

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
DEPARTAMENTO DE FITOSSANIDADE, ENGENHARIA RURAL E SOLOS.
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - SISTEMAS DE PRODUÇÃO

AGREGAÇÃO DE UM LATOSSOLO EM RECUPERAÇÃO APÓS 5 ANOS.

CANDIDATA: ***DÉBORA DE CÁSSIA MARCHINI***

ORIENTADORA: ***PROF^a DR^a MARLENE CRISTINA ALVES***

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia, UNESP – Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Especialidade: Sistemas de Produção.

ILHA SOLTEIRA - SP

Março/2012.

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

AGREGAÇÃO DE UM LATOSSOLO EM RECUPERAÇÃO APÓS 5 ANOS

DÉBORA DE CÁSSIA MARCHINI

Orientadora: Prof^a. Dr. MARLENE CRISTINA ALVES

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira,
para obtenção do título de Mestre em
Agronomia.

Especialidade: Sistemas de Produção

Ilha Solteira – SP

Março/2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação

M317a Marchini, Débora De Cássia.
Agregação de um latossolo em recuperação após 5 anos / Débora de Cássia Marchini. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2012
69 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2012

Orientador: Marlene Cristina Alves
Inclui bibliografia

1. Estrutura do solo. 2. Infiltração de água no solo. 3. Tomografia do solo.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Agregação de um latossolo em recuperação após 5 anos

AUTORA: DÉBORA DE CASSIA MARCHINI

ORIENTADORA: Profa. Dra. MARLENE CRISTINA ALVES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA,
Área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. MARLENE CRISTINA ALVES

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Profa. Dra. KAREM CRISTINE PIROLA NARIMATSU

Fundação Educacional de Andradina / Faculdades Integradas Stella Maris

Data da realização: 08 de março de 2012.

DEDICATÓRIA.

Aos meus pais, Eliana e Renato, pela confiança, carinho e força que sempre me apoiaram, incentivaram, compreenderam e deram todas as condições necessárias para que eu pudesse alcançar meus objetivos. A vocês meu sincero e eterno amor, carinho e respeito.

As minhas irmãs Marina e Marcela, pelos conselhos sobre a vida e por cada momento juntas, pelo eterno carinho, amizade, amor e paciência em todos os momentos.

“O bem que hoje fazemos, é uma garantia de felicidade futura, embora nunca possamos dizer quando ou de que forma essa felicidade virá às nossas mãos.”

David Dunn

AGRADECIMENTOS

À Prof^a. Dr^a. Marlene Cristina Alves pelo incentivo, amizade, orientação, confiança, paciência, ensinamentos e principalmente por ter despertado em mim o incentivo à pesquisa.

À FAPESP pela bolsa concedida de estudos, aos longos destes dois anos.

Aos docentes do curso de Agronomia, que sempre colaboraram para minha formação e à pesquisa.

À Faculdade de Engenharia (FE/UNESP) – Campus de Ilha Solteira, do qual tenho muito orgulho e me identifico, meus agradecimentos pela formação acadêmica, condições oferecidas e possibilidade de engrandecimento profissional; bem como, ao Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos e ao Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio- Economia, pelo apoio, ajuda nos momentos em que precisei e auxílio a pesquisa.

À EMBRAPA Instrumentação, São Carlos, pela colaboração nas análises tomográficas.

Ao técnico Senhor Valdivino dos Santos, pela amizade, auxílio, companheirismo e por tanto esforço empregado em minha ajuda.

Aos funcionários da FEPE (Fazenda de Ensino e Pesquisa), ao chefe da Fazenda Cerrado - Baiano e ao chefe da fazenda bovino - Cicero, tratoristas e técnicos de campo, ficam aqui registrados meus agradecimentos.

Aos companheiros de laboratório e campo Otton, Sebastião, Carol, Elza, Romulo, Tatiana, Vinicius, Laura, Ligia, Gisele, Lilian, Danilo que não faltaram em nenhum momento a minha ajuda, sem falar das horas extras feitas no ponto de encontro.

Aos meus grandes amigos da Pós-Graduação: Juliana Fernandes, Natalia, Zito, Jorge, Renato, Amilton, Gustavo, Flávio, Camila, Erica, João e Admar e aos demais alunos da PPGA, pelas horas de aflição, angustia e estudos, bem como o carinho e amizade.

A Bad Gang e Rep. COMVENTO: Laura, Ligia, Izabel, Jessica, Isabô, Índia, Renata, Poli e demais agregadas pelo enorme carinho, amizade e compreensão, fico eternamente grata por terem me dado todo suporte e amizade em um momento importante da minha vida e carreira.

Aos amigos Osvaldo (Jacu), Marcelo (Jeca), Bruno (Meleca), Bruno Merino, Joao Vitor (Lagarto), Leonardo (Salete), Vinicius (Bene), pelas horas de diversão, amizade e ombro quando mais precisei.

As amigas de muitas horas Laura, Ligia, Elza, Angélica, Carol, Janaina, Tatiana, Nenê, Mirian (Bita), Camila Pivaro, Mariana, Dani, Juh, Josi (Fia), sem vocês eu nada seria, valeu por tudo, vocês foram especiais em minha vida e ficaram para sempre guardadas no coração.

Aos demais amigos e amigas que fizeram toda diferença para um mestrado concluído, que me apoiaram e me confortaram de alguma maneira, fica aqui meu MUITO OBRIGADO!!!

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1.	Usinas hidrelétricas e áreas degradadas	13
2.2.	Indicadores e a qualidade do solo	14
2.3.	Atributos físicos do solo	15
2.4.	Adição de material orgânico ao solo	16
3.	MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1.	Localização e características gerais da área experimental	19
3.2.	Delineamento experimental e tratamentos	20
3.3.	Instalação e condução do experimento	21
3.4.	Avaliações do solo	30
3.5.	Avaliações da espécie arbórea nativa	33
3.6.	Avaliações dos adubos verdes	34
3.7.	Avaliações da <i>Brachiaria decumbens</i>	35
3.8.	Forma de análise dos resultados	35
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1.	Distribuição e estabilidade de agregados em água	36
4.2.	Infiltração de água no solo	39
4.3.	Matéria orgânica do solo	44
4.4.	Morfologia do solo	47
4.5.	Espécie arbórea nativa	51
4.6.	Adubo verde	53
4.7.	<i>Brachiaria decumbens</i>	55
5.	CONCLUSÕES	57
	REFERENCIAS	58

Lista de Tabelas

1.	Características químicas do solo original (Cerrado) e degradado antes da implantação da pesquisa, Selvíria-MS, 2004.	21
2.	Características físicas do solo original (Cerrado) e degradado antes da implantação da pesquisa, Selvíria-MS, 2004.	22
3.	Caracterização química do lodo de esgoto.	23
4.	Análise química (teores totais) para fins de toxicidade do lodo de esgoto utilizado de Araçatuba-SP.	24
5.	Caracterização química da área experimental na profundidade de 0,00-0,20m, Selvíria-MS, 2010.	25
6.	Macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo da área experimental, Selvíria-MS, 2010.	25
7.	Caracterização química da área experimental na profundidade de 0,00-0,20m, Selvíria-MS, 2011.	29
8.	Macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo da área experimental, Selvíria-MS, 2011.	29
9.	Valores médios de porcentagem de distribuição de tamanho de agregados e DMP, em função dos tratamentos, na profundidade do solo de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 m. Selvíria-MS, 2010.	37
10.	Valores médios de porcentagem de distribuição de tamanho de agregados e DMP, em função dos tratamentos, na profundidade do solo de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 m. Selvíria-MS, 2011.	38
11.	Media da Taxa constante de infiltração e infiltração acumulada dos diferentes tratamentos para a recuperação de um solo degradado, Selvíria-MS, 2010.	41
12.	Media da Taxa constante de infiltração e infiltração acumulada dos diferentes tratamentos para a recuperação de um solo degradado, Selvíria-MS, 2011.	39
13.	Valores médios para teor de matéria orgânica do solo nas camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 m, para os tratamentos estudados, Selvíria-MS, 2010.	45
14.	Valores médios para teor de matéria orgânica do solo nas camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 m, para os tratamentos estudados, Selvíria-MS, 2011.	45
15.	Media aritmética do diâmetro (cm) e altura (m) do Gonçalo-alves em diferentes épocas de avaliações, Selvíria-MS, 2010.	52
16.	Media aritmética do diâmetro (cm) e altura (m) do Gonçalo-alves em diferentes épocas de avaliações, Selvíria-MS, 2011.	53
17.	Media da massa verde e seca do adubo verde, Feijão-de-porco (<i>Canavalia ensiforme</i>), Selvíria-MS, 2010 e 2011.	54
18.	Medias de massa verde e seca da <i>Brachiaria decumbens</i> , nas diferentes épocas de avaliações, Selvíria-MS, 2010.	55
19.	Medias de massa verde e seca da <i>Brachiaria decumbens</i> , nas diferentes épocas de avaliações, Selvíria-MS, 2011.	56

Lista de Figuras

1.	Precipitação pluvial total durante os anos de 2004 a 2011.	19
2.	Vista geral da vegetação nativa de cerrado.	21
3.	Semeadura a lanço manual realizada nos tratamentos com adubação verde.	26
4.	Vista do tratamento Gonçalves-alve+crotalária, após a segunda tentativa de semeadura, Janeiro, 2010.	27
5.	Aspecto das plântulas de crotalária depois de emergidas, Fevereiro, 2010.	27
6.	Vista da parcela Gonçalves-alves+crotalária, após a quarta tentativa de semeadura em Março, 2010.	28
7.	Vista geral indicando a falha da semeadura da crotalária, em Novembro de 2011.	28
8.	Torrão de solo para análise de agregados estáveis em água.	30
9.	Mini infiltrômetro de disco.	31
10.	Coleta de amostras para análise do teor de matéria orgânica.	32
11.	Coleta de amostras para análise da tomografia do solo.	32
12.	Microtomógrafo de raio-x.	33
13.	À esquerda avaliação da altura do Gonçalves-alves, à direita, avaliação do diâmetro.	34
14.	Vista do tratamento Gonçalves-alves+feijão-de-porco. À esquerda em março de 2010 e à direita em março de 2011.	34
15.	Infiltração acumulada (cm) em função do tempo (s), nos respectivos tratamentos, Selvíria-MS, 2010.	43
16.	Infiltração acumulada (cm) em função do tempo (s), nos respectivos tratamentos, Selvíria-MS, 2011.	44
17.	Imagens tomográficas (duas repetições) do solo na camada de 0,00-0,05 m, referentes aos tratamentos: A- Vegetação nativa de cerrado, B- Solo exposto, C- Gonçalves-alves, D- Gonçalves-alves+Crotalária, E- Gonçalves-alves+Feijão-de-porco, F- Gonçalves-alves+lodo de esgoto+ <i>Brachiaria decumbens</i> , respectivamente.	48
18.	Imagens tomográficas (duas repetições) do solo na camada de 0,05-0,10 m, referentes aos tratamentos: A- Vegetação nativa de cerrado, B- Solo exposto, C- Gonçalves-alves, D- Gonçalves-alves+Crotalária, E- Gonçalves-alves+Feijão-de-porco, F- Gonçalves-alves+lodo de esgoto+ <i>Brachiaria decumbens</i> , respectivamente.	49
19.	Imagens tomográficas (duas repetições) do solo na camada de 0,10-0,20 m, referentes aos tratamentos: A- Vegetação nativa de cerrado, B- Solo exposto, C- Gonçalves-alves, D- Gonçalves-alves+Crotalária, E- Gonçalves-alves+Feijão-de-porco, F- Gonçalves-alves+lodo de esgoto+ <i>Brachiaria decumbens</i> , respectivamente.	50

- | | | |
|-----|---|----|
| 20. | À esquerda Gonçalo-alves+lodo de esgoto+ <i>Brachiaria decumbens</i> , à direita tratamento apenas com Gonçalo-alves. | 53 |
| 21. | Vista do feijão-de-porco cobrindo a entrelinha do Gonçalo-alves, março de 2010. | 54 |

RESUMO

A utilização dos solos, além da capacidade de suporte dos mesmos e a pressão imposta por grandes construções, têm resultado em solos cada vez menos produtivos chegando, em muitos casos, a um nível de degradação extremo. Baseado neste argumento, o presente trabalho teve início em 2004 com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes manejos com diferentes tipos de adubações (verde e orgânica) e o plantio de uma espécie arbórea, na recuperação da estrutura de um solo degradado. O experimento foi instalado em uma área de subsolo na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Unesp – Campus de Ilha Solteira em Selvíria-MS. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com seis tratamentos e cinco blocos. Os tratamentos estudados foram: A- Vegetação natural de Cerrado; B- Solo exposto; C- Gonçalves-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott); D- Gonçalves-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott)+nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) até 2005, após substituído pela crotalária (*Crotalaria juncea*); E- Gonçalves-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott)+feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); F- Gonçalves-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott)+lodo de esgoto (60 t ha⁻¹)+ *Brachiaria decumbens*. As avaliações físicas realizadas foram retiradas em 2010 e 2011: estabilidade de agregados em água, infiltração de água no solo e morfologia do solo. A análise química realizada foi o teor de matéria orgânica do solo. Também foi avaliado o desenvolvimento da espécie arbórea e massa verde e seca dos adubos verdes e da gramínea. A estabilidade de agregados, o teor de matéria orgânica e as imagens tomográficas foram melhores indicadores para detectar mudanças positivas na recuperação do solo. A infiltração de água no solo foi maior nos tratamentos Gonçalves-alves+Crotalária e Gonçalves-alves+Feijão-de-porco. Os tratamentos com Gonçalves-alves+Crotalária, Gonçalves-alves+Feijão-de-porco; e Gonçalves-alves+lodo de esgoto+*Brachiaria decumbens* nas imagens tomográficas foram os que apresentaram melhores condições da estrutura do solo, comparada ao solo sob vegetação nativa de Cerrado. De forma geral, o tratamento Gonçalves-alves+lodo de esgoto+ *Brachiaria decumbens* foi o mais indicado para a recuperação do solo degradado em estudo. Neste tratamento verificaram-se os maiores valores de estabilidade de agregados, teor de matéria orgânica no solo e desenvolvimento da espécie arbórea. A área está sendo recuperada, principalmente na profundidade de 0,00–0,10 m, onde o teor de matéria orgânica é mais expressivo.

Palavras-Chave: Estrutura do solo. Infiltração de água no solo. Tomografia do solo. Lodo de esgoto. Adubo verde.

ABSTRACT

The use of soil, besides its ability to support and the pressure imposed by large building, are results soil in fewer production capacity often reaching an extreme level of degradation. Based on this argument, this study began in 2004 with the objective of evaluating the effect of different soil management with different types of fertilizers (organic and green manure) and the planting of a tree species, the recovery of a degraded soil structure. The experiment was conducted in a subsoil in the area belonged to Experimental Station of UNESP – Ilha Solteira Campus in Selvíria county-MS. A randomized blocks design with six treatments and five repetitions was used. The treatments were: A-natural Savannah vegetation, B-Solo exposed, C- *Astronium fraxinifolium* Schott, D- *Astronium fraxinifolium* Schott+*Raphanus sativus* until 2005, after replaced by *Crotalaria juncea*, E-*Astronium fraxinifolium* Schott+*Canavalia ensiformis*, F- *Astronium fraxinifolium* Schott+sewage sludge (60 t ha⁻¹)+*Brachiaria decumbens*. The physical assessments performed were withdrawn in 2010 and 2011: aggregate stability in water, infiltration of water into the soil and the soil morphology. The chemical analysis performed was the content of soil organic matter. We also assessed the development of tree species and fresh and dry mass of green manure and pasture. The aggregate stability, organic matter content and the tomographic images were better indicators to detect positive changes in land reclamation. The infiltration of soil water was higher in treatments Gonçalves-alves + *Crotalaria* and Gonçalves-alves + *Canavalia ensiformis*. Treatments with *Crotalaria* + Gonçalves-alves, Gonçalves-alves + *Canavalia ensiformis*; and Gonçalves-alves + sewage sludge + *Brachiaria decumbens* on CT images were those with better soil structure, compared to soil under native vegetation of Cerrado. In general, the treatment Gonçalves-alves + sewage sludge + *Brachiaria decumbens* was the most suitable for the recovery of degraded soil under study. In this treatment there were higher values of aggregate stability, organic matter content in the soil and development of tree species. The area is being recovered, mainly from 0.00 to 0.10 m in depth, where the organic matter content is more expressive.

Keywords: Soil structure. Infiltration of water into the soil. Soil tomographic images. Sewage sludge. Green manure.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial, a necessidade cada vez maior de alimentos, espaço e condições para sobrevivência, têm resultado em grandes pressões sobre o ambiente. O uso inadequado do solo, além da capacidade de suporte do mesmo, tem gerado uma grande quantidade de áreas degradadas anualmente. A história do uso do solo tem mostrado que a alteração no ambiente nem sempre dá lugar a um novo sistema ecológico sustentável, dessa forma, solos utilizados intensamente e de forma inadequada, têm sido levados à degradação.

Área degradada são extensões naturais que perderam a capacidade de recuperação natural após sofrerem distúrbios seja pela ação do homem ou natural.

