Formação de Solos com Terra Preta Arqueológica na Região de Oriximiná, Pará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.219-25, 1989.

KITAMURA, A.E.; ALVES, M.C.; SUZUKI, L.G.A.S.; GONZALEZ, A.P. Recuperação de um solo degradado com aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.405-416, 2008.

KONONOVA, M.M. **Materia orgánica del suelo:** su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. Barcelona : Oikos-tau ediciones, 1982. 365p.

LAIRD, D.; FLEMING, P.; WANG, B.; HORTON, R.; KARLEN, D. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. **Geoderma**, v. 158, n. 3, p. 436-442, 2010.

LIMA, J. D.; SAKAI, R. K.; ALDRIGHI, M. Produção de biomassa e composição química de adubos verdes cultivados no vale do ribeira. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 5, 2012.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras.** Piracicaba: Plantarum , 352p. 1992.

MACHADO, R. B.; RAMOS NETO, M. B.; PEREIRA, P. G. P.; CALDAS, E. F.; GONÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro.** Conservation International, Brasília, DF, 2004.

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.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (Org.). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas.** 1 ed. Manaus, AM: Editora da Universidade Federal do Amazonas / Embrapa CPAA, 2010, p. 172-188.

MARZALL, K.; ALMEIDA, J. Indicadores de sustentabilidade para agroecossistemas: estado da arte, limites e potencialidades de uma ferramenta para avaliar o desenvolvimento sustentável. **Cadernos de Ciências & Tecnologia.** v. 17, n. 1, p.41-59, 2000.

MUNNER, M. & OADES, J.M. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. III. Mechanics and models. **Soil Research**, v.27, p.411-423, 1989.

NEVES, L.G.; TIENNE, L.; VALCARCEL, R. (2001) Regeneração induzida em áreas de empréstimo na Ilha da Madeira, RJ. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRRJ, 11. **Resumos...**, Seropédica, RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2001, 369p, p.103-106.

NÓBREGA, Í. P. C. **Efeitos do biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: sequestro de carbono no solo. 2011.** Instituto superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal. Dissertação Mestrado

OGUNTUNDE, P. G.; FOSU, M.; AJAYI, A. E.; VAN DE GIESEN, N. Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 39, n. 4, p. 295-299, 2004.

PERIN, A.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G. Cobertura do solo e acumulação de nutrientes pelo amendoim forrageiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.791-796, 2003.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Ceres, 1991. 343p.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, v. 48, p. 27-29. 2003.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O. & BALBINOT JUNIOR, A.A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico aluminico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I- Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24 p.427-436, 2000.

SILVA, I.F. da; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.313-319, 1997.

SILVA, M.L.N.; BLANCANEUX, P.; CURI, N.; LIMA, J.M.; MARQUES, J.J.G.S. M. & CARVALHO, A.M. Estabilidade e resistência de agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Revista Agropecuária Brasileira**, v.33, p.97-103, 1998.

SOUZA, R. F., FAQUIN, V., ROGÉRIO, P., TORRES, F., & BALIZA, D. P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 6, p. 975-983, 2006.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Soil and Plant Science**, v.49, p.1-24, 1999.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions.** 2.ed. New York: J. Wiley, 1994. 496p.

SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; LIMA, C.L.R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1159-1167. 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. The management of ryegrass to stabilize aggregates of a red-brown earth. **Australian Journal of Soil Research**, v.18, p.415-422, 1980.

TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v.33, p.141-163, 1982.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. D; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.

USDA (United States Department of Agriculture). **Soil quality information sheet**. Soil Quality Indicators: Organic Matter, 1996.

WOODS, W. I.; MCCANN, J. M. The anthropogenic origin and persistence of Amazonian dark earths. In: Yearbook. **Conference of Latin Americanist Geographers. Conference of Latin Americanist Geographers**, p. 7-14.1999.

CAPITULO 1 - EFEITO DA APLICAÇÃO DO BIOCHAR SOBRE ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO EM PROCESSO DE RECUPERAÇÃO

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as alterações nos atributos físicos do solo, promovidas pela adição do biochar em área com solo degradado pela remoção da camada superficial e subsuperficial para a construção de usina hidrelétrica, em processo de recuperação. O delineamento foi definido em blocos casualizados, em um esquema fatorial 6x2, representado pelos seis tratamentos e as duas épocas de coleta de solo, a primeira anteriormente à aplicação do biochar e a segunda, seis meses após a adição do biochar (15 t ha^{-1}) aos tratamentos implantados no ano de 2004, com exceção da vegetação natural de Cerrado e solo exposto. A composição dos tratamentos foi definida pela combinação da espécie nativa Gonçalves-Alves, adubos verdes, lodo de esgoto e biochar, mais duas testemunhas (solo degradado e mata nativa de Cerrado). Para avaliação dos atributos físicos, porosidade e densidade do solo, 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). Os atributos de infiltração e resistência à penetração do solo foram amostrados em três pontos por parcela. Observou-se que a macroporosidade do solo, de modo geral, foi afetada principalmente nas camadas até 0,10 m, onde todos os tratamentos, com exceção dos tratamentos GA+CR e GA+BR+LE na profundidade de 0,05-0,10 m, apresentaram-se superiores ao solo degradado quando houve a aplicação do biochar. Concluiu-se, portanto que, em curto prazo, a aplicação do biochar aumenta a macroporosidade até a profundidade de 0,10 m, pouco interferindo nas demais propriedades físicas do Latossolo Vermelho álico degradado, em ambiente de cerrado, enquanto a presença de plantas de cobertura influencia positivamente as características de infiltração e resistência à penetração do solo.

Palavras-chave: Biofertilizante, Área de empréstimo, Resíduos agroindustriais.

CHAPTER 1 - BIOCHAR APPLICATION EFFECTS ON UNDER RECOVERY PROCESS OXISOL PHYSICS ATTRIBUTES

ABSTRACT

This study aimed at evaluating changes in soil physical properties, promoted by the addition of biochar in area with soil degraded by removing the top layer to build hydroelectric plant, in a recovery process. The design was a randomized block in a 6x2 factorial scheme, represented by the six treatments and both times solo collection, the first before the application of biochar and the second six months after the addition of biochar (15 t ha^{-1}) to the treatments implemented in 2004, with the exception of natural Cerrado vegetation and bare soil. The composition of the treatments was defined by the combination of native species Gonçalves-Alves, green manure, sewage sludge and biochar, plus two controls (bare soil and Cerrado native forest). To evaluate the physical attributes, soil porosity and soil density, samples from each plot were collected at four depths (0.00-0.05, 0.05-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.40 m), while the attributes of infiltration and soil penetration resistance were sampled at three points per plot. Soil macroporosity in general, was affected mainly 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 to be superior to the degraded soil when there was the application of biochar. Therefore, in the short term, the application of biochar increases macroporosity to a depth of 0.10 m, having little impact in other physical properties of degraded alic Oxisol, in cerrado environment, while the presence of cover crops positively affect the characteristics infiltration and penetration soil resistance.

Key-words: Biofertilizer, Borrow area, Agro-industrial waste

1 INTRODUÇÃO

A degradação dos solos ocorre naturalmente por meio da ação de fatores naturais como água, vento e gelo. Além destes fatores, a degradação pode ser intensificada pela ação antrópica (construção de estradas, hidrelétricas, atividades de mineração, atividades agrícolas, etc.), que diminui do solo de produzir alimentos, fibras e combustível (ALVES et al., 2010).

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 1 bilhão e meio de pessoas (BAI, 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 hidrelétricas a principal forma de obtenção de energia. Assim sendo, o país conta com 204 empreendimentos principais, os quais correspondem a 66% da potência instalada, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2013).

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 qualidade do solo. Tal ato, porém, consistirá inevitavelmente na restauração ou, ainda, na criação de um novo 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).

A incorporação de matéria orgânica e de carbono ao solo são muito importantes para o processo de recuperação de um solo degradado. Já as condições de temperatura e umidade na época das chuvas provoca a aceleração da decomposição dos materiais orgânicos presentes no solo.

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. Essa área, segundo Madari et al. (2009), pode ser expandida por consequência da queima, a qual aumenta a microporosidade do produto final. Esse produto possui uma gama bastante grande de aplicações, incluindo sua incorporação no solo, como um biofertilizante (biochar), para a melhoria das propriedades biológicas, físicas e químicas do mesmo. Um outro pontos positivo a ser mencionado é a sua elevada estabilidade, a qual lhe confere a característica de ser abrigo para os microorganismos do solo e de agir como sequestrador de carbono, impedindo as emissões de carbono para a atmosfera (NÓBREGA, 2011).

Para que sejam constatadas melhorias na qualidade do solo, devem-se tomar alguns atributos por parâmetros. As principais propriedades e fatores físicos utilizados para a avaliação e descrição da qualidade do solo segundo Ingarano (2003) são a porosidade, distribuição do tamanho de poros, densidade do solo, profundidade de enraizamento, resistência mecânica, condutividade hidráulica, distribuição de tamanhos de partículas. O fato destas propriedades serem inerentes ao solo faz delas instrumentos valiosos para a avaliação da qualidade do mesmo, haja vista que propriedades não podem ser modificadas facilmente.

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 da adição do biofertilizante biochar e culturas de cobertura na recuperação da estrutura de um Latossolo Vermelho, o qual foi revegetado com uma espécie arbórea nativa de cerrado há nove anos, em fase de recuperação.

2 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 - 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 (DEMATTE, 1980).

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho álico, textura franco argiloso arenosa, muito profundo. A sua fração argila é de baixa atividade, dominada essencialmente por gibbsita e caulinita (DEMATTE, 1980; EMBRAPA, 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 de "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 física (Tabela 1).

Em 2004 foi efetivado o preparo da área, realizando-se a limpeza superficial, subsolagem e gradagens (aradora e niveladora). Também naquele ano foi realizada uma única calagem na dose de $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ 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 ao respectivo tratamento, numa dose de 60 t ha^{-1} . Esse lodo teve sua composição química analisada, como consta na Tabela 2.

O lodo de esgoto teve como principal objetivo a adição de material orgânico no solo. Tendo sido proveniente de efluentes residenciais, o lodo não apresentou problemas relativos a metais pesados, podendo ser aplicado sem consequências negativas ao ambiente. Assim sendo, o lodo foi aplicado manualmente sobre o solo e logo depois incorporado por meio de uma gradagem.

Tabela 1 Características físicas do solo original (Cerrado) e degradado antes da implantação da pesquisa, Selvíria-MS, 2004.

Profundidade (m)	Macroporosidade -----m ³ m ⁻³ -----	Microporosidade -----m ³ m ⁻³ -----	Porosidade total	Densidade do solo kg dm ⁻³
Solo original (cerrado)				
0,00-0,05	0,17	0,23	0,40	1,43
0,05-0,10	0,16	0,25	0,40	1,45
0,10-0,20	0,18	0,22	0,40	1,47
Solo degradado				
0,00-0,05	0,06	0,28	0,34	1,63
0,05-0,10	0,06	0,26	0,32	1,77
0,10-0,20	0,07	0,29	0,36	1,78

Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 Caracterização química do lodo de esgoto utilizado

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

Fonte: Autoria própria.

Todos os tratamentos para recuperação do solo são compostos por uma espécie arbórea nativa de Cerrado, a Gonçalves-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott). A espécie arbórea nativa foi implantada com espaçamento de 3 m x 2 m, totalizando 25 plantas por parcela experimental. Cada parcela experimental era constituída de uma área de 92m² (8x12m), em 2004.

Para a braquiária (*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens*) a semeadura foi realizada a lanço, em fevereiro de 2004, utilizando-se 20 kg ha⁻¹ de sementes. Desde então, ela vem sendo manejada realizando-se a roçada, uma vez ao ano, após o período de chuva. Os demais adubos verdes foram implantados na mesma data. A crotalaria (*Crotalaria juncea*) foi cultivada em densidade de sementes, utilizando-se 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 dos adubos verdes, os quais foram roçados em pleno florescimento sem que fosse feita, posteriormente, sua incorporação ao solo.

O delineamento para a continuidade da pesquisa, foi estabelecido em novembro de 2013, em blocos casualizados, num esquema fatorial 6x2, representado pelos seis tratamentos e a 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 foi assim definida: 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.

O biochar foi aplicado na forma de coroamento em torno de nove plantas escolhidas aleatoriamente em cada parcela, a 30 cm de distância da base do caule e incorporado à profundidade de 20 cm no solo. A Tabela 4 resume as proporções relativas no biochar utilizado no presente trabalho e obtido pela pirólise da cama de aviário.

Tabela 3 Composição química do 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

Fonte: Autoria própria.

Para as análises dos atributos físicos do solo foram coletadas amostras indeformadas das camadas 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 local de aplicação e incorporação do biochar. Nesses locais foram realizadas as determinações de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, seguindo-se metodologia descrita pela EMBRAPA (1997).

A infiltração de água no solo também foi avaliada no local de incorporação do biochar, bem como fora deste, empregando-se a metodologia proposta por Zhang (1997), utilizando-se um mini-infiltrômetro de disco (Decagon Devices). Para tanto, foram avaliados três pontos por parcela.

Metodologia similar de amostragem foi adotada para avaliação da resistência do solo à penetração, utilizando-se um penetrômetro eletrônico, modelo FALKER PenetroLOG, com aptidão eletrônica para aquisição de dados. 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).

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

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ocorreram interações significativas para as variáveis macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo. A macroporosidade do solo foi alterada pelos tratamentos, principalmente nas camadas até 0,10 m., corroborando os resultados observados por Alves et al. (2012). Nessa camada, todos os tratamentos, com exceção dos tratamentos GA+CR e GA+BR+LE na profundidade de 0,05-0,10 m, apresentaram-se, após a aplicação do biofertilizante, superiores à área degradada original.

Segundo descrição de Tormenta et al. (2008) considera-se que o solo que recebeu a aplicação de biochar na camada superior (0-0,05 m), apresenta condições físicas consideradas adequadas ao desenvolvimento radicular das plantas, uma vez que essa camada de solo apresentou aeração com valores superiores a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

A adição do biofertilizante promoveu alterações na aeração do solo. Essas alterações podem ser resultantes da alta relação C/N do produto, implicando 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 este resultado pode estar também relacionado ao ato de incorporação do biofertilizante ao solo por meio da abertura de sulcos, sendo posteriormente fechados manualmente, inferindo na criação de poros pela ação física do revolvimento.

Diferentemente da macroporosidade, a microporosidade do solo não foi alterada nem pelos tratamentos instalados no ano de 2004, nem 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. Esse resultado era 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. Apesar do aumento da macroporosidade nos tratamentos GA, GA+FP e GA+BR+LE na camada 0,0-0,05 m e GA e GA+FP na camada de 0,05-0,10, esses valores ainda estão muito próximos aos tidos como limitantes para o desenvolvimento radicular das plantas (Tabela 4) os quais, segundo Tormena et al. (2002), estão entre os valores de 0,10 e 0,15 m³ m⁻³.