Quando da construção de Usinas Hidrelétricas grandes volumes de solos das áreas do entorno da obra são removidos, para efetuar a terraplanagem e fundação da parede da barragem. Conseqüentemente ocorre a degradação dos solos destas áreas, pois os mesmos ficam expostos, compactados, pelo tráfego de máquinas pesadas e, com baixa capacidade de restauração, devido à retirada do banco de sementes e da camada fértil do solo. Devido à falta de informações a respeito da importância da manutenção dos ecossistemas terrestres e a leis mais permissivas, as Usinas hidrelétricas construídas até a década de noventa não necessitavam de relatórios de impactos ambientais. Por isso, no Brasil, até hoje existem centenas de hectares de solos expostos e com alto grau de degradação na área onde foi retirada camada de solo para estas obras civis.

O uso de diferentes coberturas vegetais e práticas culturais atuam diretamente sobre os atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Deste modo a adição de material orgânico torna-se imprescindível para a melhoria da qualidade do solo, possibilitando a recuperação do ecossistema local.

O uso de indicadores que traduzem a recuperação do solo tem sido muito discutido, pois um único atributo nem sempre é sensível para avaliar a qualidade do solo. Assim para detectar a recuperação do solo foram adotados alguns indicadores físicos e químicos do solo.

A análise da estrutura do solo e movimento de água no solo muitas vezes são sensíveis a mudanças na estrutura, agregação, porosidade e transformação do solo. Quantificar e avaliar a adição de matéria orgânica do solo é muito importante, visto que a partir da matéria orgânica do solo que darão início a vários outros processos de recuperação da área degradada, porem é um atributo químico muito sensível a mudanças no ecossistema e de difícil quantificação.

Baseado nos argumentos citados anteriormente no sentido de buscar alternativas viáveis para recuperar estas áreas, esta pesquisa está sendo desenvolvida com o objetivo de avaliar os efeitos das adubações verdes e orgânicas na recuperação da estrutura de um Latossolo Vermelho em recuperação, que foi revegetado com uma espécie arbórea nativa de cerrado há seis anos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Usinas hidrelétricas e áreas degradadas

A degradação dos solos tem sido observada em decorrência de manejos inadequados, oriundos de atividades antrópicas (construção de estradas, hidrelétricas, atividades de mineração, atividades agrícolas, etc.), diminuindo a capacidade do solo de produzir alimentos, fibras e combustível (ALVES et al., 2010).

Com a industrialização do país e a modernização de suas fontes energéticas e de infraestrutura na década de 60, tornou-se necessário a construção de novas Usinas Hidrelétricas nesse período. Com isso, pela falta de conhecimento e uma legislação específica, estas grandes construções deixaram como sequelas para as futuras gerações as chamadas “áreas de empréstimo”. Estas áreas são os locais onde se retiram materiais para complementar os volumes de solos necessários à execução de terraplanagens e fundações (LOPES et al., 1994).

O Estado de São Paulo possui 25 reservatórios de geração de energia elétrica, com capacidade instalada de 10,2 milhões de quilowatts. Estas Usinas Hidrelétricas geram aproximadamente 95 % da energia elétrica produzida no Estado e 20 % de toda a produção nacional. Mesmo sendo a hidroeletricidade, uma alternativa tecnológica para produção de energia considerada ambientalmente mais vantajosa em relação às demais, a formação dos reservatórios implica na ocorrência de diversos impactos ao ambiente, atingindo elementos físicos, biológicos e sócio-econômicos da região (COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO- CESP, 1998).

A construção de usinas hidrelétricas envolve a retirada expressiva de solo para a construção das barragens, que provoca profundas modificações ambientais nestes ecossistemas (CARPANEZZI et al., 1998). Em locais decorrentes de obras civis, o denominador comum dessas áreas degradadas é a remoção do horizonte superficial, causando sérios problemas físicos, químicos e biológicos ao solo (DUDA et al., 1999). Sob essas condições de substrato, a sucessão ecológica leva séculos para repor por meios naturais uma comunidade clímax no local (BEGON et al., 2006).

Uma medida mitigadora destes impactos seria o uso de cobertura vegetal por ser uma opção coerente, prática e econômica, embora apresente dificuldades de adaptações inerentes ao novo sistema ecológico que se desenvolve no local de origem (NEVES et al. 2001).

2.2. Indicadores e a qualidade do solo

Em um planejamento de recuperação de uma área degradada, o grande desafio a ser alcançado é o estabelecimento de um novo horizonte A, para que a partir daí, o processo seja catalisado pela biosfera, podendo surgir outros horizontes, conforme o condicionamento natural (KITAMURA et al., 2008). Portanto, em um trabalho de recuperação, a primeira atividade compreende a identificação e caracterização dos processos de degradações atuantes e a análise de suas consequências ambientais. Para isto, é necessário o uso de indicadores que traduzam quantitativa ou qualitativamente o grau da degradação existente e, ainda, permitam estimar a dimensão dos esforços técnicos e econômicos que deverão ser alocados na recuperação (BITAR, 1997).

Na recuperação de uma área degradada a definição e uso de indicadores de avaliação e monitoramento de ecossistemas naturais tem sido muito discutido. A diversidade biológica tem papel fundamental na manutenção da integridade e no funcionamento dos ecossistemas. Essa, junto com a intensidade e longevidade das perturbações, vai determinar a resiliência dos ecossistemas. Esta indica a capacidade do ecossistema de se regenerar após alguma degradação natural ou antrópica, estando assim relacionada com a “saúde” do ecossistema (ARONSON et al., 1993).

Dentre os monitoramentos necessários, as condições de solo e clima são fundamentais, pois estas são as que fornecerão a sustentabilidade do sistema. O calor, assim como a água e o oxigênio são essenciais à maioria dos seres vivos. O desenvolvimento destes depende da temperatura, em virtude de seu efeito nos processos físicos, químicos e biológicos.

Diferentes condições externas e internas do solo afetam os processos de infiltração, retenção, armazenamento e evaporação da água. Há, portanto, segundo Salton e Mielniczuk (1995), grande influência dessas condições sobre a temperatura e umidade do solo, sendo necessário selecionar práticas adequadas, que considerem as peculiaridades do ambiente quanto aos solos e às alterações em suas propriedades. Portanto, no processo de recuperação de um solo dois pontos são fundamentais: definir as melhores interferências quanto à aceleração do processo de reabilitação do solo e, os indicadores mais adequados para diagnosticar a saúde (qualidade) do solo.

Stenberg (1999) enfatiza que nenhum indicador individualmente conseguirá descrever e quantificar todos os aspectos de qualidade do solo. Nem mesmo uma única qualidade do solo pode ser avaliada, já que deve haver uma relação entre todas as propriedades do solo. Assim, um número mínimo de propriedades deve ser selecionado. Os critérios para a seleção

de indicadores relacionam-se principalmente, com a sua utilidade em definir os processos do ecossistema. Estes integram as propriedades físicas, químicas e biológicas, além da sensibilidade ao manejo e variações climáticas (DORAN, 1994).

O conceito de qualidade do solo começou a ser elaborado no início da década de 90 e percepções diferenciadas surgiram desde que o tema foi proposto. Alguns estudos que envolvem o conceito de qualidade do solo apenas estudam as propriedades físicas do solo (COSTA et al., 2003; BERTOL et al., 2004; CAMPOS; ALVES, 2008).

Segundo Ingarano (2003) para a avaliação da qualidade do solo, as principais propriedades e fatores físicos que são considerados adequados para descrevê-la são: porosidade, distribuição do tamanho de poros, densidade do solo, profundidade de enraizamento, resistência mecânica, condutividade hidráulica, distribuição de tamanhos de partículas, etc. Muitas destas propriedades físicas são imprescindíveis para avaliar a qualidade do solo dado que são componentes inerentes ao mesmo e não podem ser modificados facilmente (textura).

Os relatos na literatura sobre indicadores da qualidade do solo são divergentes e, numa recente revisão sobre a contribuição da qualidade do solo para a saúde ambiental, Jaenicke (2001) conclui que a qualidade do solo continua a receber pouca atenção, embora haja maior conscientização dos potenciais benéficos de uma definição de indicadores da qualidade. Salienta também que existem brechas significativas em nossa habilidade para identificar as relações físicas, químicas e ecológicas necessárias à qualidade ambiental.

2.3. Atributos físicos do solo

Alterações de propriedades físicas do solo podem manifestar-se de várias maneiras, influenciando o desenvolvimento das plantas. Uma área que foi submetida à retirada expressiva de solo tende a perder a estrutura original, pelo fracionamento dos agregados em unidades menores, com conseqüente redução no volume de macroporos e aumentos no volume de microporos e na densidade do solo (TISDALL; OADES, 1980; CARPENEDO MIELNICZUK, 1990).

A presença de camadas compactadas em subsuperfície reflete uma degradação estrutural. Além das implicações citadas anteriormente, essa degradação também irá influenciar a taxa final de infiltração de água no solo e o desenvolvimento radicular das plantas (DALLA ROSA, 1981; SILVA; 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, influem grandemente na infiltração da água no solo.

Rodrigues et al. (2002) explicam que a infiltrabilidade é um importante indicador de estruturação, agregação e transformação do material litólico. De acordo com estes mesmos autores, a infiltrabilidade da água no solo influenciaria na melhoria na capacidade de suporte do solo, propiciando um ambiente mais favorável às colonizações espontâneas das espécies, criando sinergia para a reconstrução do ecossistema. Alves et al. (2007), estudando a infiltração de água como indicadores da qualidade física de um solo em recuperação, concluíram que a taxa de infiltração de água é um bom indicador da qualidade do solo.

Reichert et al. (1992) mencionam que a textura do solo afeta o salpico de partículas provocado pelo impacto das gotas de chuva, contribuindo para uma redução da porosidade da camada superficial do solo. Além do impacto da gota, Morin e Van Winkel (1996) citam a dispersão físico-química das argilas do solo como causa da formação do selamento superficial e, conseqüentemente, da redução da taxa de infiltração.

Roth et al. (1991), constataram que manejos que mantêm o solo descoberto diminuem a estabilidade de agregados, causando selamento superficial, reduzindo a infiltração de água e, conseqüentemente, induzindo à enxurrada e à erosão. Por isso, a estabilidade de agregados tem sido usada como indicador da qualidade física do solo, pois é sensível às alterações, conforme o manejo adotado.

A micromorfologia é uma técnica muito útil no estudo da gênese do solo e na avaliação e no monitoramento de diversas práticas agrícolas. O uso de técnicas de análise de imagens nos estudos quantitativos e qualitativos de estrutura do solo, tem se tornado mais comum, com maior acesso a equipamentos e programas, e maior número de pesquisadores na área.

Com o auxílio das técnicas de processamento e análise digital de imagem, a micromorfologia é capaz de fornecer resultados de porosidade com precisão, além de, possibilitar a visualização das alterações estruturais causadas pela compactação e adensamento do solo. A descrição e a quantificação detalhada das feições do solo, utilizando técnicas micromorfológicas e de análise de imagens, permitem obter evidências acerca dessas mudanças nos atributos físicos do solo (CASTRO et al., 2003).

2.4. Adição de material orgânico ao solo

O conteúdo de matéria orgânica em solos de regiões tropicais, altamente intemperizados, é geralmente baixo. 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).

A dinâmica da matéria orgânica influencia os principais processos químicos, físicos e biológicos nos solos, e determina, muitas vezes, sua fertilidade (COLEMAN et al., 1989). De acordo com Alves (1992), a adição e o balanço de matéria orgânica no solo são fundamentais para melhoria e a manutenção das condições físicas internas e externas de um solo. A autora explica que estas condições só poderão ser alcançadas e mantidas, via biológica; isto é, por meio da ação de raízes, da atividade macro e microbiológica e decomposição do material orgânico.

O conteúdo de matéria orgânica no solo torna-se um atributo importante na recuperação de áreas degradadas, melhorando sua estrutura como um todo, incluindo atributos físicos como a densidade do solo, a resistência do solo à penetração de raízes, a estabilidade de agregados, porosidade e retenção de água, além dos atributos químicos e biológicos que irão favorecer o crescimento das plantas (MIELNICZUK; SCHNEIDER, 1984; SCHJONNING; CHRISTENSEN, 1994; KAY, 1998; MALLORY; PORTER, 2007; RILEY et al., 2008).

Hoje, diversas pesquisas têm estudado o efeito da adição de fontes alternativas de matéria orgânica com o objetivo de melhorar as propriedades físicas e químicas do solo. Uma alternativa muito promissora é a utilização do lodo de esgoto como fonte de matéria orgânica ao solo. Tem sido considerada uma alternativa promissora como adubo orgânico devido à sua sustentabilidade, além de ser uma opção viável para a deposição final deste resíduo. Devido às suas propriedades físico-químicas, o lodo de esgoto pode ser utilizado em áreas degradadas a fim de recuperar as características necessárias para o desenvolvimento da vegetação (CASTRO et al., 2002).

Muitos estudos têm destacado a importância da aplicação do lodo de esgoto no condicionamento e químico do solo. De acordo com Silva et al. (2002), Kitamura et al. (2008) aplicação de lodo ao solo tem propiciado elevação dos teores de fósforo. Cavallaro et al. (1993) discutem sobre a elevação do teor de carbono orgânico no solo. Melo et al. (1994) verificaram a elevação das frações húmicas da matéria orgânica no solo. Além da elevação do pH, melhoria da condutividade elétrica e da capacidade de troca de cátions, observados por Oliveira et al. (2002).

Outra corrente tem estudado a adição de matéria orgânica ao solo através da utilização de adubos verdes. Nascimento et al. (2003) verificaram ao estudar o efeito de adubos verdes em um solo degradado, que as leguminosas contribuíram com a elevação do pH e dos teores de potássio e magnésio. Favero et al. (2001) concluiu que a adubação verde teria função catalisadora na dinâmica de sucessão das espécies.

Alcântara et al. (2000), explicam que os efeitos promovidos pela adubação verde nas propriedades químicas do solo são bastante variáveis, dependendo da espécie utilizada, do manejo dado à biomassa, da época de semeadura, do corte do adubo verde, do tempo de permanência dos resíduos no solo, das condições locais e das interações desses fatores. Avaretto et al. (2000) mencionam que as culturas forrageiras, gramíneas e leguminosas, em função de suas características, têm sido utilizadas em programas de recuperação de áreas degradadas.

Além da escolha correta da fonte de material orgânico e de nutrientes, cabe destacar a importância da cobertura vegetal. A escolha das espécies para recuperação de áreas degradadas, principalmente aquelas que reiniciarão a sucessão local, segundo Carpanezzi (1998), obrigatoriamente deverá atender um conjunto de quesitos associados às condições edáficas locais e um máximo grau de interação com a biota. A reimplantação da vegetação nativa ou a adaptação de espécies exóticas possibilita a produção de matéria orgânica, bem como a recuperação da comunidade microbiana do solo, que tem papel fundamental nas transformações que equilibram e sustentam os ecossistemas naturais (RUIVO, 1993) e cultivados (MASCHIO et al., 1992).

Aguiar et al. (2000) acreditam que uma alternativa, a qual pode acelerar a recuperação das áreas degradadas, é utilizar espécies nativas do local, junto com espécies que acelerem o equilíbrio químico e físico do solo, sendo de grande importância para o reequilíbrio do ecossistema os adubos verdes que são importantes na cobertura inicial do solo. Cabe salientar que o solo não é apenas um material inerte que reflete a composição do material de origem, mas forma-se e desenvolve-se como resultado do efeito de fatores ambientais ativos, como clima e vegetação, sobre o material, em dado tempo (OLIVEIRA et al., 2000).

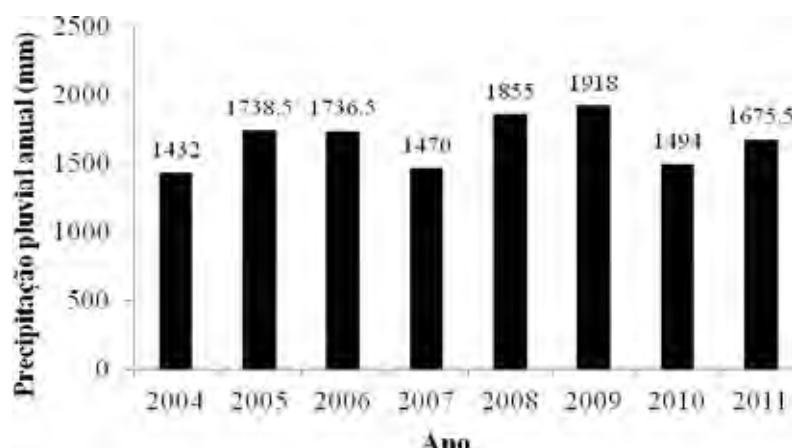
No processo de recuperação, a seleção de espécies, bem como a determinação de requerimentos nutricionais, constitui passos importantes para se obter o sucesso esperado. A utilização de espécies de rápido crescimento, como as leguminosas, que desenvolveram simbioses com bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrízicos têm se mostrado bastante promissoras.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e características gerais da área experimental

O experimento foi instalado na Fazenda de Ensino e Pesquisa, da Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira (Unesp), situada no município de Selvíria, MS, à margem direita do rio Paraná, nas coordenadas geográficas de 51° 22' de longitude oeste de Greenwich e 20° 22' de latitude sul, com altitude de 327 metros. Apresenta médias anuais de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar, de 1370 mm, 23,5° C e 75 %, respectivamente. O tipo climático segundo Köppen é Aw, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O período chuvoso se estende de outubro a março, sendo que os meses de dezembro, janeiro e fevereiro constituem o trimestre mais chuvoso, e o trimestre mais seco corresponde aos meses de junho, julho e agosto (média de 27 mm) (PEREIRA et al., 2002). Na Figura 1, têm-se os dados de pluviosidade de 2004 ate 2011.