Tabela 4 Médias da 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

Tratamentos	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2
	Macroporosidade		Microporosidade		Porosidade Total	
	-----m ³ m ⁻³ -----					
	0,00-0,05 m					
Solo degradado	0,08cA	0,06dA	0,24aA	0,24aA	0,32cA	0,29bA
GA	0,07cB	0,13bcA	0,26aA	0,25aA	0,33bcB	0,39aA
GA+FP	0,10bcB	0,15abA	0,28aA	0,24aA	0,37bcA	0,39aA
GA+CR	0,12bA	0,11cA	0,28aA	0,30aA	0,39bA	0,41aA
GA+BR+LE	0,11bB	0,17aA	0,28aA	0,26aA	0,39bA	0,43aA
Cerrado	0,24aA	0,14bcB	0,26aA	0,28aA	0,51aA	0,42aB
CV (%)	13,14		13,41		7,78	
Média Geral	0,12		0,26		0,39	
0,05-0,10 m						
Solo degradado	0,06cA	0,6bA	0,23aA	0,23bA	0,29cA	0,29cA
GA	0,07cB	0,13aA	0,26aA	0,26bA	0,33bcB	0,39bA
GA+FP	0,07cB	0,11aA	0,27aA	0,23bA	0,34bcA	0,34bcA
GA+CR	0,12bA	0,5bB	0,26aA	0,30bA	0,38bA	0,35bcA
GA+BR+LE	0,06cA	0,7bA	0,26aA	0,24bA	0,32bcA	0,31bcA
Cerrado	0,21aA	0,14aB	0,29aB	0,39aA	0,49aA	0,53aA
CV (%)	20,43		12,40		10,43	
Média Geral	0,10		0,27		0,36	
0,10-0,20 m						
Solo degradado	0,05bcA	0,06abcA	0,24bA	0,24bA	0,29bA	0,31bA
GA	0,08bcA	0,05cB	0,27bA	0,27bA	0,34bA	0,31bA
GA+FP	0,07bcA	0,08abA	0,27bA	0,25bA	0,34bA	0,33bA
GA+CR	0,08bA	0,05abcB	0,26bA	0,28bA	0,35bA	0,33bA
GA+BR+LE	0,05cA	0,05bcA	0,24bA	0,26bA	0,29bA	0,31bA
Cerrado	0,13aA	0,09aB	0,34aB	0,39aA	0,47aA	0,48aA
CV (%)	23,16		9,53		7,70	
Média Geral	0,09		0,28		0,35	
0,20-0,40 m						
Solo degradado	0,05bA	0,04bA	0,23bA	0,23bA	0,28bA	0,28bA
GA	0,06bA	0,04bA	0,21bB	0,25bA	0,27bA	0,29bA
GA+FP	0,05bA	0,0bA	0,25bA	0,26bA	0,30bA	0,31bA
GA+CR	0,05bA	0,04bA	0,24bA	0,25bA	0,29bA	0,29bA
GA+BR+LE	0,04bA	0,04bA	0,24bA	0,24bA	0,28bA	0,27bA
Cerrado	0,13aA	0,08ab	0,36aA	0,38aA	0,49aA	0,46aA
CV (%)	23,95		7,41		6,03	
Média Geral	0,06		0,26		0,32	

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 (*Crotalária juncea*); GA+BR +LE = Gonçalo-alves+Braquiária+ lodo de esgoto

Fonte: Autoria própria.

A aplicação do biochar no solo proporcionou uma melhora significativa da camada superior (0,0-0,05 m) em relação ao solo degradado na macroporosidade, porosidade total e densidade do solo. Destaca-se o tratamento composto pela combinação de Gonçalves-alves, braquiária e lodo de esgoto, o qual possibilitou o menor valor de densidade do solo, após a aplicação do biofertilizante (Tabela 5). Apesar da superioridade dos demais tratamentos sobre a testemunha, esses apresentam densidade muito próxima à considerada como limitante para o desenvolvimento radicular, segundo Reichert et al. (2003), $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$.

Tabela 5 Médias da densidade (Mg m^{-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

Tratamento	Densidade do solo (Mg m^{-3})							
	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2	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 degradado	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= Gonçalves-alves+Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA+C= Gonçalves-alves+Crotalaria (*Crotalaria juncea*); GA+BR +LE = Gonçalves-alves+Braquiária+ lodo de esgoto

Fonte: Autoria própria.

Os resultados corroboram o que foi descrito 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 concordam 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 nessa mesma área. Na ocasião, as condições físicas do solo apresentadas estavam 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 biofertilizante foram notados, principalmente nas camadas até 0,20 m, onde houve uma diminuição considerável da densidade em relação à testemunha com solo exposto. Tais resultados concordam com os

apresentados por Arruda et al. (2013) que, trabalhando em área semelhante, obteve incremento nos teores de matéria orgânica no solo com a adição de lodo de esgoto, juntamente com o revolvimento para a sua incorporação. Esses foram, portanto, os principais fatores que favoreceram a melhoria das propriedades físicas das camadas até 0,20 m de profundidade.

A camada de 0,20-0,40 m foi menos afetada pelas culturas de cobertura, lodo de esgoto e adição de biochar, não diferindo da testemunha sem tratamento de recuperação.

Alves et al. (2012) ressaltam 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 para atingir sua plenitude. Na mesma linha, Alves & Souza (2008) afirmam que o processo de reestruturação do solo é lenta e deve ser realizada no tempo e por meio do manejo de solo e planta. Além disso, 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) ressaltam 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. O tratamento feito apenas com Gonçalo-alves, por sua vez, apresentou valores próximos de macroporosidade e densidade aos tratamentos com adubos verdes e, conseqüente, maior adição de MO. Esses resultados corroboram os estudos feitos por Alves et al. (2007).

Os tratamentos se diferenciaram em relação à infiltração de água no solo na segunda época de avaliação. Os tratamentos GA e GA+FP, entretanto, não diferiram do tratamento com solo exposto, sem aplicação do biochar. Houve diferença dos tratamentos GA +FP, GA+CR e GA+BR+LE entre as épocas, sendo que houve diminuição da infiltração acumulada na segunda época.

Para a infiltração acumulada na segunda época, destacaram-se os tratamentos em que foi feita 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. Tais resultados podem ser explicados por um provável selamento superficial devido ao impacto das gotas de chuva, favorecendo a dispersão física dos agregados ou também pela formação do selo superficial causado pelo caráter químico da aplicação do biochar. As taxas constantes de infiltração e infiltração acumulada diferiram entre os tratamentos nas épocas e entre épocas de avaliação (Tabela 6).

Tabela 6 Médias da infiltração acumulada e da taxa constante de infiltração para os diferentes tratamentos nas épocas de pré-aplicação do biochar e seis meses após a aplicação

Tratamentos	Taxa constante de infiltração (cm h ⁻¹)		Infiltração acumulada (cm)	
	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2
Solo degradado	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	1,24bcB
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= Gonçalves-alves+Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA+C= Gonçalves-alves+Crotalária (*Crotalaria juncea*); GA+BR+LE= Gonçalves-alves+Braquiária+ lodo de esgoto

Fonte: Autoria própria.

As maiores taxas de infiltração foram obtidas nos tratamentos que receberam cobertura do solo. Esse resultado pode estar relacionado à presença de plantas de cobertura. Argenton et al. (2005) observaram melhora nos atributos de um Latossolo vermelho. Os mesmos autores ainda indicam a utilização de plantas de cobertura

para a melhoria da qualidade de Latossolo vermelho com densidades superiores a $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$.

Apesar do maior teor de matéria orgânica no solo, a mata nativa de Cerrado apresentou menor taxa constante de infiltração e infiltração acumulada. Esse resultado, segundo Marchini (2012), está ligado ao mau desempenho do equipamento em solos com elevados teores de matéria orgânica e cobertura vegetal abundante.

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 (SOUZA, 2000; ALVES et al., 2007). Além disso, no presente trabalho, os tratamentos que continham plantas de cobertura apresentaram menor densidade, fator esse que, segundo Souza (2000), está inversamente ligado à taxa constante de infiltração.

Em relação à máxima resistência à penetração nas camadas de solo estudadas, de uma maneira geral, ocorreu 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, GA+FP, GA+CR e GA+BR+LE na camada de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m na época 1. Tal resultado corrobora os achados de Alves et al. (2012), os quais relacionam a menor resistência do solo à penetração aos maiores teores de matéria orgânica e, por conseguinte, a maior estabilidade de agregados em consequência da presença das plantas de cobertura.

Na segunda época de amostragem, configurou-se a 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. Esse resultado era esperado devido à condição natural da mata nativa, a qual não passou por processos de distúrbio. Entre as épocas de coleta houve aumento da resistência na época 2 para os tratamentos GA+FP na camada 0,0-0,05 m, GA na camada de 0,10-0,20 m e para os tratamentos GA e GA+BR+LE na camada de 0,20-0,40 m (Tabela 7).

Tabela 7 Médias da resistência à penetração da ração para os diferentes tratamentos nas épocas de coleta, sendo que, na época 2, a coleta foi realizada sobre a linha de aplicação do biochar

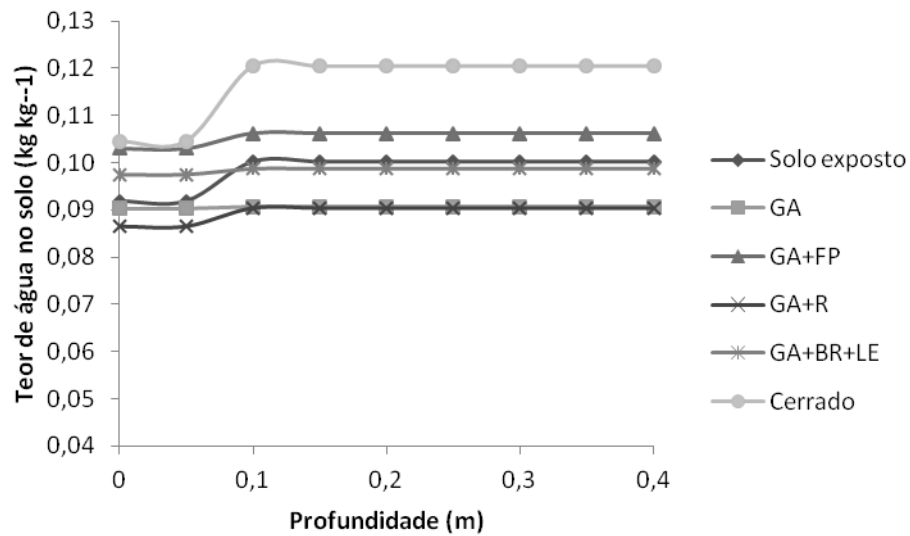
Tratamentos	Resistência à penetração (MPa)							
	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2
	0,00-0,05 m		0,05-0,10 m		0,10-0,20 m		0,20-0,40 m	
Solo degradado	6,08cA	6,84cA	9,57bA	10,58cA	13,08bA	12,34cA	13,35bA	15,15cA
GA	2,52bA	3,69bA	2,73aA	5,38bB	3,35aA	6,32abB	11,02bA	11,68bA
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= Gonçalves-alves+Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA+C= Gonçalves-alves+Crotalaria (*Crotalaria juncea*); GA+BR +LE = Gonçalves-alves+Braquiária+ lodo de esgoto

Fonte: Autoria própria.

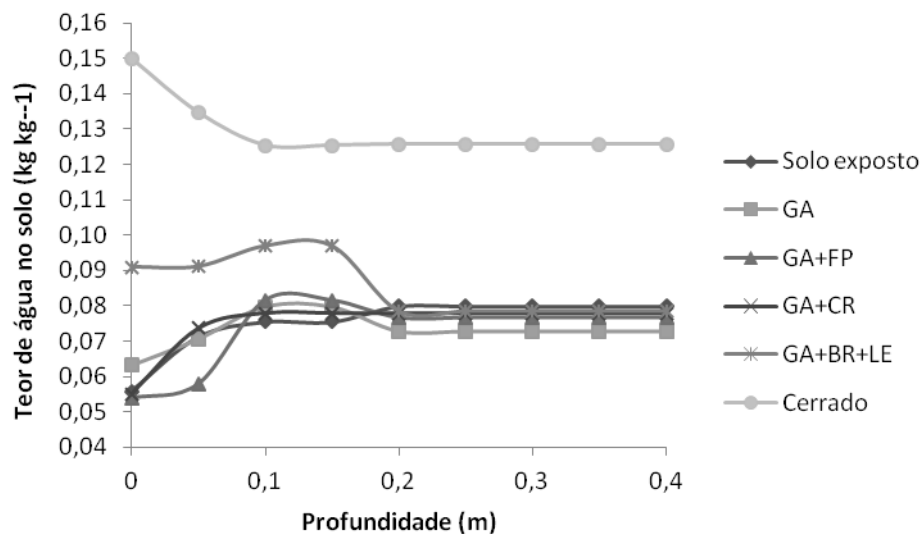
O aumento da resistência à penetração na segunda época também pode estar relacionado à menor umidade do solo em relação à primeira época de coleta (Figuras 1 e 2), sendo que a diminuição da umidade infere no aumento da resistência à penetração, como observado por Genro Júnior et al. (2004), ao analisar a variabilidade temporal da resistência à penetração em sistemas de semeadura direta com rotação de culturas em um Latossolo argissolo.

Figura 1 Umidade do perfil do solo nos tratamentos na primeira época de coleta.



Fonte: Autoria própria

Figura 2 Umidade do perfil do solo nos tratamentos na segunda época de coleta.



Fonte: Autoria própria.

Os altos valores de resistência do solo à penetração, obtidos no presente trabalho, indicam que todos os tratamentos apresentam condições inapropriadas para o desenvolvimento vegetal, com exceção da mata nativa de cerrado, uma vez que valores 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; EMBRAPA, 2005; SUZUKI et al., 2007).

A menor resistência à penetração do solo na mata nativa de cerrado possivelmente está relacionada ao maior teor de água e matéria orgânica no solo. Esse resultado corrobora o resultado observado por Alves et al. (2012), de acordo com o qual registrou-se uma diminuição da resistência à penetração nos tratamentos em que houve maior aporte de matéria orgânica por parte da adubação verde em conjunto com a aplicação de calcário e gesso, incidindo no aumento da estabilidade de agregados.