Figura 1- Precipitação pluvial total durante os anos de 2004 a 2011.



Fonte: Marchini (2012)

O relevo da região é caracterizado como moderadamente plano a ondulado e a vegetação nativa é cerrado. Os cerrados são formações não florestais, de fisionomia peculiar, pouco densas, caracterizadas por apresentar indivíduos de porte atrofiado, de troncos retorcidos, cobertos por casca espessa e fendilhada, de engalhamento baixo e copas assimétricas, folhas na maioria grandes, algumas coreáceas, de caule e ramos encortiçados. Constam principalmente de um extrato herbáceo rasteiro, predominantemente graminóide, e um extrato arbustivo-arbóreo de até cerca de 8 metros de altura (DEMATTÊ, 1980).

O relevo é suave a plano e o solo original é um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico de textura média (DEMATTE, 1980; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA, 2006), profundo e muito intemperizado. O experimento foi conduzido em área degradada, de onde foi retirada uma camada de solo de 8,60 m de espessura para utilização na terraplanagem e fundação da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, SP. A sua construção iniciou na década de 60 e o subsolo, da área de estudo, está exposto desde 1969. Mesmo após a retirada dessa espessa camada de solo, o mesmo apresentou horizonte B remanescente, sobre o qual o experimento foi instalado. Próximo ao reservatório da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, essa área foi fortemente impactada, quando a partir da construção da Usina (final da década de 60) retirou-se grande quantidade de solo para os trabalhos de terraplanagem e construção civil, expondo o subsolo da área de estudo (1969). Desde o início da década de 70, esta área está, na sua maioria, sujeita à regeneração natural, sendo que algumas pesquisas têm sido desenvolvidas numa tentativa de recuperação da mesma.

3.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental adotado é o de blocos casualizados, com 6 tratamentos e 5 repetições. Cada parcela ocupa uma área de 96 m² (12 m x 8 m), que totaliza 576 m² por tratamento e 2880 m² na área total. Caracterizou-se também uma área com vegetação natural de cerrado, localizada em Selvíria, Mato Grosso do Sul, nas seguintes coordenadas: 51° 24' 28,08" de longitude oeste e 20° 21' 39,37" de latitude sul (Figura 2) (Fonte: Google earth).

Os tratamentos que estão sendo estudados são os seguintes:

- A. Vegetação natural de Cerrado;
- B. Solo exposto;
- C. Gonçalves-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott);
- D. Gonçalves-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott)+nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) até 2005, após substituído pela crotalária (*Crotalaria juncea*);
- E. Gonçalves-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott)+feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*);
- F. Gonçalves-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott)+lodo de esgoto (60 t ha⁻¹)+*Brachiaria decumbens*.

Figura 2- Vista geral da vegetação nativa de cerrado.

Fonte: Marchini (2012)

3.3 Instalação e condução do experimento

A instalação do experimento foi em 2004 em uma área de empréstimo, de onde foi retirada uma camada de solo de aproximadamente 8,60 m para utilização na construção da barragem da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, SP.

Antes da implantação do experimento realizou-se a caracterização química e física do solo (Tabela 1 e Tabela 2).

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

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

Tabela 2- Características físicas do solo original (Cerrado) e degradado antes da implantação da pesquisa, Selvíria-MS, 2004.

Prof (m)	Macroporosidade -----m ³ m ⁻³ -----	Microporosidade -----m ³ m ⁻³ -----	Porosidade total	Dens. 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

A pesquisa foi implantada em fevereiro de 2004 e conduzida durante todos os anos ate 2011.

Em 2004 constaram do preparo da área, limpeza superficial, subsolagem e gradagens (aradora e niveladora). Foi realizada a 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 foi adicionado o lodo de esgoto no tratamento F.

O lodo de esgoto utilizado foi produzido pela Estação de Tratamento de Esgoto – ETE da empresa Saneamento de Araçatuba S/A – Sanear, no município de Araçatuba. Utilizou-se o lodo obtido de efluente predominantemente doméstico, com umidade de 84%. Na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Araçatuba, utiliza-se o tratamento em lagoa com aeração prolongada, pela oxigenação por equipamento eletromecânico. Após a aeração, o efluente é desaguado por centrífuga do tipo Decanter, reduzindo sua umidade de 14 a 20 %. O lodo apresenta-se mais orgânico, na forma pastosa. O período de permanência do lodo na lagoa é de dois dias. Dessa forma, apresenta-se com uma carga elevada de agentes patogênicos, determinando, assim, um maior cuidado no seu manuseio antes e após a incorporação no solo.

A dose de 60 t ha⁻¹ foi definida levando-se em consideração a média das dosagens de lodo que têm sido utilizadas em pesquisas com recuperação de propriedades físicas dos solos (PAGLIAI et al., 1981; JORGE et al., 1991; MELO et al., 1994; VAZ; GONÇALVES, 2002). Na literatura sobre o tema, as doses variam de 20 a 120 t ha⁻¹. De acordo com a Tabela 3, onde constam as características químicas do lodo utilizado, as quantidades aplicadas, em kg ha⁻¹, de N, P e K foram, respectivamente, de 4.275,6; 1.127,40; e 908,4. Desse total, a quantidade de nutrientes disponíveis às plantas no primeiro ano estará, segundo Andreoli et al.

(2001), em função de 30 % da mineralização do N orgânico e de mais 30 % de volatilização do N amoniacal, o que reduz cerca de um terço do N total aplicado ao solo.

Tabela 3- Caracterização química do lodo de esgoto.

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

Quanto ao P, poderá haver 70 % de disponibilidade (RAIJ et al., 1997). Ressalta-se que o uso do lodo de esgoto teve como principal objetivo adicionar matéria orgânica ao solo e, ao mesmo tempo, dar um destino ao resíduo. Como este não apresentou problemas em sua composição com relação a metais pesados (Tabela 4), por ser de efluente predominantemente doméstico, a dose utilizada não estaria prejudicando o ambiente. O lodo de esgoto foi espalhado manualmente na superfície do solo e posteriormente incorporado com uma gradagem

Todos os tratamentos para recuperação do solo foram 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, portanto, 25 plantas por parcela experimental, em 2004.

Para a braquiária a semeadura foi a lanço realizada em 20 de fevereiro de 2004 e 11 de janeiro de 2007, utilizando-se 20 kg ha⁻¹ de sementes. Desde então vem sendo manejada realizando a roçada, uma vez ao ano, após o período de chuva.

O espaçamento e densidade de sementes utilizadas dos adubos verdes foram:

- Nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) ate 2005: semeadura a lanço, utilizando-se 20 kg ha⁻¹. As semeaduras foram feitas em 20/02/04 e 18/02/05.

- Crotalária (*Crotalaria juncea*): em 2006 o nabo forrageiro foi substituído pela crotalária (*Crotalaria juncea*), cuja densidade de sementes utilizada foi de 30 a 40 sementes por metro linear, com espaçamento de 0,50 m, distribuídas a lanço. Semeadura realizada a lanço.

- Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*): espaçamento de 0,50 m entrelinhas com densidade de 10 sementes por metro linear. As semeaduras foram realizadas a lanço.

Anualmente é realizada a semeadura dos adubos verdes e roçados em pleno florescimento sem incorporação ao solo.

Tabela 4- Análise química (teores totais) para fins de toxicidade do lodo de esgoto utilizado de Araçatuba-SP.

Elementos	Resultado	Limite máximo
	-----mg L ⁻¹ -----	-----
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
Mercúrio	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 20a 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).

Em janeiro de 2010 foi realizada a caracterização química (Tabela 5) e física (Tabela 6) da área experimental. As análises químicas do solo foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por Raji et al. (2001). A porosidade total foi calculada pela saturação do solo, a microporosidade pelo método da mesa de tensão com coluna de água de 6,0 kPa e a macroporosidade foi estimada a partir da diferença entre a porosidade total e a microporosidade. A densidade do solo foi calculada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997).

Tabela 5- Caracterização química da área experimental na profundidade de 0,00 – 0,20m, Selvíria – MS, 2010.

Tratamentos	P-resina mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	mmolc dm ⁻³					CTC	V %
				K	Ca	Mg	H+Al	SB		
Veg. Cerrado	3,00	6,00	4,10	0,60	1,00	2,00	30,0	3,60	34,30	10,0
Solo exposto	3,47	4,40	4,48	0,41	1,87	1,67	20,6	7,88	24,55	15,7
Gonçalo Alves	3,27	5,67	5,85	0,31	7,13	4,07	14,53	13,38	26,05	43,6
GA+C	3,27	4,27	5,79	0,30	5,67	3,80	14,93	9,76	24,69	39,3
GA+FP	3,13	4,60	5,78	0,31	6,40	3,73	14,73	13,57	25,17	41,2
GA+LE+B	27,40	11,93	4,77	0,33	6,33	5,27	26,07	20,53	38,01	31,0

GA+C = Gonçalo-alves+Crotalária (*Crotalária juncea*); GA+FP = Gonçalo-alves+Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA+LE+B = Gonçalo-alve+Lodo de esgoto+*Brachiaria decumbens*.

Tabela 6. Macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, da área experimental, Selvíria – MS, 2010.

Tratamentos	Profundidade (m)		
	0,00 – 0,05	0,05 – 0,10	0,10 – 0,20
Macroporosidade (m³ m⁻³)			
Veg. de cerrado	0,18	0,12	0,08
Solo exposto	0,09	0,09	0,07
Gonçalo-alves	0,10	0,10	0,10
GA+C	0,14	0,13	0,09
GA+FP	0,12	0,11	0,09
GA+LE+B	0,12	0,08	0,08
Microporosidade (m³ m⁻³)			
Veg. de cerrado	0,26	0,26	0,30
Solo exposto	0,26	0,25	0,24
Gonçalo-alves	0,26	0,26	0,25
GA+C	0,25	0,25	0,25
GA+FP	0,26	0,25	0,25
GA+LE+B	0,26	0,25	0,24
Porosidade total (m³ m⁻³)			
Veg. de cerrado	0,44	0,38	0,38
Solo exposto	0,35	0,34	0,32
Gonçalo-alves	0,36	0,36	0,35
GA+C	0,39	0,38	0,35
GA+FP	0,38	0,36	0,35
GA+LE+B	0,38	0,33	0,32
Densidade do solo (kg dm⁻³)			
Veg. de cerrado	1,38	1,54	1,58
Solo exposto	1,69	1,74	1,83
Gonçalo-alves	1,67	1,68	1,68
GA+C	1,52	1,58	1,71
GA+FP	1,57	1,63	1,66
GA+LE+B	1,50	1,66	1,68

GA+C = Gonçalo-alves+Crotalária (*Crotalária juncea*); GA+FP = Gonçalo-alves+Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA+LE+B = Gonçalo-alve+Lodo de esgoto+*Brachiaria decumbens*.

Os adubos verdes foram semeados na área no dia 11 de janeiro de 2010. Para a semeadura nas parcelas foi realizada uma gradagem com profundidade de 0,20 m entre as linhas das árvores nativas, em seguida foi feito o sulco de semeadura de 0,03 a 0,05 m de profundidade. A semeadura dos adubos verdes nas parcelas foi a lanço manualmente (Figura 3) e a cobertura das sementes foi manual com auxílio de uma enxada. Desde então, houve um acompanhamento no desenvolvimento dos adubos verdes.

Figura 3- Semeadura a lanço manual realizada nos tratamentos com adubação verde.



Fonte: Marchini (2010)

Para a crotalária verificou-se que a população de plantas era insuficiente para ser avaliada em 2010. Uma vez que no final de janeiro, início de fevereiro e início de março de 2010 realizaram-se as semeaduras (Figura 4), porém em todas não foi possível o estabelecimento da cultura na área experimental.

O ambiente onde é instalada a cultura não foi favorável ao seu desenvolvimento, pois a cultura depois de semeada chegava a emergir no solo, mas não conseguia permanecer na área (Figura 5). Uma outra observação foi o alto índice de chuvas nos meses de janeiro e fevereiro, a umidade do solo com elevadas temperaturas, matavam o embrião das sementes no solo. Na última tentativa (em março) ocorreu uma longa estiagem, o que inviabilizou o estabelecimento da cultura no campo (Figura 6).

Figura 4- Vista do tratamento Gonçalo-alves+crotalária após a segunda tentativa de semeadura, Janeiro, 2010.



Fonte:Marchini (2010)

Figura 5- Aspecto das plântulas de crotalária depois de emergidas, Fevereiro, 2010.



Fonte:Marchini (2010)_

Figura 6- Vista da parcela Gonçalo-alves+crotalária após a quarta tentativa de semeadura em Março, 2010.



Fonte: Marchini (2010)

Em novembro de 2010 foi realizado o preparo da área nas parcelas que recebem o adubo verde, novamente com uma gradagem até 0,20 m de profundidade seguindo os mesmos procedimentos do início de 2010.

Realizou-se a semeadura dos adubos verdes em novembro de 2010, porém, a crotalária germinou muito falhada (Figura 7) e foi realizada outra semeadura em dezembro de 2010, mesmo assim a crotalária germinou, mas, secava e foram realizadas mais três semeaduras, duas em janeiro de 2011 e outra em fevereiro de 2011, também não foi possível estabelecer a cultura.

Figura 7- Vista geral indicando a falha da semeadura da crotalária, em Novembro de 2011.



Fonte: Marchini (2011)

Houve, tão somente, um acompanhamento no desenvolvimento do feijão-de-porco, que em pleno florescimento, foi roçado sem incorporação ao solo.

Em fevereiro de 2011 foi realizada outra caracterização química da área experimental (Tabela 7) e também uma caracterização física da área (Tabela 8).

Tabela 7- Caracterização química do solo da área experimental na camada de 0,00–0,20 m, Selvíria – MS, 2011.

Tratamentos	P-resina mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al mmol _c dm ⁻³	SB	CTC	V %
Veg. Cerrado	4,90	13,67	4,30	0,73	2,93	3,13	20,01	5,38	26,03	14
Solo exposto	4,60	8,20	4,57	0,33	1,67	1,73	12,65	2,89	15,81	14
Gonçalo-alves	4,80	7,13	5,87	0,19	6,23	2,50	9,05	5,83	16,88	35
GA+C	4,90	6,80	5,73	0,29	4,80	2,35	9,55	6,13	15,71	28
GA+FP	4,67	7,27	5,87	0,30	5,63	3,17	9,40	6,84	16,25	32
GA+LE+B	33,06	11,90	4,76	0,23	5,60	4,73	14,40	8,02	22,69	26

GA+C = Gonçalo-alves+Crotalária (*Crotalaria juncea*); GA+FP = Gonçalo-alves+Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA+LE+B = Gonçalo-alve+Lodo de esgoto+*Brachiaria decumbens*.

Tabela 8- Macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, do solo da área experimental, Selvíria – MS, 2011.

Tratamentos	Profundidade (m)		
	0,00 – 0,05	0,05 – 0,10	0,10 – 0,20
Macroporosidade (m³ m⁻³)			
Veg. de cerrado	0,167	0,282	0,193
Solo exposto	0,080	0,086	0,084
Gonçalo-alves	0,076	0,080	0,101
GA+C	0,133	0,184	0,108
GA+FP	0,143	0,153	0,108
GA+LE+B	0,085	0,059	0,071
Microporosidade (m³ m⁻³)			
Veg. de cerrado	0,156	0,153	0,167
Solo exposto	0,241	0,256	0,236
Gonçalo-alves	0,245	0,249	0,246
GA+C	0,263	0,236	0,235
GA+FP	0,251	0,259	0,234
GA+LE+B	0,238	0,246	0,240
Porosidade total (m³ m⁻³)			
Veg. de cerrado	0,323	0,436	0,360
Solo exposto	0,322	0,342	0,320
Gonçalo-alves	0,321	0,329	0,347
GA+C	0,396	0,421	0,343
GA+FP	0,394	0,412	0,342
GA+LE+B	0,323	0,306	0,311
Densidade do solo (kg dm⁻³)			
Veg. de cerrado	1,27	1,36	1,53
Solo exposto	1,72	1,69	1,74
Gonçalo-alves	1,73	1,74	1,66
GA+C	1,43	1,35	1,66
GA+FP	1,42	1,41	1,66
GA+LE+B	1,53	1,69	1,71

GA+C = Gonçalo-alves+Crotalária (*Crotalaria juncea*); GA+FP = Gonçalo-alves+Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA+LE+B = Gonçalo-alve+Lodo de esgoto+*Brachiaria decumbens*.

3.4. Avaliações do solo

Para a análise de estabilidade de agregados do solo em água, retiraram-se amostras deformadas (torrões) (Figura 8) em Janeiro de 2010 e Fevereiro de 2011, nas profundidades: 0–0,05; 0,05–0,10; 0,10–0,20 m, em três pontos por parcela. No laboratório, os agregados das amostras foram separados através de peneiras sobrepostas com malhas de 6,35 mm e 4 mm de abertura, respectivamente. De todo o material que passou através do primeiro crivo, mas que ficou retido no segundo, retirou-se 40 g da amostra e assim foi analisada segundo a metodologia de Angers e Mehuys (2000). Os resultados foram expressos em diâmetro médio ponderado (DMP) seguindo a fórmula:

$$DMP = \sum (C_{mm} P)$$

Onde: **C** é o centro de diâmetro de cada classe; **P** é a proporção da massa de cada fração de agregados estáveis em água em relação ao total da amostra.