Frente ao exposto, é pouco provável que, após curto período da aplicação do biochar (seis meses), esse interfira nos atributos físicos do solo, porosidade, densidade, infiltração e resistência à penetração, pois estudos comprovam que o carbono pirogênico apresenta a maior média de vida dentre as frações que contêm carbono (PESSENDA et al., 2004). Neste sentido, ressalta-se que frações contendo carbono pirogênico, encontradas nas Terras Pretas de Índio na Amazônia, apresentaram idades estimadas em 500 a 7000 anos, de acordo com o método de radiocarbono (NEVES et al., 2003).

Em relação ao desenvolvimento das plantas de Gonçalves-alves, não houve interação significativa entre a aplicação do biochar e o incremento em altura e diâmetro, seis meses após a aplicação do biofertilizante. Tal fato se deve, muito provavelmente, às características intrínsecas de crescimento da espécie. Pereira & Rodrigues (2012) em trabalho avaliando o crescimento de diferentes espécies arbóreas utilizadas para a recuperação de áreas degradadas, constataram que a espécie *Astronium fraxinifolium* Schott apresentou menor crescimento em altura e em relação ao incremento em diâmetro de caule e copa, quando comparada às espécies *Pouteria torta*, *Hymenaea coubaril*, *Gliricidia sepium*, *Mimosa Artemísia*, *Luehea grandiflora*, *Guazuma ulmifolia*, *Mimosa caesalpineafolia*, *Anadenanthera macrocarpa*, *Ochroma pyramidalis* e *Albizia lebbek*. Outro fator importante é a condição ambiental em que a planta se encontra. Nesse sentido, Marangon et al. (2010) observaram que essa espécie, em condições naturais, encontra-se no extrato inferior de uma comunidade vegetal, indicando dissimilaridade entre as condições de áreas de ocorrência natural e de áreas degradadas às quais a mesma foi exposta.

A braquiária apresentou a maior produção de biomassa verde e seca dos adubos verdes (Tabela 9). Além disso, revelou uma alta capacidade de adaptação a solos degradados, podendo ser indicada como planta para produção de resíduos vegetais com alta relação C/N nessas condições. O feijão-de-porco, por sua vez, apresentou, respectivamente de 1.774,53 e 1.070,09 kg ha⁻¹, o que é considerado um baixo rendimento, tendo em vista a obtenção de maior produção em diferentes regiões do país (Maia et al, 2013; Medina et al, 2013; Oliveira, 2013). Os resíduos de leguminosas que possuem menor relação C/N, todavia, são extremamente interessantes para recuperação de solo degradado e tal cultura pode ser recomendada nessa situação, uma vez que a mesma apresentou produção de resíduos vegetais muito superior à crotalária (Tabela 8). A produção de massa seca da crotalária, por sua vez, foi extremamente baixa quando confrontada com resultados obtidos com essa cultura em Latossolo Vermelho distrófico, não degradado, localizado em região de Cerrado.

Apesar de ter efetivado o cultivo na primavera, Leal et al. (2013) obtiveram apenas 4186 kg ha⁻¹ de massa seca. Valores de biomassa muito superiores também foram obtidos por Lima et al. (2012), em experimento conduzido em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura média típico, onde a produção de biomassa seca de crotalária cultivada no verão atingiu 18.100,00 kg ha⁻¹. Da mesma forma, Cavalcante et al. (2012), obtiveram, em Argissolo Vermelho distrófico, 13.500,00 e 3.000,00 kg ha⁻¹ de massa verde e massa seca, respectivamente, para *Crotalaria juncea*. Portanto, apesar da *C. juncea* ser recomendada como adubo verde em solos de Cerrado cultivados em sistema plantio direto, não degradados, proporcionando maior lucratividade para a cultura do milho, como relatado por Leal et al. (2005), a mesma apresenta-se pouco adaptada para recuperação de solos degradados em áreas de empréstimo nessa mesma região.

Tabela 8 Rendimento de biomassa verde e seca de braquiária, feijão de porco e crotalária

Adubo verde	Biomassa verde	Biomassa seca
	-----kg ha ⁻¹ -----	
Braquiária	11.741,67a ¹	9.091,22a
Feijão-de-porco	1.774,53b	1.070,09b
Crotalária	464,78c	264,91c
CV (%)	22,15	20,79
DMS	1.039,44	727,51

Médias seguidas de letras iguais, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si a 5 % pelo teste de Tukey. CV = coeficiente de variação. DMS = diferença mínima significativa

Fonte: Autoria própria.

4 CONCLUSÕES

1. Em curto prazo, a aplicação do biochar aumenta, de forma geral, a macroporosidade, pouco interferindo nas demais propriedades físicas do Latossolo Vermelho álico degradado, em ambiente de cerrado.

2. A presença de plantas de cobertura influencia positivamente as características de infiltração e resistência à penetração do solo.

5 AGRADECIMENTOS

À Fundect, pela concessão da bolsa nível mestrado ao primeiro autor do presente trabalho.

Ao Eastern Cereal and Oilseed Research Center pela doação do biochar.

6 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relatório ANEEL 2012**. Brasília: ANEEL, 2013, 92p.

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J; FONTANA, E. C.; COSTA, F. S.; RECH, T, D. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da

indústria de celulose. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 26, n. 4, p. 1065-1073, 2002.

ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L. 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**, v. 5, n. 2, p. 301-318, 2009.

ALVES, M. C.; DO NASCIMENTO, V.; SOUZA, Z. M. Recuperação em área de empréstimo usada para construção de usina hidrelétrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 887-893, 2012.

ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. Recuperação de área degradada por construção de hidroelétrica com adubação verde e corretivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2505-2516, 2008.

ALVES, M.C.; SUZUKI, L.G.A.S.; SUZUKI, L.E.A.S. 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**, v.31,617-625, 2007.

ALVES, M.C.; WHALEN, J.K.; RODRIGUES, R.A.F.; MARCHINI, D.C., Aggregation and morphological properties of a degraded Oxisol receiving organic amendments. 19th World Congress of Soil Science, Brisbane, Australia. 2010. Published on DVD.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. D. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 425-435, 2005.

ARRUDA, O. G. D.; ALVES, M. C.; BONINI, C. D. S. B.; MARCHINI, D. D. C. Atributos físicos de um Latossolo degradado tratado com biossólido há cinco anos. **Científica**, v. 41, n. 1, p. 73-81, 2013.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. **Methods for assessing soil quality**. Madison, Soil Science Society of America, p.123-141, 1996.

BAI, Z. G. et al. Proxy global assessment of land degradation. **Soil Use and Management**, v. 24, n. 3, p. 223-234, 2008.

BONINI, C. D. S. B.; ALVES, M. C. Qualidade física de um Latossolo Vermelho em recuperação há dezessete anos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 329-336, 2012.

CAVALCANTE, V. S.; SANTOS, V. R.; SANTOS NETO, A. L.; SANTOS, M.; SANTOS, C.; COSTA, L. C. Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 521-528, 2012.

CESP - Centrais Elétrica do Estado de São Paulo. Diretoria de Meio Ambiente. Recomposição vegetal. São Paulo: CESP, 1998. 11p.

DEMATTE, J.L.I. **Levantamento detalhado dos solos do Campus Experimental de Ilha Solteira**. Piracicaba. 1980, 131p. (Mimeografado).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ, 2011. 230 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- Embrapa Cerrados. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (DF). **Compactação dos solos: consequências para o desenvolvimento vegetal**. Planaltina, 2005. 26 p. (Documento, 136).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA **Solos**. Ministério da Agricultura. Pecuária e Abastecimento. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Rio de Janeiro, 2013. 353 p.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, 2004 .

INGARANO, O. E. **Indicadores Físicos de la Degradación del Suelo**. Universidad de La Coruña, Facultad de Ciencias, 2003. 298p. Tese Doutorado

KITAMURA, A.E.; ALVES, M.C.; SUZUKI, L.G.A.S.; GONZALEZ, A.P. Recuperação de um solo degradado com aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.405-416, 2008.

LEAL, A. J. F.; LAZARINI, E.; RODRIGUES, L. R.; MARCANDALLI, L. H. Adubação nitrogenada para milho com o uso de plantas de cobertura e modos de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 2, p. 491-501, 2013.

LEAL, A. J. F.; LAZARINI, E.; TARSITANO, M. A. A.; SÁ, M. E.; GOMES JÚNIOR, F. G. Viabilidade econômica da rotação de culturas e adubos verdes antecedendo o cultivo do milho em sistema de plantio direto em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 3, p. 298-307, 2005.

LIMA, J. D.; SAKAI, R. K.; ALDRIGHI, M. Produção de biomassa e composição química de adubos verdes cultivados no vale do ribeira. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 5, 2012.

MADARI, B.E., T.J.F. CUNHA, E.H. NOVOTNY, D.M.B.P. L.; et al. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (terra preta de índio). Suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. Em: **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus. p.172-188. 2009.

MAIA, F. E. N.; MIRANDA, N. D. O.; MELO, I. G. C.; VIANA, M. G. P.; GÓIS, S. R. D. P. Densidades de semeadura na produção de biomassa de plantas de feijão de porco no município de Mossoró, RN. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 1, p. 43-49, 2013.

MARANGON, G. P.; CRUZ, A. F.; BARBOSA, W. B.; LOUREIRO, G. H.; HOLANDA, A. C. D. Dispersão de sementes de uma comunidade arbórea em um remanescente de Mata Atlântica, município de Bonito, PE. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 5, 2010.

MARCHINI, D. C. **Agregação de um Latossolo em recuperação após 5 anos. Ilha Solteira**. Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista. 2012. 68p. Dissertação Mestrado.

MEDINA, C. C.; NEVES, C. S. V. J.; AITA, C.; BORDIN, I.; PRETI, E.; ZACCHEO, P. V. C.; URQUIAGA, S. Aporte de matéria seca por raízes e parte aérea de plantas de cobertura de verão. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 675-682, 2013.

NEVES, E. G.; PETERSEN, J. B.; BARTONE, R. N.; SILVA, C. A. D. Historical and socio-cultural origins of Amazonian Dark Earths. In LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, W. I. (eds) **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2003. p. 29-50.

NÓBREGA, Í. P. C. **Efeitos do biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: sequestro de carbono no solo**. 2011, 46p. Dissertação de Mestrado – Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2001.

OLIVEIRA, T. C.; SILVA, J. R.; DE FREITAS, M. D. S. C.; DE SOUSA ARAÚJO, C. A.; LIMA, L. O. Produção de biomassa fresca e seca por diferentes leguminosas no Submédio São Francisco. **Cadernos de Agroecologia**, v. 8, n. 2, 2013.

PESSENDA, L. C. R.; GOUVEIA, S. E. M.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; VALENCIA, E. P. E. Holocene fire and vegetation changes in southeastern Brazil as deduced from fossil charcoal and soil carbon isotopes. **Quaternary International**. v. 114, n. 1, p. 35-43. 2004.

PEREIRA, J. S.; RODRIGUES, S. C. Crescimento de espécies arbóreas utilizadas na recuperação de área degradada. **Caminhos de Geografia**, v. 13, n. 41, 2012

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, v. 48, p. 27-29. 2003.

SOUZA, Z.M. **Propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro de Selvíria (MS) sob diferentes usos e manejos**. 2000. 127p. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000.

SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; LIMA, C.L.R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1159-1167. 2007.

TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; ROSSI JUNIOR, W. Resistência tênsil e friabilidade de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 33-42, 2008.

VIEIRA, M. L.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.31, p.1271-1280. 2007.

ZHANG, R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disc infiltrometer. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 61, p. 1024-1030, 1997.

CAPÍTULO 2 - ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DA ADOÇÃO DE BIOCHAR E CULTURAS DE COBERTURA EM ÁREA DE RECUPERAÇÃO

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as alterações nos atributos químicos do solo, promovidos pela adição do biochar em solo degradado pela remoção da camada superficial, em processo de recuperação com culturas de cobertura e espécie arbórea nativa. O delineamento adotado foi definido em blocos casualizados, em esquema fatorial 6x2, duas épocas de coleta de solo, anterior à aplicação do biochar e seis meses após a aplicação do biochar (15 t ha⁻¹) e seis tratamentos implantados no ano de 2004. A composição dos tratamentos foi assim definida: 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. Amostras de cada parcela foram coletadas em três profundidades (0,00-0,05, 0,05-0,10 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 significativo 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. Portanto, o biochar eleva os teores de potássio na camada em que é incorporado no solo, seis meses após a sua aplicação, não alterando a composição química do solo nas camadas até 0,20 m em relação aos valores de pH, H+Al, CTC, V e m e aos teores de P, Ca, Mg e Al, enquanto que a aplicação de lodo de esgoto em solo degradado e o manejo dessa área com braquiária durante nove anos propiciam aumento no teor de fósforo no solo.

Palavras-chave: Biofertilizante, Área de empréstimo, Resíduos agroindustriais

CHAPTER 2 SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES DUE TO THE ADOPTION OF BIOCHAR AND COVER CROPS IN RECOVERY AREA

ABSTRACT

This study aimed at evaluating changes in soil's chemical attributes, promoted by the addition of biochar in area with soil degraded by the top layer removing to build hydroelectric plant, in the recovery process. The design was randomized block in a 6x2 factorial scheme, represented by the six treatments and two times solo collection, the first before the application of biochar and the second six months after the addition of biochar (15 t ha^{-1}) to the treatments implemented in 2004, with the exception of natural Cerrado vegetation and bare soil. The composition of the treatments was defined as follows: T1 - Exposed solo; T2 – Goncalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) + biochar; T3 – Goncalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) + sunn hemp (*Crotalaria juncea*) + biochar; T4 – Goncalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) + *Canavalia ensiformis*; T5 – Goncalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) and sewage sludge (60 t ha^{-1}) + *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens*; T6 - Native Cerrado Forest. Samples from each plot were collected at three depths (0.00-0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m), in which were determined the levels of P, K, Ca, Mg and Al and pH, Al H +, SB, CTC, in% V%. The analyses showed that there was a significant increase of K in the layer of 0.05-0.10 m, which is a result of the application of biochar, which had no effect on the other variables. Therefore, biochar increases the potassium content in the layer in which it is incorporated into the soil within six months of its implementation, not altering the chemical composition of the soil in layers up to 0.20 m in relation of pH, H + Al, CTC, V values and the P, Ca, Mg and Al levels.

Key-words: Biofertilizer, Borrow area, Agro-industrial waste

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 do solo e recursos hídricos, quando mal manejados.

Há grande interesse no que diz respeito à 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 perturbadas, onde constatarem-se atividades antrópicas degenerativas ao solo (MODESTO et al., 2009).

A aplicação em excesso desses resíduos, entretanto, pode ter efeito contrário ao esperado, trazendo prejuízos como toxidez causada pelos altos teores de alguns elementos, contaminação por metais pesados e deslocamento do material aplicado para corpos hídricos ou outras áreas que não as de interesse, devido à má disposição e forma de aplicação dos resíduos no solo.