A porcentagem de distribuição de agregados foi calculada levando-se em consideração as classes de agregados com tamanhos de: 6,00-4,00; 4,00-2,00; 2,00-1,00; 1,00-0,50; 0,50-0,25 e <0,25 mm. A fórmula empregada para o seu cálculo foi:

$$P = (Mt - \text{Areia}) / [\text{Solo} / (1 + \text{Umidade})] - \text{Areia} \cdot 100$$

Onde: **Mt** - é a massa total dos agregados não dispersos coletados em cada fração, seca em estufa;

Areia - é a massa da areia coletada em cada fração, seca em estufa;

Solo - é a massa de solo dispersada dos agregados, seca em estufa;

Umidade - é a umidade gravimétrica contida no solo.

Figura 8- Torrão de solo para análise de agregados estáveis em água.



Fonte: Marchini (2010)

A taxa de infiltração de água no solo foi quantificada utilizando-se do mini infiltrômetro de disco (ZANG, 1997) (Figura 9), em novembro de 2010 e setembro de 2011. Observou a taxa da constante de infiltração (cm h^{-1}) e a infiltração acumulada (cm) em função do tempo (s).

Figura 9- Mini infiltrômetro de disco.



Fonte: Marchini (2010)

Para a quantificação da matéria orgânica do solo retirou-se uma amostra composta de cinco amostras simples em cada parcela (Figura 10) em janeiro de 2010 e fevereiro de 2011. As profundidades analisadas foram: 0–0,05, 0,05–0,10, 0,10–0,20 m.

As amostras foram secas ao ar e peneiradas com uma peneira de 2 mm de abertura, obtendo-se terra fina seca ao ar (TFSA). Em seguida, as amostras foram levadas ao laboratório de Fertilidade do Solo onde foi analisado o teor de matéria orgânica, determinado pelo método colorimétrico (RAIJ et al., 2001).

Figura 10- Coleta de amostras para análise do teor de matéria orgânica.



Fonte: Souto Filho (2010)

Para análise de morfologia do solo foram retiradas amostras indeformadas em março de 2011, em anéis de pvc, com diâmetro de 1,8 cm e 2 cm de altura, nas camadas de 0,00–0,05 m, 0,05–0,10 m e 0,10–0,20 m (Figura 11).

Figura 11- Coleta de amostras para análise da tomografia do solo.

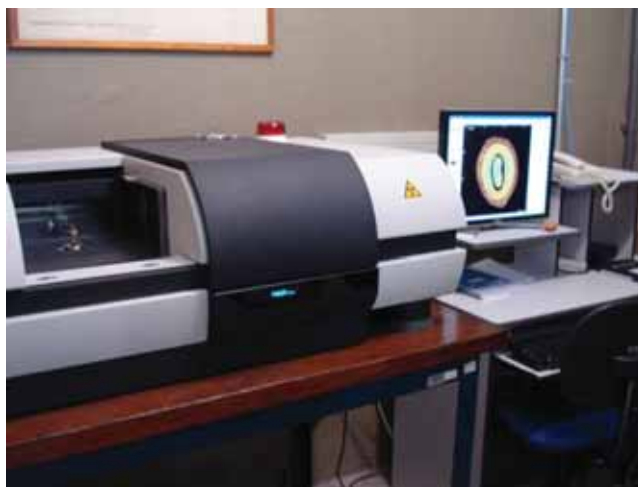


Fonte: Marchini (2010)

O microtomógrafo de raio-x, utilizado foi o modelo 1172 de fabricação da SkyScan instalado no Laboratório de Técnicas Nucleares da Embrapa Instrumentação, em São Carlos, SP, onde foram realizadas as análises (Figura 12). No processo de aquisição das imagens foram adotados os seguintes parâmetros: filtro de alumínio+cobre, resolução espacial (tamanho do voxel) de 34 μ m, passo de rotação de 0,7°, rotação de 180° e 10 quadros (frames) para processo de média. O processo de reconstrução das imagens dos cortes tomográficos foi realizado por meio do software NRecon da SkyScan no qual foram adotados os seguintes parâmetros: smoothing: 5, ring artifact correction: 10 e beam hardening correction: 55%, de acordo com Lasso et al. (2008).

Após serem processadas no tomógrafo de raio x, as amostras geraram 465 imagens de uma única amostra de solo, foram escolhidas duas imagens de cada amostra e tornou-se padrão a escolha das imagens do meio da amostra (imagem 265) e na parte inferior da amostra (imagem 350), em relação a cada tratamento e em suas respectivas profundidades para avaliação qualitativa realizada visualmente.

Figura 12- Microtomógrafo de raio-x.



Fonte: Marchini (2011)

3.5. Avaliações da espécie arbórea nativa

Para o acompanhamento do desenvolvimento do Gonçalo-alves realizaram-se medições de altura e diâmetro a altura do solo (0,20 m). As medições foram realizadas a cada três meses e foram iniciadas em janeiro de 2010, sendo as épocas de avaliação janeiro, abril, julho e outubro de 2010 e janeiro, abril e julho de 2011 (Figura 13).

A medida da altura foi realizada com auxílio de uma régua e o diâmetro, com auxílio de um paquímetro digital de aproximação 0,001mm. Realizou-se a medição de nove árvores

das linhas centrais de cada parcela e trabalhou-se com a média aritmética desses valores por parcela.

Figura 13- À esquerda avaliação da altura do Gonçalves-alves, à direita, avaliação do diâmetro.



Fonte: Marchini (2011)

3.6. Avaliações dos adubos verdes

A amostragem do feijão-de-porco (Figura 14) ocorreu em abril de 2010 e em março de 2011, quando o mesmo encontrava-se em pleno florescimento. Realizou-se a amostragem em 1,0 m² de massa verde em dois pontos de cada parcela. No mesmo dia de coleta de material, realizou-se o manejo do adubo verde, sendo que o feijão de porco foi roçado e deixado na superfície. As amostras foram levadas em laboratório, pesadas (massa verde) e em seguida colocadas em estufa de ventilação forçada a 60 – 70° C até atingir massa constante (massa seca). Avaliou-se a produção de massa verde e massa seca e os resultados foram expressos em kg ha⁻¹.

Figura 14- Vista do tratamento Gonçalves-alves+feijão de porco. À esquerda em março de 2010 e à direita em março de 2011.



Fonte: Marchini (2011)

3.7. Avaliações da *Brachiaria decumbens*

Avaliou-se a produção de massas verde e seca a partir de amostras coletadas em plantas contidas em 1,0 m², em dois pontos da área útil em cada parcela. A obtenção das massas foi realizada da mesma forma que descritas para as avaliações com adubo verde. A obtenção dos dados ocorreu a cada três meses e iniciou-se em janeiro de 2010.

3.8. Forma de análise dos resultados

Os resultados foram analisados efetuando-se a análise de variância e teste de Tukey para as comparações de médias. Para os resultados da estabilidade de agregados em água e taxa constante de infiltração, realizou-se a análise de variância e a comparação das médias foi utilizado o teste Scott-Knott. O nível de significância utilizado foi de 5% e os dados foram processados pelo programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2003).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Distribuição e estabilidade de agregados em água

Os resultados referentes aos agregados estáveis em água, em diferentes profundidades e tratamentos referentes ao ano 2010, estão apresentados na Tabela 9. Verifica-se de forma geral, que os agregados variando de 6 a 4 mm predominam nos tratamentos solo exposto e GA+LE+B em relação aos demais tratamentos, nas diferentes profundidades (Tabela 9). O diâmetro médio de agregados (DMP) também tendeu a seguir o mesmo comportamento verificado para os agregados com tamanho de 6 a 4 mm. Os maiores DMP's foram verificados nos tratamentos solo exposto e GA+LE+B.

Na Tabela 10 encontram-se os valores para estabilidade de agregados referentes ao ano de 2011. Na profundidade de 0,00-0,10 m, o tratamento GA+LE+B se assemelha a vegetação de cerrado, que predomina maior quantidade de agregados variando de 6 a 4 mm, este resultado segue a tendência para o DMP. Os tratamentos Gonçalo-alves, GA+C e GA+FP apresentam poucos agregados estáveis na primeira classe de diâmetro (a maior) e um DMP baixo em relação aos demais tratamentos. O solo exposto apresenta boa estabilidade de agregados, isso pode ocorrer devido provavelmente ao solo estar compactado, o que significa que nem todo solo com boa estabilidade de agregados tem boa estrutura.

Segundo Kitamura (2007), um solo com boa estrutura apresenta boa estabilidade de agregados, porém nem todo solo com boa estabilidade de agregados significa que possui boa estrutura, é necessário conhecer o histórico da área para que não ocorram equívocos de interpretação. No solo exposto, as partículas primárias estão intimamente aproximadas uma das outras, concedendo-lhe um alto grau de resistência à ruptura. Carpenedo e Mielniczuk (1990) mencionam que esse comportamento pode estar relacionado com a maior coesão dos macroagregados proporcionada pela aproximação das partículas em operações de preparo, considerados agregados de menor qualidade, ou pelo efeito negativo de ciclos de umedecimento e secamento.

Este resultado ao ser relacionado com o teor de matéria orgânica do solo (Tabela 13 e 14) sugere que para estas condições de solo e clima, o tratamento GA+LE+B seria o mais indicado para recuperação da área, pois é o tratamento que está disponibilizando maior conteúdo de matéria orgânica no solo e por consequência, melhores condições físicas e químicas, como pode ser evidenciado na estabilidade e distribuição de tamanho de agregados (Tabela 9 e 10).

Os resultados observados neste trabalho estão de acordo com os encontrados por Campos (2006) e Bonini (2007), estes pesquisadores, estudando diferentes manejos para a recuperação de solos degradados, verificaram aumento no DMP (mm) quando adicionado matéria orgânica e seu papel na agregação do solo como um processo dinâmico, sendo necessário o acréscimo contínuo de material orgânico para manter a estrutura adequada ao desenvolvimento das plantas (CAMPOS et al., 1995).

Tabela 9- Valores médios de porcentagem de distribuição de tamanho de agregados e DMP, em função dos tratamentos, na profundidade do solo de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m. Selvíria, MS, 2010.

SEVERINA, MS, 2010.

Tratamentos	Classes de tamanho de agregados (mm)						DMP mm
	6 - 4	4 - 2	2 - 1	1 - 0,5	0,5 - 0,25	<0,25	
	-----% de distribuição de tamanho de agregados-----						
	Profundidade de 0,00–0,05 m						
Veg. Cerrado	35,59 b	9,83	7,60 a	13,74 a	14,06 a	19,18 a	2,37 b
Solo exposto	76,76 a	7,14	2,10 b	2,45 b	3,04 b	8,48 b	4,12 a
Gonçalo-alves	50,70 b	9,19	4,62 b	6,54 b	8,70 a	20,25 a	2,99 b
GA+C	47,70 b	9,60	6,12 a	9,26 b	11,80 a	15,50 a	2,90 b
GA+FP	26,28 b	12,38	8,77 a	15,93 a	13,49 a	23,14 a	2,02 b
GA+LE+B	77,11 a	11,77	3,30 b	3,63 b	1,27 b	2,92 b	4,30 a
F	7,19*	1,67 ^{ns}	4,29*	8,77*	7,62*	5,57*	7,41*
CV %	34,97	26,02	41,09	43,92	40,33	37,73	18,58
Profundidade de 0,05–0,10 m							
Veg. Cerrado	26,76 b	8,22 b	6,85 b	14,95 a	16,57 a	26,70 a	1,84 b
Solo exposto	54,20 a	9,13 b	4,22 b	7,47 b	9,02 b	15,95 a	3,15 a
Gonçalo-alves	37,31 b	10,06 b	6,13 b	12,31 a	14,12 a	20,05 a	2,42 b
GA+C	24,61 b	9,09 b	8,91 a	17,03 a	18,17 a	22,17 a	1,85 b
GA+FP	21,78 b	11,56 b	9,81 a	15,62 a	16,45 a	24,76 a	1,79 b
GA+LE+B	65,33 a	17,81 a	5,22 b	5,44 b	2,37 c	3,81 b	3,93 a
F	7,24*	4,33*	6,18*	6,30*	8,53*	6,65*	8,40*
CV %	36,35	24,68	25,09	29,72	28,28	27,55	17,94
Profundidade de 0,10–0,20 m							
Veg. Cerrado	11,38 c	8,42	10,49 a	24,05 a	19,60 a	29,55 a	1,26 c
Solo exposto	34,78 b	11,86	8,56 a	12,89 b	13,01 b	18,88 b	2,39 b
Gonçalo-alves	14,87 c	9,32	9,77 a	16,03 b	20,44 a	26,05 a	1,40 c
GA+C	25,95 b	9,96	9,74 a	16,51 b	18,00 a	19,82 b	1,95 b
GA+FP	11,24 c	9,45	12,13 a	21,93 a	19,55 a	25,69 a	1,29 c
GA+LE+B	72,27 a	11,81	4,01 b	2,88 c	2,65 c	6,36 c	4,07 a
F	14,66*	1,38 ^{ns}	3,27*	13,03*	11,38*	8,18*	16,61*
CV%	42,23	21,43	25,19	22,35	20,78	22,79	16,67

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott - Knott a 5 % de probabilidade. Dados transformados ($\sqrt{x+0,5}$). GA+FP= Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott)+ Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA+C= Gonçalo-alves+Crotalária (*Crotalaria juncea*); GA+LE+B= Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott)+lodo de esgoto+*Brachiaria decumbens*.

A vegetação é um fator importante na formação de agregados, mediante a ação mecânica das raízes ou pela excreção de substâncias com ação cimentante, e isto, indiretamente, fornece nutrientes à fauna do solo (KIEHL, 1979).

Tabela 10- Valores médios de porcentagem de distribuição de tamanho de agregados e DMP, em função dos tratamentos, na profundidade do solo de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m. Selvíria, MS, 2011.

SEVERA, M.B., 2011.

Tratamentos	Classes de tamanho de agregados (mm)						DMP mm
	6 - 4	4 - 2	2 - 1	1 - 0,5	0,5 - 0,25	<0,25	
	-----% de distribuição de tamanho de agregados-----						
	Profundidade de 0,00–0,05 m						
Veg. Cerrado	96,87 a	1,77 c	0,19 c	0,17 c	0,15 c	0,85 d	4,90 a
Solo exposto	77,08 b	4,91 b	2,80 b	3,34 c	3,72 c	8,16 c	4,09 b
Gonçalo-alves	51,65 c	7,66 a	4,21 b	8,37 b	10,72 b	17,39 b	3,00 c
GA+C	17,71 d	9,03 a	11,75 a	19,13 a	16,82 a	25,56 a	1,57 d
GA+FP	23,53 d	10,48 a	11,01 a	17,58 a	16,69 a	20,75 b	1,88 d
GA+LE+B	92,53 a	2,60 c	0,56 c	0,54 c	0,71 c	3,04 d	4,72 a
F	41,93*	14,31*	29,65*	35,08*	28,66*	28,51*	40,52*
CV %	22,23	22,50	28,25	29,83	30,14	24,90	12,15
Profundidade de 0,05–0,10 m							
Veg. Cerrado	95,63 a	2,85 c	0,26 c	0,26 c	0,21 c	0,79 c	4,87 a
Solo exposto	54,01 b	7,52 b	5,96 b	9,72 b	9,02 b	13,76 b	3,14 b
Gonçalo-alves	41,96 b	8,17 b	6,05 b	10,52 b	12,71 b	20,58 a	2,59 b
GA+C	12,51 c	10,67 a	13,71 a	21,95 a	16,86 a	24,29 a	1,41 c
GA+FP	19,18 c	10,91 a	10,68 a	19,82 a	15,50 a	23,93 a	1,68 c
GA+LE+B	75,94 a	6,57 b	2,92 c	3,30 c	3,99 c	7,28 b	4,08 a
F	17,92*	5,86*	13,88*	17,94*	13,25*	11,49*	17,36*
CV %	35,53	23,39	30,30	32,71	31,55	29,35	17,44
Profundidade de 0,10–0,20 m							
Veg. Cerrado	96,86 a	3,81 b	0,50 b	0,57 c	0,49 c	1,76 c	4,77 a
Solo exposto	28,13 c	10,39 a	10,13 a	19,68 a	13,49 b	18,16 a	2,09 c
Gonçalo-alves	20,12 c	9,17 a	10,45 a	20,66 a	17,13 a	22,44 a	1,69 c
GA+C	7,44 c	10,09 a	15,15 a	25,33 a	18,94 a	23,05 a	1,19 c
GA+FP	13,12 c	9,77 a	12,85 a	21,76 a	19,70 a	22,77 a	1,41 c
GA+LE+B	58,37 b	7,61 a	4,83 b	8,33 b	10,09 b	10,75 b	3,33 b
F	26,66*	2,75*	10,55*	16,22*	10,22*	12,54*	24,87*
CV%	35,04	21,36	24,25	21,95	22,79	20,46	15,45

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott - Knott a 5 % de probabilidade. Dados transformados ($\sqrt{x+0,5}$). GA+FP= Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott)+ Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA+C= Gonçalo-alves+Crotalária (*Crotalaria juncea*); GA+LE+B= Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott)+lodo de esgoto+*Brachiaria decumbens*.