A cama de aviário é tida como importante fonte de adubação orgânica e é comumente usada como fertilizante em regiões onde 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 traz ao solo, buscam-se métodos para a otimização da aplicação desses produtos, aumentando a disponibilidade de nutrientes e manutenção da matéria orgânica por longos períodos no solo, o que não ocorre em grande parte dos ambientes do território brasileiro devido às condições edafoclimáticas.

O emprego do tratamento por pirólise rápida da cama de aviário tem como um de seus produtos o biochar, que possui alto teor de carbono, além de conter quantidades consideráveis de N, P, K, 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 no solo, como um biofertilizante (biochar), para a melhoria das propriedades biológicas, físicas e químicas do mesmo. Outros pontos positivos do biochar são sua elevada estabilidade, a qual lhe confere a característica de abrigo para os micro-organismos do solo e de sequestrador de carbono, impedindo as emissões de carbono para a atmosfera (NÓBREGA, 2011).

Com base no disposto anteriormente, o presente trabalho tem como objetivo avaliar as alterações nos atributos químicos do solo, promovidas pela adição do biochar e adoção de culturas de cobertura em área com solo em processo de recuperação após remoção da camada superficial, para a 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 do rio Paraná, no município de Selvíria - MS ($20^{\circ}22'40''\text{S}$, $51^{\circ}24' 41,90''\text{W}$ 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 (DEMATTE, 1980).

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho álico, textura franco argiloso arenosa, muito profundo. A sua fração argila é de baixa atividade, dominada essencialmente por gibbsita e caulinita (DEMATTE, 1980; EMBRAPA, 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 de "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 física (Tabela 1).

Tabela 1 Características químicas do solo original (Cerrado) e degradado antes da implantação da pesquisa, Selviria-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 _c 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

Fonte: Autoria própria.

Em 2004 foi efetivado o preparo da área, realizando-se a limpeza superficial, subsolagem e gradagens (aradora e niveladora). Também naquele 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 ao respectivo tratamento, numa dose de 60 t ha⁻¹. Esse lodo teve sua composição química analisada como consta na Tabela 2.

Tabela 2 Caracterização química do lodo de esgoto utilizado

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

Fonte: Autoria própria.

O lodo de esgoto teve como principal objetivo a adição de material orgânico no solo. Tendo sido proveniente de efluentes residenciais, o lodo não apresentou problemas relativos a metais pesados (Tabela 3), podendo ser aplicado sem consequências negativas ao ambiente. Assim sendo, o lodo foi aplicado manualmente sobre o solo, sendo, logo depois, incorporado por meio de uma gradagem.

Todos os tratamentos para recuperação do solo são compostos por uma espécie arbórea nativa de cerrado, a Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott). A espécie arbórea nativa foi implantada com espaçamento de 3 m x 2 m, totalizando 25 plantas por parcela experimental. Cada uma de tais parcelas era constituída de uma área de 92m² (8x12m), em 2004.

Tabela 3 Análise química (teores totais) para fins de toxicidade do lodo de esgoto utilizado

Elementos	Resultado -----mg L ⁻¹ -----	Limite máximo
Alumínio	0,100	0,200
Arsênio	Nd	0,050
Bário	0,400	1,000
Cadmio	0,004	0,005
Chumbo	0,003	0,050
Cianeto	Nd	0,100
Cloretos	39,000	250,000
Cobre	0,040	1,000
Cromo total	Nd	0,050
Dureza	120,000	500,000
Fenol	Nd	0,001
Ferro total	2,860	0,300
Fluoretos	0,640	1,500
Manganês	0,300	0,100
Mercurio	Nd	0,001
Nitrato	4,700	10,000
Prata	0,020	0,050
Selênio	Nd	0,010
Sulfato	27,900	400,000
Sódio	48,400	200,000
Surfactantes	Nd	0,200
Zinco	3,640	5,000

Nd = não detectado

Método de análise baseado na 20^a edição do “Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater” Análises efetuadas Segundo a NBR 10.004 – Resíduos Sólidos. Análises realizadas no Laboratório Labortecnia Tecnologia Ltda (www.labortec.com.br).

Fonte: Autoria própria.

Para a braquiária (*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens*) a semeadura foi feita a lanço, tendo sido realizada em fevereiro de 2004, utilizando-se 20 kg ha⁻¹ de sementes. Desde então a mesma vem sendo manejada realizando-se a roçada uma vez ao ano, após o período de chuva. Os demais adubos verdes foram implantados na mesma data. A crotalária (*Crotalaria juncea*) foi cultivada em densidade de sementes, a 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 dos adubos verdes, os quais foram roçados em pleno florescimento sem que fosse feita, posteriormente, a sua incorporação ao solo.

O delineamento para a continuidade da pesquisa foi estabelecido em novembro de 2013, em blocos casualizados, num esquema fatorial 6x2, representado pelos seis tratamentos e a duas épocas de coleta de solo, a primeira anteriormente a 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.

O biochar foi aplicado na forma de coroamento em torno de nove plantas escolhidas aleatoriamente em cada parcela, a 30 cm de distância da base do caule e incorporado à profundidade de 20 cm no solo. . A Tabela 4 resume as proporções relativas no biochar utilizado no presente trabalho e obtido pela pirólise da cama de aviário.

Tabela 4 Composição química de 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
Merúrio	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

Fonte: Autoria própria.

A composição dos tratamentos foi assim definida: 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, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, em três pontos por parcela, fora e sobre o sulco de aplicação do biochar, ambas formando amostras compostas. Utilizando-se o método de extração com resina trocadora de íons, foram determinados os teores de fósforo, potássio, magnésio, cálcio e alumínio dessas amostras. O teor de matéria orgânica do solo (MOS) foi determinado pelo método colorimétrico e o pH em cloreto

de cálcio, acidez potencial (hidrogênio + alumínio) a pH 7,0. Em seguida foram calculadas as somas de bases ($SB = Ca + Mg + K$), capacidade de troca catiônica ($CTC = SB + (H + Al)$) e saturação por bases ($V\% = (100 \times SB) / CTC$), de acordo com a metodologia descrita em Raij et al. (2001)

Os dados resultantes das coletas foram analisados efetuando-se a 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 os 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 (Tabela 5). Para as demais camadas de profundidade foram verificadas diferenças entre os tratamentos ou entre as épocas de coleta (Tabela 7). Esse efeito se deve à aplicação do biochar, feita de forma concentrada na camada 0,05-0,10. Além disso, convém ressaltar que o biochar possui, em sua composição química, elevados teores de K, cujos teores, apesar do aumento, continuam baixos, não favorecendo o desenvolvimento vegetal. Destacam-se, ainda, as diversas funções exercidas por esse nutriente na manutenção e desenvolvimento vegetal, participando de processos osmóticos, da síntese de proteínas, da abertura e fechamento de estômatos, da permeabilidade da membrana, do controle do pH da célula e da ativação de cerca de 60 sistemas enzimáticos, destacando-se a ribulose-bisfosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco), enzima chave no processo fotossintético (MALAVOLTA et al. 1997).

Tabela 5 Desdobramento da interação entre tratamentos e épocas de coleta para as médias dos teores de K, na camada 0,05-0,10 m

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

Fonte: Autoria própria.

A aplicação de lodo de esgoto na recuperação do solo em 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 6). Esse resultado se deve à alta concentração de P presente no lodo de esgoto, o qual foi aplicado na implantação do experimento (Fev. de 2004). O mesmo efeito foi observado por Silva et al. (2002), ao utilizar o lodo de esgoto para incremento da produtividade do milho em Latossolo.