O tipo de vegetação interfere na estruturação dos solos, ou seja, as gramíneas são mais eficientes em aumentar e manter a estabilidade de agregados do que as leguminosas (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990), por apresentarem um sistema radicular extenso e renovado constantemente (HARRIS et al., 1966). Roth et al. (1991) Também constataram que

manejos que mantêm o solo descoberto diminuem a estabilidade de agregados, causando selamento superficial, reduzindo a infiltração de água e, conseqüentemente, induzindo à enxurrada e à erosão. Solos com uma boa cobertura impedem ou diminuem a ação direta das gotas de chuva, mantêm mais uniforme a umidade e temperatura, favorecem o desenvolvimento do sistema radicular e atividade microbiana e contribuem para a criação de um ambiente mais favorável à agregação (CAMPOS et al., 1999).

4.2. Infiltração de água no solo

Os valores da constante da taxa de infiltração variaram de 57,83 a 18,52 cm h⁻¹, para os tratamentos GA+FP e GA+LE+B, respectivamente (Tabela 11). Verifica-se que os valores da taxa de infiltração de água tratamentos GA+LE+B e solo exposto não diferiram entre si e foram significativamente menores em relação aos demais tratamentos (Tabela 11). Os tratamentos vegetação de cerrado e Gonçalves-alves comportaram-se de forma intermediária (Tabela 11). Já os tratamentos GA+C e GA+FP apresentaram médias de constante de infiltração, significativamente superior aos demais tratamentos (Tabela 11). Para a infiltração acumulada apresentou comportamento semelhante a taxa constante de infiltração diferindo apenas o tratamento GA+FP do tratamento GA+LE+B.

Na Tabela 12, os valores da taxa constante de infiltração e infiltração acumulada observou comportamento semelhante ao de 2010.

A superioridade do tratamento GA+FP pode ser explicada pelos fatores tanto de revolvimento do solo, devido o seu preparo para semeadura do feijão-de-porco, como também ao efeito das raízes do adubo verde. Bertol et al. (2001) determinaram capacidades de infiltração iniciais e finais mais elevadas em cultivo convencional e em campo nativo pastejado. Vieira e Klein (2007) e Antoneli e Thomaz (2009) afirmam que em áreas com plantio convencional a capacidade de infiltração foi superior, devido à mobilização do solo.

O efeito causado pela adição de material orgânico e efeito rizosférico do feijão-de-porco é um dos fatores que afetaram benéficamente a infiltração de água no solo para o tratamento GA+FP, pois os resíduos vegetais incorporados ao solo afetam diretamente as condições de porosidade, principalmente aumentando a macroporosidade, melhorando assim a estrutura do solo e proporcionando maior taxa de infiltração. Fato comprovado por Marques et al. (2011), pois ao estudarem indicadores físicos da qualidade do solo em sistemas com cultivo de plantas de cobertura em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, recomendaram o feijão-de-porco como planta de cobertura que melhora a infiltração de água no solo. Estes autores ainda afirmam que o cultivo solteiro do feijão-de-porco aumentou a

permeabilidade do solo em 58 %, o que indica que as raízes desta planta de cobertura podem modificar a permeabilidade do solo, aumentando a infiltração de água.

Não houve diferença estatística para a infiltração acumulada para o ano de 2011 (Tabela 12). Observa-se, no entanto, que o tratamento GA+LE+B se assemelhou ao solo exposto, tanto na taxa constante de infiltração, como para infiltração acumulada. Ressalva-se que provavelmente neste tratamento ocorreu problema na metodologia utilizada, pois no mesmo obteve-se boa adição de material orgânico e cobertura vegetal. Observou-se que em solos com maior teor de material orgânico e cobertura vegetal mais abundante o mini infiltrômetro de disco não apresentou bom desempenho, subestimando os dados. Comportamento semelhante aconteceu no solo com vegetação natural de Cerrado, não sendo possível, neste caso, a utilização dos dados devido a sua inconsistência.

Em solo exposto, o baixo valor encontrado para a taxa de infiltração de água no solo e infiltração acumulada foi devido ao alto grau de degradação do solo, apresentando-se compactado. Maltoni et al. (2011) também verificaram baixa taxa de infiltração de água em um subsolo exposto, em condições semelhantes as estudadas neste trabalho, após revegetação.

No solo exposto e tratamento Gonçalo-alves, o baixo teor de matéria orgânica (Tabela 14), aliado a falta de cobertura do solo justificariam a baixa infiltração de água nestes tratamentos. Solos compactados tendem a apresentar menor quantidade de poros, e consequentemente, menores valores de infiltração. Isso acontece porque a dimensão dos poros por onde a água irá infiltrar é influenciada pelo tamanho, forma e natureza mineral das partículas e pelo modo como estas partículas estão arrançadas (estrutura do solo).

Tabela 11- Media da Taxa constante de infiltração e infiltração acumulada dos diferentes tratamentos para a recuperação de um solo degradado, Selvíria-MS, 2010.

Tratamentos	Taxa constante de infiltração	Infiltração acumulada
	cm h ⁻¹	Cm
Solo exposto	21,66 b	21,96 ab
Gonçalo-alves	31,18 ab	26,49 ab
GA+C	49,79 a	35,13 ab
GA+FP	57,83 a	47,18 a
GA+LE+B	18,52 b	14,11 b
F	7,65*	3,81*
CV%	39,13	24,34
DMS	27,15	28,19

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Dados transformados para infiltração acumulada ($\sqrt{x+0,5}$).

GA+FP= Gonçalo-alves+Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA+C= Gonçalo-alves+Crotalaria (*Crotalaria juncea*); GA+LE+B= Gonçalo-alves+ lodo de esgoto+*Brachiaria decumbens*.

Tabela 12- Media da Taxa constante de infiltração e infiltração acumulada dos diferentes tratamentos para a recuperação de um solo degradado, Selvíria-MS, 2011.

Tratamentos	Taxa constante de infiltração	Infiltração acumulada
	cm h ⁻¹	Cm
Solo exposto	19,62 b	12,45
Gonçalo-alves	29,85 ab	35,11
GA+C	35,14 ab	35,34
GA+FP	36,06 a	36,95
GA+LE+B	23,48 ab	17,18
F	3,62*	3,89 ^{ns}
CV%	29,30	23,46
DMS	16,38	25,55

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Dados transformados para infiltração acumulada ($\sqrt{x+0,5}$).

GA+FP= Gonçalo-alves+Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA+C= Gonçalo-alves+Crotalaria (*Crotalaria juncea*); GA+LE+B= Gonçalo-alves+ lodo de esgoto+*Brachiaria decumbens*.

Nas Figuras 15 e 16 podem ser verificadas as curvas de infiltrações acumuladas em função do tempo nos respectivos tratamentos em 2010 e 2011. De modo geral, em todos os tratamentos, o valor de R² está próximo de 1,0 o que indica um bom ajuste do modelo utilizado.

As maiores infiltrações acumuladas ocorreram nos tratamentos GA+C e GA+FP (Figura 16 e 17) e os menores valores nos tratamentos solo exposto e GA+LE+B (Figura 15 e 16). O tratamento apenas com Gonçalo-alves, apresentou-se de forma intermediária em relação aos demais tratamentos.

O solo da vegetação nativa apresenta-se com poros maiores, agregados estáveis (Tabela 9) e maior teor de matéria orgânica (Tabela 13), oferecendo melhores condições para a infiltração da água, já que a resistência à passagem através da superfície tende a ser menor. Os poros grandes podem ser decorrentes da existência de partículas maiores compondo o solo (fração areia) ou da estrutura, já que partículas pequenas (fração silte e argila) podem ser aglutinadas em agregados maiores, devido à presença de substâncias cimentantes advindas das raízes ou ação dos organismos do solo. Silva (2003) salienta que, solos com maior macroporosidade permitem uma maior movimentação de água, uma vez que, dispõem de maior área de transporte. O que deve ser considerado também com relação ao movimento de água no solo não é somente o tamanho do poro, mas a continuidade dos mesmos, pois pequenos poros podem conduzir mais água quando estes são contínuos.

A cobertura vegetal existente sobre a superfície, tanto viva como morta, ajuda bastante a infiltração da água, tanto por proteger a superfície do impacto direto das gotas de chuva, como também por reduzir a velocidade do escoamento superficial, aumentando o tempo de oportunidade para que a água infiltre.

Já para os tratamentos onde contem os adubos verdes, a infiltração acumulada é maior devido à ruptura da camada de solo, já que para a semeadura dos adubos verdes realizou-se uma gradagem até 0,20 m de profundidade e sulco de 3 a 5 cm para semeadura dos adubos verdes, em janeiro de 2010. Provavelmente, este revolvimento do solo beneficiou a infiltração da água nestes tratamentos.

No solo exposto e tratamento Gonçalo-alves (Figuras 15 e 16), o baixo teor de matéria orgânica (Tabela 13) do solo, aliado a falta de cobertura deste, justificaria a baixa infiltração de água nestes tratamentos. Solos compactados tendem a apresentar uma menor quantidade de poros, e conseqüentemente, menores valores de infiltração. Isso acontece porque a dimensão dos poros por onde a água irá infiltrar é influenciada pelo tamanho, forma e natureza mineral das partículas e pelo modo como estas partículas estão arrançadas (estrutura).

O processo de infiltração é influenciado pelo meio poroso como um todo, mesmo porque solos agrícolas apresentam horizontes com características distintas. Portanto não se deve esperar o mesmo comportamento durante a infiltração em um solo com propriedades físicas homogêneas em todo o perfil, quando comparado com a infiltração que acontece em

um solo com perfil estratificado (tamanho dos poros e tortuosidade diferentes em camadas distintas). A movimentação da água no interior do perfil do solo pode limitar a taxa de infiltração através da superfície.

De acordo com Souza e Alves (2003), a infiltração de água reflete as condições físicas do solo, como estrutura, porosidade e ausência de camadas compactadas. Baseado nestes autores pode-se supor que os solos estudados sofreram modificações acentuadas em função de cada manejo empregado.

Dessa forma, observa-se que no tratamento GA+LE+B, o manejo do solo não influenciou diretamente para a infiltração de água no solo, o que pode estar relacionado com a umidade do solo quando realizada a avaliação. O movimento de água no solo está relacionado com o teor de umidade do solo, pois quando o solo apresenta baixa umidade, a taxa de infiltração pode ser muito grande, mas, à medida que este solo torna-se saturado, apenas o componente gravitacional permanece atuando como força motriz da infiltração, reduzindo a taxa de entrada de água. Assim como a braquiária fornece condições para recuperar o solo, ela também mantém o solo mais úmido do que nos demais tratamentos, podendo assim estar influenciando na infiltração de água no solo.

Figura 15- Infiltração acumulada (cm) em função do tempo (s), nos respectivos tratamentos, Selvíria – MS. 2010.

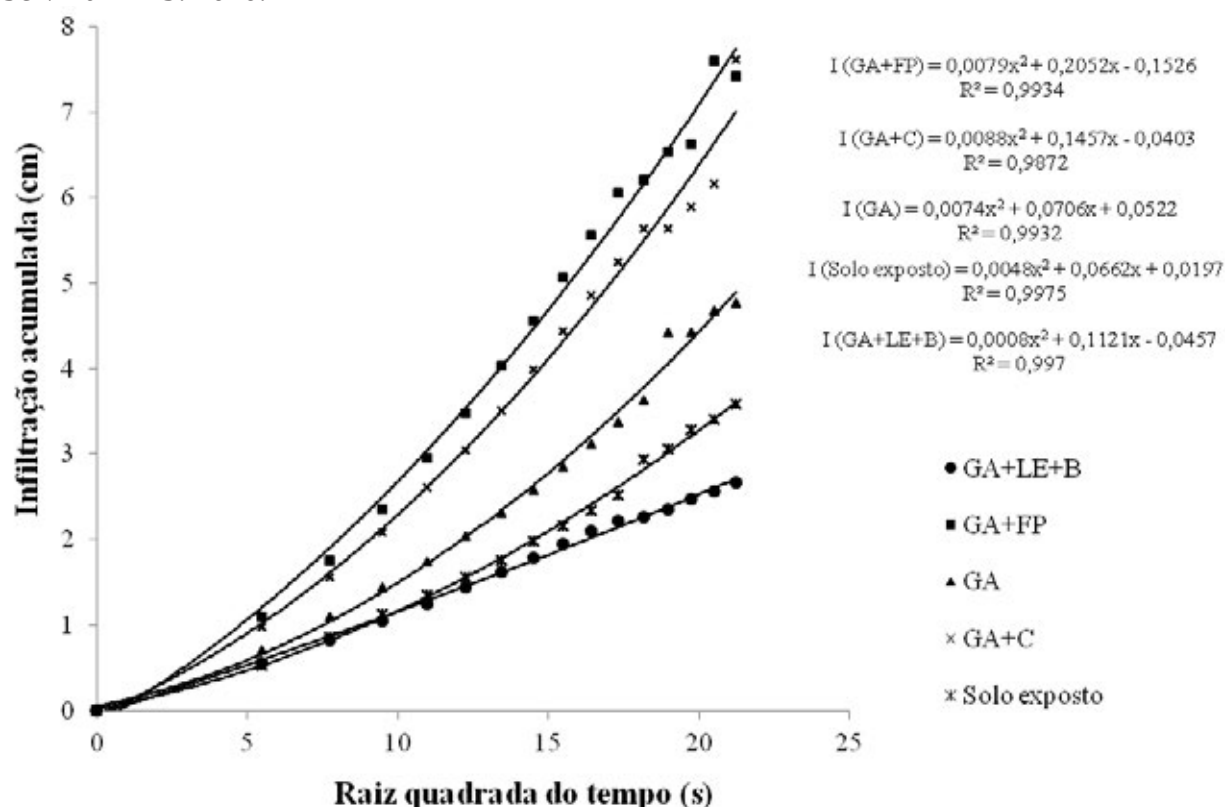
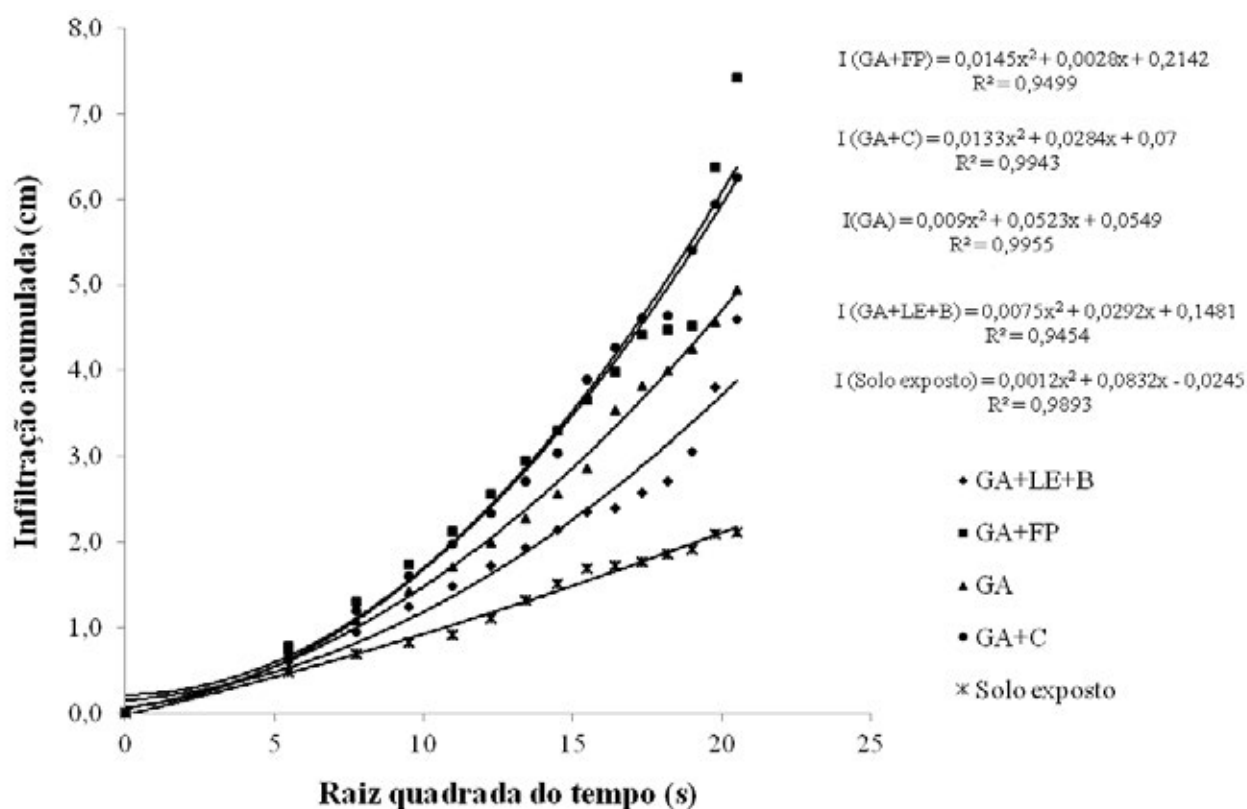


Figura 16-. Infiltração acumulada (cm) em função do tempo (s), nos respectivos tratamentos, Selvíria – MS. 2011.



4.3. Matéria orgânica do solo

Nas Tabelas 13 e 14 encontram-se os valores médios para o teor de matéria orgânica do solo nos anos de 2010 e 2011, respectivamente. O comportamento do teor de matéria orgânica no solo se assemelha entre os anos. Os maiores teores de matéria orgânica no solo na camada de 0,0–0,05 m foram verificados nos tratamentos com vegetação de cerrado e GA+LE+B e não houve diferença entre eles (Tabela 14). Verificou-se que estes dois tratamentos apresentaram teores de matéria orgânica no solo superior aos demais tratamentos tanto na camada de 0,0–0,05 como na de 0,05–0,10 m (Tabela 14), sendo que na de 0,05–0,10 m foram diferentes entre si. Na camada de 0,10–0,20 m todos os tratamentos tiveram teores de matéria orgânica significativamente inferior que o do tratamento vegetação de cerrado, e o tratamento GA+LE+B diferiu somente do tratamento GA+C (Tabela 14). Salienta-se que o solo sob vegetação de cerrado apresentou, em todas as camadas de solo estudadas, maior conteúdo de matéria orgânica do solo.

Castro et al. (2002) e Simonete et al. (2003) trabalhando com doses de lodo de esgoto também verificaram aumento da matéria orgânica no solo.

Tabela 13- Valores médios para teor de matéria orgânica do solo nas camadas de 0,00–0,05, 0,05–0,10 e 0,10–0,20 m, para os tratamentos estudados, Selvíria, MS, 2010.

Tratamentos	Matéria Orgânica (g dm ⁻³)		
	Profundidade (m)		
	0 – 0,05	0,05 – 0,10	0,10 – 0,20
Veg. Cerrado	24,80 a	15,00 a	12,60 a
Solo exposto	5,20 b	4,20 b	3,80 b
Gonçalo-alves	7,80 b	5,20 b	4,00 b
GA+C	4,60 b	4,20 b	4,00 b
GA+FP	4,80 b	4,80 b	4,20 b
GA+LE+B	18,60 a	10,80 a	6,20 b
F	26,03*	21,53*	27,95*
CV (%)	34,45	29,46	25,04
DMS	7,51	4,32	2,90

Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem estatisticamente 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+LE+B = Gonçalo-alves+Lodo de esgoto+*Brachiaria decumbens*.

Tabela 14- Valores médios para teor de matéria orgânica do solo nas camadas de 0,00–0,05, 0,05–0,10 e 0,10–0,20 m, para os tratamentos estudados, Selvíria, MS, 2011.

Tratamentos	Matéria Orgânica (g dm ⁻³)		
	Profundidade (m)		
	0,00–0,05	0,05–0,10	0,10–0,20
Vegetação de Cerrado	17,40 a	11,80 a	11,80 a
Solo exposto	9,80 b	7,00 c	6,80 bc
Gonçalo-alves	8,20 b	7,00 c	7,00 bc
GA+C	7,40 b	7,20 c	6,00 c
GA+FP	7,20 b	7,20 c	6,40 bc
GA+LE+B	16,60 a	9,80 b	8,00 b
F	19,96*	24,06*	26,58*
CV%	21,04	11,02	12,07
DMS	4,65	1,83	1,84

Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem estatisticamente 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+LE+B = Gonçalo-alves+Lodo de esgoto+*Brachiaria decumbens*.

De forma geral, verifica-se que o teor de matéria orgânica do tratamento GA+LE+B está próximo ao encontrado na vegetação de cerrado. O maior teor de matéria orgânica encontrado na área GA+LE+B é resultado da adição do lodo de esgoto, associado à rápida

cobertura do solo pelas gramíneas e com uma rápida reciclagem de nutrientes. Galdos et al. (2004) estudando um Latossolo Vermelho Eutroférico em que foi aplicado lodo de esgoto e cultivado com milho, constatou-se o aumento de matéria orgânica no solo onde foi aplicado o lodo de esgoto, concordando com os resultados encontrados para o tratamento GA+LE+B.

As gramíneas são importantes na adição de matéria orgânica e na reestruturação do solo (ASSAD, 1997), pois possuem um sistema radicular fasciculado capaz de formar canais de infiltração, armazenamento de água no solo e possuem efeito descompactador do solo. Deste modo, a braquiária mostra-se eficiente no acúmulo de matéria orgânica em relação à vegetação de cerrado, sendo este acúmulo favorecido pelo seu sistema radicular, que é abundante e volumoso, apresentando contínua renovação e elevado efeito rizosférico (D'ANDREA et al., 2004).

Colodro et al. (2007) relatam a influência do conteúdo de material orgânico no solo e a atividade microbiana e confirmam dados encontrados para a estabilidade de agregados.

Os demais tratamentos apresentaram comportamento semelhante ao solo exposto. Para esses tratamentos a adição de matéria orgânica foi menor, devido à menor fitomassa produzida e incorporada ao solo.

O aporte inicial de carbono orgânico promovido, provavelmente, pela incorporação de materiais orgânicos da superfície no momento do preparo do solo, diminuiu significativamente e gradualmente ao longo do tempo no experimento. Esses resultados também estão relacionados com as altas taxas de oxidação da matéria orgânica nos solos tropicais e subtropicais (KIEHL, 1985).

Embora um solo produtivo seja composto com menos que 50 g dm^{-3} de matéria orgânica, esta determina em grande parte, a produtividade do solo (KIEHL, 1985). Esta matéria orgânica serve como fonte de alimento para microrganismos, por meio de reações químicas e, influencia positivamente os atributos físicos do solo. A degradação física do solo é a mais difícil e demorada de ser revertida, especialmente quando as taxas de decomposição dos restos vegetais superam os de reposição, fazendo com que cada vez mais diminua o teor de matéria orgânica e, em decorrência, cada vez menos as plantas respondam às funções do solo. Assim, práticas que buscam o aporte contínuo e abundante de matéria orgânica ao solo, associadas a métodos conservacionistas de manejo do solo, são de fundamental importância na recuperação de solos fisicamente degradados.

Pequenas alterações no teor de matéria orgânica ou carbono do solo são dificilmente detectáveis em curto prazo, em parte, porque a variabilidade natural desses atributos do solo é

geralmente elevada (LEFROY et al., 1993; BLAIR et al., 1995), portanto necessitando um maior estudo na área degradada em questão.

4.4. Morfologia do solo

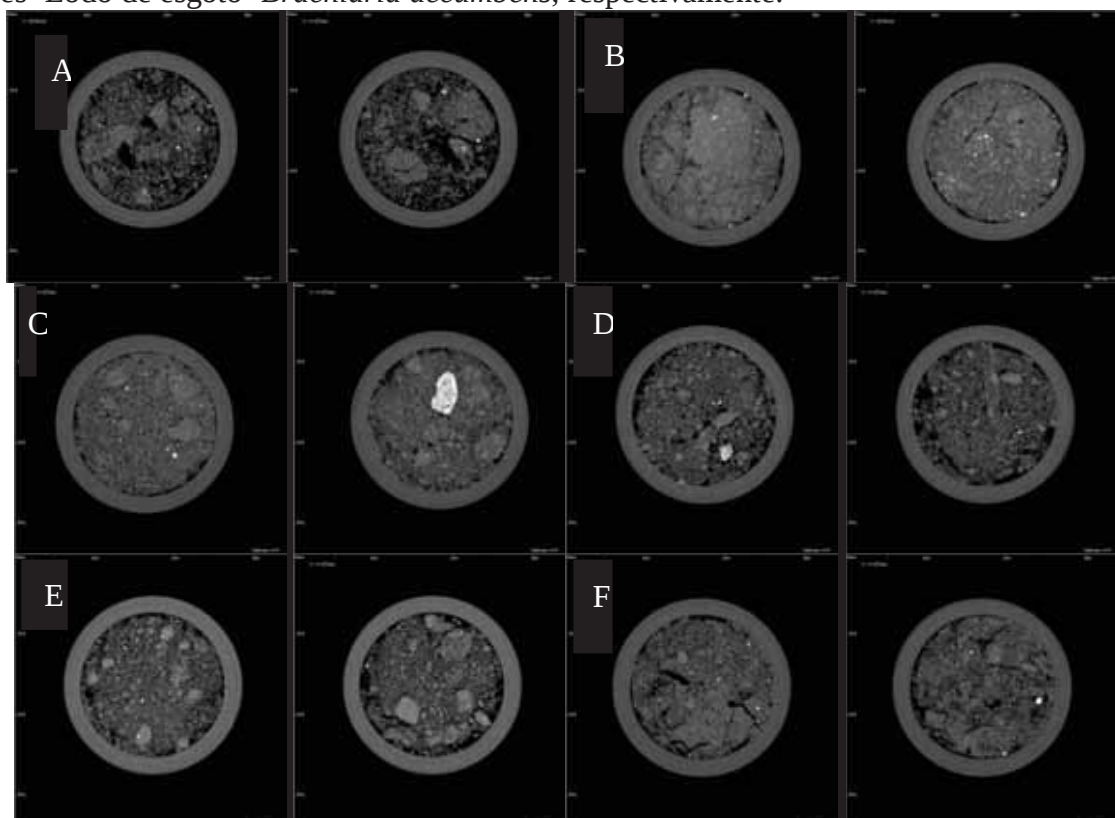
As Figuras 17 a 19 mostram imagens de cortes microtomográficos obtidos de amostras indeformadas do solo nos respectivos tratamentos. Na camada de 0,00–0,05 m (Figura 17) os tratamentos Gonçalves-alves+Crotalaria (Figura 17D), Gonçalves-alves+Feijão-de-porco (Figura 17E) e Gonçalves-alves+Lodo de esgoto+*Brachiaria decumbens* (Figura 17F), são os que mais se aproximam da vegetação nativa quanto a aparência da estrutura do solo (Figura 17A).

No tratamento Gonçalves-alves+Crotalaria (Figura 17D) e Gonçalves-alves+Feijão-de-porco (Figura 17E), o espaço poroso encontrado nas imagens é devido ao preparo do solo para semeadura dos adubos verdes, porém, o preparo convencional do solo não é uma prática conservacionista, tornando-o facilmente suscetível a desagregação de partículas e consequentemente, há uma piora nas qualidades físicas e biológicas do solo. O solo cultivado tende, com o tempo, a ter a estrutura original alterada pelo fracionamento dos agregados em unidades menores, com conseqüente redução no volume de macroporos e aumento no volume de microporos e na densidade do solo (BERTOL et al., 2007). Para o tratamento Gonçalves-alves+Lodo de esgoto+*Brachiaria decumbens* (Figura 17F) a ação das raízes da gramínea e arbórea nativa e o maior conteúdo de matéria orgânica do solo geram uma rede de canais contínuos e uma maior agregação de partículas do solo e com isso, recuperando-o pouco a pouco. A quantidade de material orgânico adicionado neste tratamento ao longo do tempo acarreta benefícios a parte física, química e biológica do solo. A influência da matéria orgânica na agregação do solo é um processo dinâmico, sendo necessário o acréscimo contínuo de material orgânico para manter a estrutura adequada ao desenvolvimento das plantas, bem como a distribuição do espaço poroso do solo, característica afetada pela matéria orgânica (WOHLENBERG et al., 2004).

O solo exposto (Figura 17B) e o tratamento Gonçalves-alves (Figura 17C) apresentam características de solo compactado, com poucos macroporos e algumas fissuras, proporcionando a diminuição de trocas gasosas e infiltração de água no solo. A geometria do espaço poroso pode ser muito complexa com poros de diversos tamanhos e formatos, estes podendo ser muito ou pouco interconectado. Do ponto de vista prático, é mais importante conhecer a distribuição dos diferentes tamanhos de poros do que seu volume total, pois o tamanho do poro determina a sua função nas relações solo-planta-atmosfera. Um solo que tenha muitos poros de pequeno tamanho, o que pode ser visto no solo exposto (Figura 17B) e

no tratamento Gonçalves-alves (Figura 17C), favorecerá a retenção de água e fará com que os movimentos de água e ar sejam muito lentos.

Figura 17- Imagens tomográficas (duas repetições) do solo na camada de 0,00–0,05 m referentes aos tratamentos: A- Vegetação nativa de Cerrado, B- Solo exposto, C- Gonçalves-alves, D- Gonçalves-alves+Crotalaria, E- Gonçalves-alves+Feijão-de-porco; F- Gonçalves-alves+Lodo de esgoto+*Brachiaria decumbens*, respectivamente.



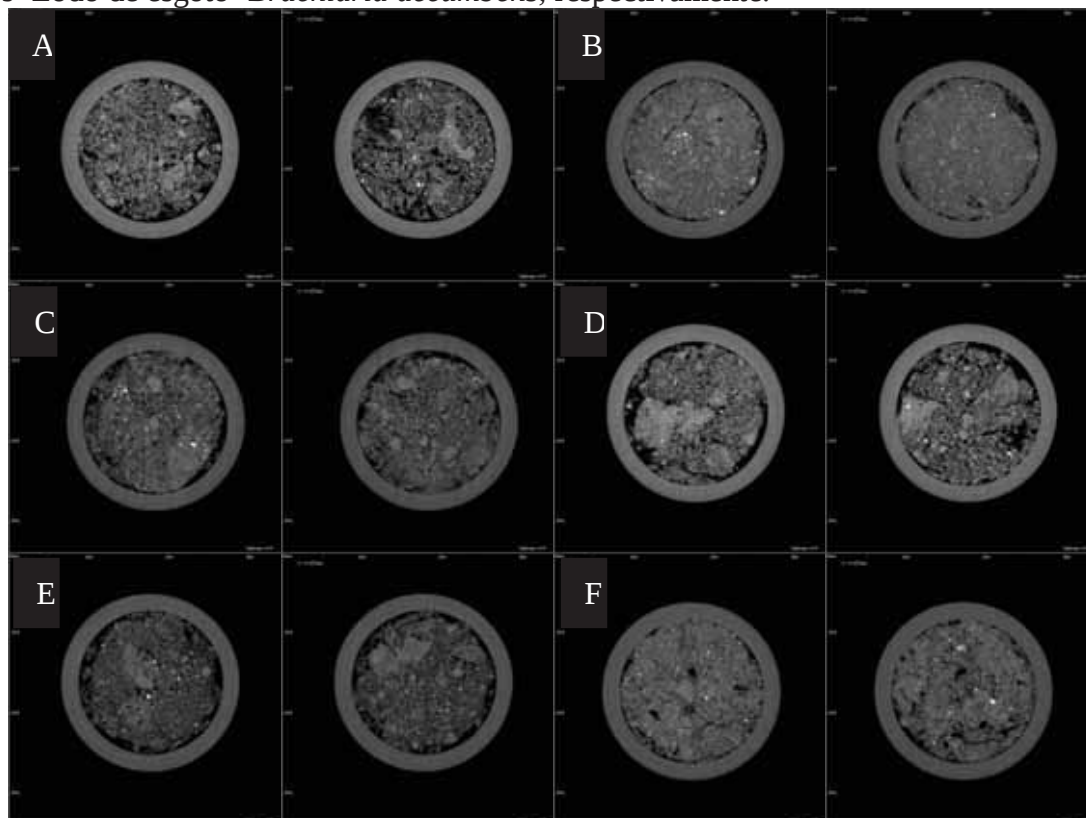
Desse modo, a ocorrência de compactação na camada superficial do solo, dá origem aos poros denominados fissuras ou planares, os quais promovem grande redução na taxa de infiltração de água (SOARES et al., 2005). Os poros fissurais são indicativos de processos de estresse físico do solo (LIMA et al., 2005). A presença de poros arredondados está associada com menor condução de água ao longo do perfil (SOUZA et al., 2006), em razão da provável baixa conectividade entre esses poros, enquanto poros complexos contribuem de forma inversa para a infiltração de água no solo (COOPER, 1999; FOX et al. 2004).

Por outro lado, uma distribuição que concentre poros maiores possibilitará boa distribuição de gases e maior velocidade de infiltração de água. Visualmente verificou-se que as imagens dos demais tratamentos (Figura 17A, D, E) apresentam mais poros do que as demais imagens.

As imagens tomográficas apresentadas na Figura 18 correspondem à camada de 0,05–0,10 m, nos respectivos tratamentos. Nesta camada do solo as imagens foram semelhantes, no

solo exposto e Gonçalves-alves+lodo de esgoto+*Brachiaria decumbens* (Figura 18B e 18F). Notou-se a diminuição da macroporosidade e aumento da densidade do solo (Tabela 8) a partir desta camada. Os demais tratamentos (Figuras 18 C, D e E) se assemelham ao solo da vegetação nativa de Cerrado (Figura 18A).