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 7). Esse resultado era esperado devido à aplicação e incorporação do calcário (2,0 t ha⁻¹) nestes tratamentos no início do experimento de recuperação.

O menor teor de Ca encontrado no tratamento GA+BR+LE é explicado pela utilização deste 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. Os mesmos autores enfatizam que há acúmulo crescente de matéria seca pelas plantas durante seu ciclo. Consequentemente, há importação dos nutrientes que compoem essa massa e, em relação ao cálcio, os principais órgãos de acúmulo são folhas, raízes, caules + colmos, respectivamente.

Tabela 6 Valores de F, valores médios de pH e teores médios de P e K nas camadas de 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m dos tratamentos e das épocas de coleta de solo

Trat	pH (CaCl ₂)			P (mg dm ⁻³)			K (mmolc 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. GA+FP= Gonçalves-alves+Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA+C= Gonçalves-alves+Crotalaria (*Crotalaria juncea*); GA+BR +LE = Gonçalves-alves+Braquiária+ lodo de esgoto

Fonte: Autoria própria.

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 7, 8 e 9). A ocorrência desses eventos é de suma importância para o estabelecimento da vegetação na área de estudo, tendo em vista os efeitos maléficos do Al e da acidez sobre o desenvolvimento vegetal.

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 7 Valores de F e teores médios de Ca, Mg e H+Al nas camadas de 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m dos tratamentos e das épocas de coleta de solo

Trat	Ca (mmolc dm ⁻³)			Mg (mmolc dm ⁻³)			H+Al (mmolc 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	3,13b	4,38c	2,88b	1,63c	1,63c	1,25b	15,50c	14,75bc	14,13bc
GA	6,50a	6,63c	6,13a	3,88bc	3,88ab	2,75a	12,75c	11,88c	12,63c
GA+FP	7,13a	7,00c	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	5,08c	4,28a	5,21a	3,42a	2,54a	23,46a	19,10a	18,97a
Época 2	5,83a	5,25c	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. GA+FP= Gonçalves-alves+Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA+C= Gonçalves-alves+Crotalaria (*Crotalaria juncea*); GA+BR +LE = Gonçalves-alves+Braquiária+ lodo de esgoto.

Fonte: Autoria própria.

Para os teores de matéria orgânica foi observada a superioridade da mata nativa de cerrado sobre os demais tratamentos. Dentre os tratamentos implantados para a recuperação do solo destacou-se o GA+BR+LE. Isso muito se deve à grande produção de serrapilheira na mata nativa, a qual fornece grande quantidade de material orgânico ao solo aumentando, conseqüente, as atividades biológicas de decomposição e deslocamento desse material entre as camadas do perfil do solo. O

mesmo ocorre no tratamento GA+BR+LE, porém de uma forma menos intensa. A alta produtividade de biomassa vegetal da braquiária, tanto da parte aérea quanto radicular, proporciona o aumento da atividade macro e 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.

Segundo Assad (1997), as gramíneas são elementos de grande importância na adição de matéria orgânica e na reestruturação do solo. Isso se deve ao seu sistema radicular fasciculado capaz de formar canais de infiltração, de armazenar água no solo e de atuar como agente de descompactação do solo.

Tabela 8 Valores de F, teores médios de Al e valores médios de SB e CTC nas camadas de 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m dos tratamentos e das épocas de coleta de solo

Trat	Al (mmolc dm ⁻³)			SB (mmolc dm ⁻³)			CTC (mmolc 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	4,25b	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	2,9€	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. GA+FP= Gonçalves-alves+Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA+C= Gonçalves-alves+Crotalaria (*Crotalaria juncea*); GA+BR +LE = Gonçalves-alves+Braquiária+ lodo de esgoto
Fonte: Autoria própria.

Sistemas de pastagem formados por braquiária mostram-se eficientes no acúmulo de matéria orgânica em relação à vegetação de Cerrado. Tal fato muito se

deve ao seu sistema radicular, que é abundante e volumoso, apresentando contínua renovação e elevado efeito rizosférico (D'ANDREA et al., 2004).

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. Esse fato está, provavelmente, ligado às condições climáticas nas épocas das coletas, pois a quantidade e a qualidade do material que se deposita no solo sofrem efeito direto do tipo de vegetação e as condições ambientais, alterando a heterogeneidade da microbiota e a taxa de decomposição dos materiais (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002).

Tabela 9 Valores de F e teores médios de MO, V% e m% nas camadas de 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m dos tratamentos e das épocas de coleta de solo

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

Fonte: Autoria própria.

Pode-se inferir 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, conseqüentemente, dos teores de matéria orgânica nessas camadas. Essa análise corrobora os estudos de Santana (2005) que, trabalhando em área de Caatinga, salientou que o estresse hídrico reduz a atividade das plantas e da população microbiana.

Os demais tratamentos tiveram teores de matéria orgânica muito próximos ao solo exposto. 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. 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 em aumentar a produção de biomassa das plantas por meio da disponibilização e do aumento de nutrientes no solo (LEHMANN et al., 2003; 2003a).

4 CONCLUSÕES

O biochar eleva os teores de potássio na camada à qual é incorporado no solo, seis meses após a sua aplicação.

A aplicação de lodo de esgoto em solo degradado e o manejo dessa área com braquiária durante nove anos propiciam aumento no teor de fósforo no solo.

Em curto prazo, o biochar não altera a composição química do solo nas camadas até 0,20 m em relação aos valores de pH, H+Al, CTC, V e m e aos teores de P, Ca, Mg e Al.

5 AGRADECIMENTO

À Fundect, pela concessão da bolsa nível mestrado ao primeiro autor do presente trabalho.

Ao Eastern Cereal and Oilseed Research Center pela doação do biochar.

6 REFERÊNCIAS

ABREU JÚNIOR, C. H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A. F. Relationship between acidity and chemical properties of Brazilian soils. **Scientia Agricola**, v.60, p.337-343, 2003.

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 p. 974-983, 2007.

ASSAD, M. L. L. FAUNA DO SOLO. IN: VARGAS, M. A. T.; Hungria, M. **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA, 1997. 524 p.

BIANCO, S.; TONHAO, M. A. R.; PITELLI, R. A. Crescimento e nutrição mineral de capim-braquiária. **Planta Daninha**, v. 23, n. 3, p. 423-428, 2005.

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, 2006.

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, n. spe, p. 1991-1998, 2009.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N. GUINARÃES, L.R. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.2, p.179-186, 2004.

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, 2010.

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.

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. (eds) **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2003b. p. 105-124.

LEHMANN, J.; SILVA, J. P. DA; 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, The Hague**, v. 249, n. 2, p. 343-357, 2003a.

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. Em: **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus. p.172-188. 2009.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319p.

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.

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. 625p.

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, p.1475-1485, 2007.

NÓBREGA, Í. P. C. **Efeitos do biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: sequestro de carbono no solo**. 2011. 46p. Dissertação de Mestrado - Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; J. A. QUAGGIO. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC. 2001.

SANTANA, J. A. da S. **Estrutura fitossociológica, produção de serrapilheira e ciclagem de nutrientes em uma área de Caatinga no Seridó do Rio Grande do Norte**. 2005, 184p. Tese de Doutorado – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2005.

SILVA, M. B., KLIEMANN, H. J., DA 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.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; SHARMA, R.D. Alternativa agronômica para o bioestábulo produzido no Distrito Federal. I – Efeito na produção de milho e adição de metais pesados em Latossolo no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 487-495, 2002.

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.