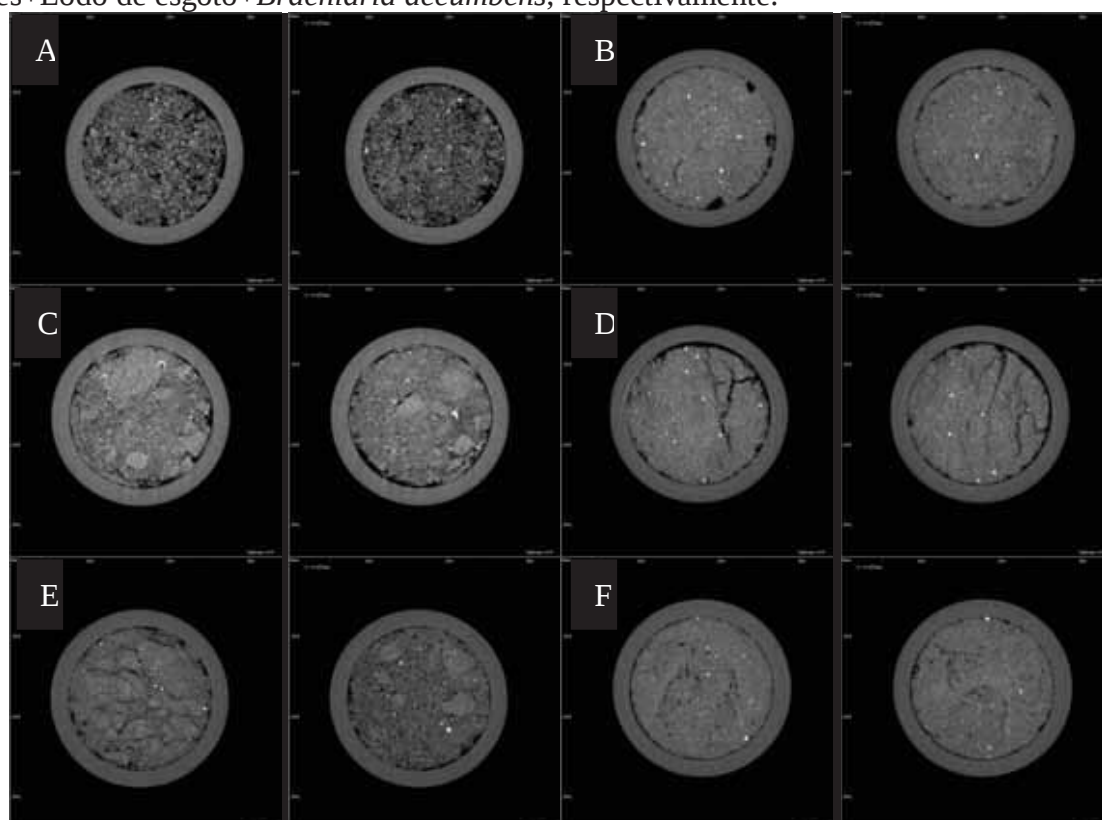
Figura 18- Imagens tomográficas (duas repetições) do solo na camada de 0,05–0,10 m, referentes aos tratamentos: A- Vegetação nativa de Cerrado, B- Solo exposto, C- Gonçalves-alves, D- Gonçalves-alves+Crotalária, E- Gonçalves-alves+Feijão-de-porco; F- Gonçalves-alves+Lodo de esgoto+*Brachiaria decumbens*, respectivamente.



Para o tratamento Gonçalves-alves+Lodo de esgoto+*Brachiaria decumbens* (Figura 18F) a diferença encontrada foi de poros contínuos causados pelas raízes e organismos do solo, ocasionando uma maior agregação das partículas do solo, possibilitando a melhora da estrutura do solo. Alguns autores constataram que a aplicação de lodo aumentou significativamente a agregação do solo na camada de 0,00–0,10 m, e as mais profundas, até 0,40 m, não passaram por alterações (SOUZA et al., 2005; MARIA, 2007). Os poros são de tamanhos variados, desde macroporos visíveis a olho nu, como canais formados por animais e raízes apodrecidas e fendas, até os extremamente pequenos, representados por espaços entre partículas coloidais (OLIVEIRA, 2005). Já os microporos, geralmente, ficam dentro dos agregados, retêm água disponível para as plantas, como uma esponja, e fornecem abrigo para as bactérias (BENITES et al., 2005).

Na Figura 19 tem-se as imagens tomográficas do solo dos respectivos tratamentos na camada de 0,10–0,20 m. A imagem referente ao solo da vegetação de Cerrado (Figura 19A) é a única dentre os tratamentos que apresenta boa estrutura do solo. O Latossolo sob cerrado nativo apresenta grande porosidade visual e muitas feições de origem biológica (SKORUPA et al., 2011).

Figura 19- Imagens tomográficas (duas repetições) do solo na camada de 0,10-0,20 m, referentes aos tratamentos; A- Vegetação nativa de Cerrado, B- Solo exposto, C- Gonçalves, D- Gonçalves+Crotalaria, E- Gonçalves+Feijão-de-porco; F- Gonçalves+Lodo de esgoto+*Brachiaria decumbens*, respectivamente.



Os tratamentos solo exposto (Figura 19B), Gonçalves (Figura 19C), Gonçalves+Lodo de esgoto+*Brachiaria decumbens* (Figura 19F), têm aspecto de solo compactado. Isto é, diminuição da macroporosidade, aumento da microporosidade e a baixa qualidade da estrutura do solo, do qual pode ser constatado pelo valor médio das características físicas do solo (Tabela 8).

Os tratamentos Gonçalves+Crotalaria (Figura 19D), Gonçalves+Feijão-de-porco (Figura 19E) apresentam boa característica de porosidade do solo, confirmado pelas características físicas registradas na Tabela 8, que mostra estes dois tratamentos com menor densidade do solo do que os demais tratamentos na camada de 0,00-0,20 m.

Em algumas imagens, (Figura 19 B, D, E, F) há fissuras que provavelmente foram causadas por umedecimento e secamento da amostra, mas estas não formam canais contínuos para infiltração da água no solo (LIMA et al., 2005).

As imagens tomográficas justificam os resultados encontrados no tratamento Gonçalves-alves para a taxa constante de infiltração (Tabela 12) e infiltração acumulada (Figura 16), por não apresentar grande quantidade de macroporos os quais são responsáveis pela infiltração de água no solo. Em solo compactado, ocorre menor infiltração da água e assim, maior escoamento superficial.

A compactação do solo, aspecto na imagem como apresentada na Figura 19B, C e F, reduz a capacidade de infiltração de água e aumenta o risco de erosão, de déficit hídrico e desequilíbrio nutricional dos solos às plantas (ROSOLEM et al., 2002), resultando em crescimento mais superficial das raízes (MULLER et al., 2001), fato que foi observado neste estudo, comprovado pelas Figuras 17 e 18, que na camada de 0,00–0,10 m apresenta maior quantidade de raízes. A análise de imagens mostrou-se sensível à detecção de mudanças na morfologia dos agregados do solo, sendo bastante promissora como uma nova ferramenta nos estudos da estrutura do solo, concordando com os estudos de Olszewski et al. (2004).

4.5. Espécie arbórea nativa

Os valores da média dos diâmetros e altura, durante as épocas de avaliações, da espécie arbórea encontram-se nas Tabelas 15 e 16. O desenvolvimento do Gonçalves-alves é semelhante dentre os dois anos de avaliações. Em ambas as variáveis analisadas e épocas avaliadas verificaram-se que o tratamento GA+LE+B diferencia-se significativamente dos demais tratamentos (Tabela 15 e 16) (Figura 20). Quando se comparou o desenvolvimento das plantas por época, verificou-se a inexistência de diferença significativa nas diferentes épocas de amostragem (Tabela 15), somente no ano de 2011, para diâmetro a época foi significativa, tendo em julho um maior incremento no diâmetro da espécie.

No geral, a taxa de crescimento das plantas durante as épocas estudadas no tratamento com lodo de esgoto foi maior que a dos demais tratamentos. A combinação do adubo orgânico (lodo de esgoto) e a gramínea, mostrou-se mais eficaz, até o momento, na melhoria e recuperação das condições físicas e químicas do solo, refletidas no maior desenvolvimento da espécie arbórea de cerrado estudada.

Os resultados obtidos no presente estudo concordam com os obtidos por Colodro (2005) e Campos (2006). Os autores verificaram, em solo degradado, que os tratamentos com lodo de esgoto promoveram melhor crescimento e maior diâmetro das plantas de eucalipto,

sendo que a dose de lodo de 60 t ha⁻¹ foi significativamente superior a todos os demais tratamentos (adubação mineral, e doses de lodo menores que 60 t ha⁻¹) estudados. Os resultados verificados por Rocha, Gonçalves e Moura (2004) também corroboram com os encontrados nesta pesquisa. Eles observaram que a adição do lodo de esgoto, em uma dose de 12 t ha⁻¹, influenciou positivamente a nutrição das plantas, gerando produção de madeira semelhante à obtida no tratamento que recebeu adubação mineral como fonte de nutrientes.

Os resultados encontrados para o tratamento GA+LE+B quanto ao desenvolvimento da planta de Gonçalves-alves demonstram que o seu cultivo na condição de solo degradado é viável tecnicamente e ao mesmo tempo está contribuindo para a recuperação do mesmo. Outro fator a considerar é que, nesse tratamento, há o cultivo da braquiária entre as árvores, o que favorece a formação de cobertura do solo, reposição de matéria orgânica e reciclagem de nutrientes.

Tabela 15- Média aritmética do diâmetro (cm) e altura (m) do Gonçalves-alves em diferentes épocas de avaliações, Selvíria – MS, 2010.

Tratamentos	Diâmetro (cm)	Altura (m)
Gonçalo-alves	2,00 b	1,05 b
GA+C	2,45 b	1,00 b
GA+FP	2,60 b	1,20 b
GA+LE+B	5,35 a	2,15 a
Janeiro	3,05	1,25
Abril	3,00	1,35
Julho	3,15	1,40
Outubro	3,20	1,40
F para Tratamentos	53,94*	56,89*
F para Época	0,19 ^{NS}	0,97 ^{NS}
CV (%)	29,89	23,72

Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

GA+FP= Gonçalves-alves+Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA+C=Gonçalo-alves+Crotalaria (*Crotalaria juncea*), GA+LE+B= Gonçalves-alves+Lodo de esgoto+*Brachiaria decumbens*.

Tabela 16- Média aritmética do diâmetro (cm) e altura (m) do gonçalo-alves em diferentes épocas de avaliações, Selvíria – MS, 2011.

Tratamentos	Diâmetro (cm)	Altura (m)
Gonçalo-alves	2,76 b	0,75 b
GA+C	3,30 b	1,03 b
GA+FP	3,03 b	1,10 b
GA+LE+B	6,84 a	2,29 a
Janeiro	3,23 b	1,39
Abril	3,23 b	1,22
Julho	5,11 a	1,26
F para Tratamentos	32,21*	35,60*
F para Época	11,61*	0,87 ^{NS}
CV (%)	32,84	34,27

Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem estatisticamente 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+LE+B= Gonçalo-alves+Lodo de esgoto+*Brachiaria decumbens*.

Figura 20- À esquerda, Gonçalo-alves+lodo de esgoto+*Brachiaria decumbens*, à direita tratamento apenas Gonçalo-alves.



Fonte: Marchini (2011)

4.6. Adubo verde

Na comparação entre a produção de massa dos anos 2010 e 2011, nota-se que no ano de 2011 a produção de massa tanto verde como seca, foi maior. O adubo verde feijão de porco produziu um total de 3.094 kg ha⁻¹ (2010) e 3.515 kg ha⁻¹ (2011) de massa verde e 1.347 kg

ha⁻¹ e 1.535 kg ha⁻¹ de massa seca (Tabela 17 e Figura 21). A quantidade de massa seca produzida é inferior à produtividade média esperada para solos em condições naturais. De acordo com Jorge, Lourenção e Aranha (1990) a produção de massa seca de feijão-de-porco em solo com condições naturais é em média de 5.000 a 8.000 kg ha⁻¹.

Em áreas degradadas recomenda-se a implantação de gramíneas e leguminosas para melhor cobertura do solo e de espécies florestais para continuar o processo de recuperação. As gramíneas e leguminosas são benéficas à estruturação dos solos, principalmente pela alta densidade de raízes, promovendo a aproximação de partículas de solo, estimulando a atividade microbiana e distribuição de exudados no solo, influenciando na formação de agregados (CAMPOS; ALVES, 2008).

A matéria orgânica na agregação do solo é um processo dinâmico, sendo necessário o acréscimo contínuo de material orgânico para manter a estrutura adequada ao desenvolvimento das plantas (CAMPOS et al., 1995). Portanto, neste tratamento há um aumento da produtividade da massa verde e seca do feijão de porco, sendo de grande valia para acrescentar a quantidade de matéria orgânica no solo.

Tabela 17- Média da massa verde e seca do adubo verde, feijão de porco (*Canavalia ensiformis*), Selvíria – MS, 2010 e 2011.

Época	Matéria verde (kg ha ⁻¹)	Matéria seca (kg ha ⁻¹)
2010	3.094	1.347
2011	3.515	1.535

Figura 21- Vista do feijão de porco cobrindo a entrelinha do gonçalo-alves, março, 2010.



Fonte: Marchini (2011)

4.7. *Brachiaria decumbens*

A quantidade de matéria verde produzida variou de 7.610 a 17.725 kg ha⁻¹ para as épocas de colheita em julho e abril, respectivamente (Tabela 18). Já a produção de matéria seca produzida variou de 4.992 kg ha⁻¹ em janeiro e 7.555 kg ha⁻¹ em abril (Tabela 18). Apenas foi verificado diferença significativa entre as diferentes épocas de colheita para a variável matéria verde, onde verificou-se maior produtividade em abril, em relação às épocas de janeiro e outubro (Tabela 18). A maior produção de matéria verde foi em abril de 2010, provavelmente, devido ao fim das chuvas e ao ciclo da gramínea, que reserva maior quantidade de nutrientes para passar a época de seca. Apesar de não ter sido encontrado diferença significativa entre as épocas de colheita para a matéria seca, verifica-se uma tendência a maiores valores em julho (Tabela 18). Provavelmente esse comportamento é resultado de um menor conteúdo de água nas gramíneas devido à ausência de chuvas nesse período.

Tabela 18- Médias de massa verde e seca da *Brachiaria decumbens*, nas diferentes épocas de avaliações, Selvíria - MS, 2010.

Épocas	Matéria verde (kg ha ⁻¹)	Matéria seca (kg ha ⁻¹)
Janeiro	10.247 b	4.922
Abril	17.725 a	7.555
Julho	7.610 b	6.885
Outubro	12.230 ab	6.310
F	8,38*	2,78 ^{NS}
CV %	27,71	23,37

Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Já para o ano de 2011, encontrou-se uma diferença significativa para a produção de massa verde entre as épocas (Tabela 19), notou-se que em janeiro houve a maior produção de massa verde, devido ao alto índice de chuvas na região nesta época de coleta. Para a massa seca não foi significativo entre as épocas (Tabela 19).

Tabela 19- Médias de massa verde e seca da *Brachiaria decumbens*, nas diferentes épocas de avaliações, Selvíria - MS, 2011.

Épocas	Matéria verde (kg ha ⁻¹)	Matéria seca (kg ha ⁻¹)
Janeiro	13.734 a	6.985
Abril	10.852 ab	6.630
Julho	9.535 b	6.575
F	7,76*	0,12 ^{NS}
CV %	15,16	16,64

Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Segundo Pizarro et al. (1996) o potencial de produtividade da *Brachiaria decumbens* é 1.200 até 19.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca, dependendo das condições climáticas a que é submetida, mas em área de recuperação, foram encontradas produtividades médias de 7.088 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (média dos 4 anos) conforme Kitamura (2007).

Os valores de produção de matéria seca encontrado neste trabalho estão próximos aos valores encontrados na literatura. Alves (2001), estudando diferentes manejos para a recuperação de um subsolo nesta mesma fazenda experimental, verificou produção de 7.000 kg ha⁻¹, após sete anos da implantação do experimento, porém sem haver corte da fitomassa no ano. Suzuki (2005), analisando os efeitos das adubações verdes e orgânicas na produção de braquiária em um Latossolo Vermelho degradado, verificou que após 274 dias de semeadura o rendimento da massa seca da braquiária aumentou aproximadamente 28 vezes, passando de 366 kg ha⁻¹ aos 88 dias para 10.133 kg ha⁻¹.

Reis e Kageyama (2003) recomendam que seja necessário utilizar espécies pioneiras agressivas, capazes de rapidamente cobrir o solo, e ao mesmo tempo, permitir a formação de uma camada de serapilheira, ambiente propício aos primeiros decompositores. Este papel tem sido geralmente ocupado por gramíneas, devido a sua fisiologia específica do tipo C4.

As plantas C4 são capazes de grande produtividade primária. Devido a esta característica, as gramíneas conseguem acumular uma grande quantidade de matéria orgânica em pouco tempo. Destacando-se as braquiárias (*Brachiaria* spp.), o capim colônia (*Panicum maximum*) e o capim melado (*Melinis minutiflora*) (REIS; KAGEYAMA, 2003).

A cobertura do solo para este tratamento torna-se importante no auxílio para recuperação da área degradada, pois aumenta a agregação do solo devido ao seu sistema radicular, cobre o solo, contribui para aparecimento dos organismos do solo, facilita a adaptação e crescimento da espécie arbórea e contribui para condições químicas do solo.

5. CONCLUSÕES

Os tratamentos com Gonçalves-alves+Crotalaria, Gonçalves-alves+Feijão-de-porco; e Gonçalves-alves+Lodo de Esgoto+Braquiária nas imagens tomográficas foram os que apresentaram melhores condições da estrutura do solo, comparada ao solo sob vegetação nativa de Cerrado.

Os tratamentos com as maiores estabilidades de agregados foram: Gonçalves-alves+Lodo de Esgoto+Braquiária e solo exposto. Quando se avaliou separadamente, verificou-se que o comportamento do tratamento Gonçalves-alves+Lodo de Esgoto+Braquiária foi resultado do manejo aplicado. Já o solo exposto, foi resultado da compactação do solo.

O tratamento que melhor respondeu a recuperação do solo quanto ao aporte e acúmulo de matéria orgânica no solo foi o que utilizou o Gonçalves-alves+Lodo de Esgoto+Braquiária.

A infiltração de água no solo foi maior nos tratamentos Gonçalves-alves+Crotalaria e Gonçalves-alves+Feijão-de-porco.

O fenômeno de infiltração de água não foi sensível, neste caso, para detectar diferenças entre os tratamentos usados para recuperação do solo.

A estabilidade de agregados, o teor de matéria orgânica e as imagens tomográficas foram melhores indicadores para detectar mudanças positivas na recuperação do solo.

De forma geral, o tratamento Gonçalves-alves+Lodo de Esgoto+Braquiária foi o tipo de manejo mais indicado para a recuperação do solo degradado em estudo. Neste tratamento verificaram-se os maiores valores de estabilidade de agregados, matéria orgânica no solo e desenvolvimento da espécie arbórea.

O processo de recuperação atingiu a camada de solo de 0,00-0,10 m.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. V.; SILVA, A. M.; MORAES, M. L. T.; FREITAS, M. L. M.; BORTOLOZO, F. R.; SILVA, F. F. Implantação de espécies nativas para recuperação de áreas degradadas em região de cerrado. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 4., 2000, Blumenau. **Anais...** Blumenau: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, Fundação Universidade Regional de Blumenau, 2000. 1CD-ROM.
- ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; FERNANDES, F. Disposição do lodo de esgoto no solo. In: ANDREOLI, C. V.; Von SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Coord.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, SANEPAR, 2001. v. 6, p. 319-395.
- ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L. Ambiência. **Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, São José dos Pinhais, v. 5, n. 2, p. 74-83, Maio/Ago. 2009.
- ALCÂNTARA, F. A. de; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B. de; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 277-88, 2000.
- ALVES, M. C. **Sistemas de rotação de culturas com plantio direto em latossolo roxo: efeitos nas propriedades físicas e químicas**. 1992. 173 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas)– Escola Superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1992.
- ALVES, M. C. **Recuperação do subsolo de um Latossolo Vermelho usado para terrapleno e fundação da usina hidrelétrica de Ilha Solteira - SP**. 2001. 83 f. Tese (Livre Docência em Solos) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.
- 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**, Viçosa, v. 31, n. 2, 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. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 19., Brisbane, 2010. **Congress...** Brisbane: Oxford, 2010. 1DVD.
- ANGERS, D. A.; MEHUY, G. R. Aggregate stability to water. In: CARTER, M. R. **Soil sampling and methods of analysis**. Boca Raton: Lewis Publishers, 2000. p. 529-539.
- ARONSON, J.; FLORET, C.; FLOCH, E.; OVALLE, C.; PONTANIER, R. Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semiarid lands. **Restoration Ecology**, Texas, v. 1, n. 3, p. 68-186, 1993.
- ASSAD, M. L. L. Fauna do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA, 1997. 524 p.

AVARETTO, N.; MORAES, A.; MOTTA, A. C. V.; PREVEDELLO, B. M. S. Efeito da revegetação e da adubação de área degradada na fertilidade do solo e nas características da palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 289-297, 2000.

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

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

BENITES, V. de M.; MADARI, B.; BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. Matéria orgânica do solo. In: WALT, P. G. S (Ed.). **Manejo do solo e recomendação de adubação para o estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005. p. 93-120.

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**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 155-163. 2004.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 555-560. 2001.

BERTOL, O. J.; RIZZI, N. E.; BERTOL, I.; ROLOFF, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 781-792, 2007.

BITAR, O. Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo: Piracicaba, 1997. 185 p.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, Canberra, v. 46, n. 4, p. 1459-1466, 1995.

BONINI, C. S. B. **Recuperação de um Latossolo Vermelho tratado com lodo de esgoto**. 2007. 49 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Engenharia de, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; CASSOL, L. C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 383-391, 1999.

CAMPOS, B. C. de; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 121-126, jan./abr. 1995.

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, n. 2, p. 1389-1397, 2008.

CAMPOS, F. S. **Uso de lodo de esgoto na reestruturação de Latossolo Vermelho degradado**. 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

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

CARPANEZZI, A. A. Espécies para recuperação ambiental. In: CAMPOS, F.A. **Espécies não tradicionais para plantio com finalidades produtivas e ambientais**. Curitiba: EMBRAPA/CNPF, 1998. p. 43-53.

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**, Viçosa, v. 14, n. 3, p. 99-105, 1990.

CASTRO, L. A. R. de; ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; TAMANINI, C. R. FERREIRA, A. C. Efeitos do lodo de esgoto como recuperados de áreas degradadas com finalidade agrícola. In: SIMPOSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 5., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 2002. p. 159-163.

CASTRO, S. S.; COOPER, M.; SANTOS, M. C.; VIDAL-TORRADO, P. **Micromorfologia do solo: bases e aplicações**. In: CURI, N; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ VENEGAS, V. H. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3, p. 107-164.

CAVALLARO, N.; PADILLA, N.; VILLARRUBIA, J. Sewage sludge effects on chemical properties of acid soils. **Soil Science**, Viçosa, v. 156, n. 1, p. 63-70, 1993.

CENTRAIS ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO- CESP. **Diretoria de meio ambiente recomposição vegetal**. São Paulo: CESP, 1998. 11 p.

COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu : University of Hawaii, 1989. 249 p.

COLODRO, G.; ESPÍNDOLA, C. R., CASSIOLATO, A. M. R.; ALVES, M. C. Atividade microbiana em um Latossolo degradado tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 195- 198, 2007.

COLODRO, G. **Recuperação de solo de área de empréstimo com lodo de esgoto**. 2005. 82 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

COOPER, M. **Influência das condições físico-hídricas nas transformações estruturais entre horizonte B latossólico e B textural sobre diabásio**. 1999. 132 f. Tese (Doutorado)- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1999.

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**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 527-535, 2003.

DALLA ROSA, A. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo no solo Santo Ângelo (Latossolo Roxo Distrófico)**. 1981. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia, 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**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.

DEMATTÊ, J. L. I. **Levantamento detalhado dos solos do Campus Experimental de Ilha Solteira**. Piracicaba: Universidade Federal de Viçosa, 1980, 131 p. Mimeografado.

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

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**, Viçosa, v. 23, n. 2, p.723-728, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.

FAVERO, C; JUCKSCH, I, ALVARENGA, R. C. ;COSTA, L, M. Modificações na população de plantas espontâneas na presença de adubos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1355-1362, nov. 2001.

FERREIRA, D.F. **Sisvar**: versão 4.2. DEX/UFLA. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2003.

FOX, D. M.; BRYAN, R. B.; FOX, C. A. Changes in pore characteristics with depth for structural crusts. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, n. 3, p. 109-120. 2004.

GALDOS, M. V.; DE MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 569-577, 2004.

HARRIS, R. F.; CHESTERS, G.; ALLEN, O. N. Dynamics of soil aggregation. **Advances in Agronomy**, San Diego, California, v. 18, n. 1 p. 107-169, 1966.

INGARANO, O. E. **Indicadores físicos de la degradación del Suelo**. 2003. 298 f. Tesis (Doctoral)- Facultad de Ciencias, Universidad de La Coruña, 2003.

JAENICKE, E. C. **From the ground up: exploring soil quality's contribution to environmental health**. 2001. 65 f. Dissertação (Mestrado)- Escola Superior de Agricultura

Luiz de Queiroz, Universidade Paulista, 2001.

JORGE, J. A.; LOURENÇÃO, A. L.; ARANHA, C. **Instruções agrícolas para o estado de São Paulo**. 5. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1990. 23 p. (Boletim, 200).

JORGE, J. A.; CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S. Condições físicas de um Latossolo Vermelho-escuro quatro anos após aplicação de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 237-240, 1991.

KAY, B. D. Soil structure and organic carbon: a review. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLETT, R. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC, 1998. p. 169-197.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**: relação solo-planta. São Paulo: Ceres, 1979. 405 p.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 468 p.

KITAMURA, E. M. **Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto**. 2007. 117 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.

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, n. 2, p. 405-416, 2008.

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

LISSO, P. R. O.; VAZ, C. M. P.; NAIME, J. de M. **Recomendações para utilização do microtomógrafo de raios-X Sky Scan 1172 em ciências agrárias e biológicas**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. 22 p. (Documentos, 37).

LEFROY, R. D. B.; GRAEME, J. B.; STRONG, W. M. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic carbon fractions and ¹³C natural isotopic abundance. **Plant Soil**, Brasília - DF, v. 155, n. 156, p. 399-402, 1993.

LIMA, H. V.; LIMA, C. L. R. DE; LEÃO, T. P.; COOPER, M., SILVA, A. P. da; ROMERO, R. E. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 677-684. 2005.

LOPES, J. A. V.; QUEIROZ, S. M. P. Rodovias e meio ambiente no Brasil: uma resenha crítica. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL, 2., 1994, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1994. p. 75-90.

MALLORY, E. B.; PORTER, G. A. Potato yield stability under contrasting soil management strategies. **Agronomic Journals**, Brasília - DF, v. 99, n. 2 p. 501- 510. 2007.

MASCHIO, L.; GAIAD, S.; MONTROYAL, L.; CURCIO, G. R.; RACHWALL, M. F. G.; CAMARGO, C. M. S.; BATTI, A. M. B. Microorganismos e auto-sustentação de ecossistemas em solos alterados. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE

ÁREAS DEGRADADAS 1., 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR / Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1992. p. 440-445.

MALTONI, K. L.; SILVA, E. A. da; SANTOS, D. Z. Ddos; CASSIOLATO, A. M. R., Atributos físicos de subsolo exposto após revegetação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIAS DO SOLO, 33., Uberlândia, 2011. **Anais...** . Uberlândia: SBCS, 2011. 1CD-ROM.

MARIA, I. C.; KOCSSI, M. A.; DECHEN, S. C. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 3, p. 291-298. 2007.

MARQUES, R. M.; FREITAS, D. A. F. de; SILVA, M. L. N.; CASTRO, N. E. A. de; CARVALHO, G. J. de. Indicadores físicos da qualidade do solo em sistemas com cultivo de plantas de cobertura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Anais...** . Uberlândia: SBCS, 2011. 1CD-ROM.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R. A. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, n. 3, p. 449-455, 1994.

MIELNICZUK, J.; SCHNEIDER, P. Aspectos socioeconômicos do manejo do solo no Sul do Brasil. In: Simpósio de Manejo do Solo e Plantio Direto no Sul do Brasil. In: SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DE SOLOS DO PLANALTO, 3., Passo Fundo, 1983. **Anais...** Passo Fundo: UFRS, 1984. p. 185-192

MORIN, J.; VAN WINKEL, J. The effect of raindrop impact and sheet erosion on infiltration rate and crust formation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison,, v. 60, p. 1223-1227, 1996.

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 531-538. 2001.

NASCIMENTO, J. T.; SILVA, I. F.; SANTIAGO, R. D.; SILVA NETO, L. F. Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 457-462, 2003.

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

OLIVEIRA, D. M. F.; DIAS, L. E.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M. Estudo da contribuição da cobertura vegetal sobre a recuperação de solo degradado pela extração de bauxita em Porto Trombetas – PA. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, Silvicultura, 4., 2000, Blumenau. **Anais...** Blumenau: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas/ Fundação Universidade Regional de Blumenau, 2000. 1CD-ROM.

OLIVEIRA, F. C.; MATIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 505-519, 2002.

OLIVEIRA, J. B. de. **Pedologia aplicada**. 2. ed. Piracicaba: Fealq, 2005. 574 p.

OLSZEWSKI, N.; COSTA, L. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; RUIZ, H. A.; ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C. Morfologia de agregados do solo avaliada por meio de análise de imagens. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 70-79, 2004

PAGLIAI, M.; GUIDI, G.; LA MARCA, M.; GIACHETTI, M.; LUCAMANTE, G. Effects of sewage sludges and composts on soil porosity and aggregation. **Jornal Environmental Quality**, Madison, v. 10, n. 5, p. 556- 561, 1981.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicação prática. **Agropecuária**, Guaíba, v. 26, n 3, p. 478-488, 2002.

PIZARRO, E. A.; VALLE, C. B.; KELLER-GREIN, G.; SCHULZE-KAFT, F.; ZIMMER, A. H. Regional experience with *Brachiaria*: Tropical américa-savanas. In: MILES, J. W.; MAASS, B. L.; VALLE, C. B. (Ed.). **Brachiaria**: biology, agronomy and improvement. Brasília: EMBRAPA/CNPQC, 1996. p. 225-246.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Adubação orgânica. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo-IAC, 1997. p. 30-35 (Boletim técnico, 100).

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; J. A. QUAGGIO. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285 p.

REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; CABEDA, M. S. V. Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, n. 3, p. 289-298, 1992.

REIS, A.; KAGEYAMA, P. Y. Restauração de áreas degradadas utilizando interações interespecíficas. In: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E. de; MORAES, L. F. D. de; ENGEL, V. L.; GANDARA, F. B. (Org.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. p. 93-108.

RILEY, H.; POMMERESCHE, R.; ELTUN, R.; HANSEN, S.; KORSAETH, A., Soil structure, organic matter and earthworm activity in a comparison of cropping systems with contrasting tillage, rotations, fertilizer levels and manure use. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Padova, v. 124, n. 131, p. 275-284, 2008.

RODRIGUES, M. P.; SILVA, R. T.; VALCARCEL, R. Infiltrabilidade como critério discriminante de eficiência conservacionista em reabilitação de área degradada. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 5., 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SOBRADEU/UFLA, 2002. 536 p.

ROCHA, G. N.; GONÇALVES, J. L. M.; MOURA, I. M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biofósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 623-639, 2004.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. **Soil & Tillage Research**, Seropédica, v. 65, n. 4, p. 109-115, 2002.

ROTH, C. H.; CASTRO FILHO, C.; MEDEIROS, G. B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo Distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, n. 3, p. 241-248, 1991.

RUIVO, M. L. P. Recuperação de áreas de mineração: uma experiência bem sucedida na Amazônia. In: FERREIRA, E.J.G.; SANTOS, G. M.; LEÃO, E. I. M. ; OLIVEIRA, I. A. (Ed). **Bases científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazônia**. Manaus: INPA, 1993. p. 383-404.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 313-319, 1995.

SCHJONNING, P.; CHRISTENSEN, B. T. Physical and chemical properties of a sandy loam receiving animal manure, mineral fertilizer or no fertilizer for 90 years. **European Journal of Soil Science**. Londres, v. 45, n. 3, p. 257-268, 1994.

SILVA, W. R. A importância das interações planta-animal nos processos de restauração. In: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E. de; MORAES, L. F. D. de; ENGEL, V. L.; GANDARA, F. B. (Org.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAP, 2003. p. 79-88.

SILVA, I.F. da; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 313-319, 1997.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agronômica para o biofósforo 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**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 487-495, 2002.

SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. de C.; ANDRADE, C. A.; TEIXEIRA, C. F. A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 10, p. 1187-1195. 2003.

SKORUPA, A. L. A.; OLIVEIRA, G. C. de; ZINN, Y. L. Micromorfologia de um latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de manejo e preparo por vinte anos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO – SOLOS NOS BIOMAS BRASILEIROS: SUSTENTABILIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 33., 2011, Uberlândia. **Anais...** . Uberlândia: UFU 2011. 1CD-ROM.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 18-23, 2003.

SOUZA, Z. M.; BEUTLER, A. N.; MELO, V. P.; MELO, W. J. Estabilidade de agregados e resistência à penetração em Latossolos adubados por cinco anos com biossólidos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p.117-123, 2005.

SOUZA, Z. M.; JUNIOR, J. M.; COOPER, M.; PEREIRA, G. T. Micromorfologia do solo e sua relação com atributos físicos e hídricos. Brasília **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 487-492, 2006.

SOARES, J. L. N.; ESPINDOLA, C. R.; PEREIRA, W. L. M. Physical properties of soils under intensive agricultural management. **Scientia Agrícola**, Campinas, v. 62, n. 1, p. 165-172, 2005.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Soil and Plant Science**, Michigan, v. 49, n. 2, p. 1-24, 1999.

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

SUZUKI, L. G. A. S. **Recuperação de um solo com adubo verde, lodo de esgoto e revegetado com uma espécie arbórea**. 2005. 55 f. Trabalho de Graduação (Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. The management of ryegrass to stabilize aggregates of a red-brown earth. **Australian Journal of Soil Research**, Canberra, Australia, v. 18, n. 3, p. 415-422, 1980.

VAZ, L. M. S.; GONÇALVES, J. L. M. Uso de biossólidos em povoamento de eucalipto; efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 747-758, 2002.

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**, Viçosa, v. 31, n.4., p. 1271-1280, 2007.

ZANG, R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 61, n. 1, p. 1024-1030, 1997.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Aggregation dynamics of a sandy soil under five cropping systems in rotation and in succession. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 150-159, 2004.