



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

“Recuperação de um subsolo de cerrado com cultivo de
plantas nativa e introduzidas”

ALINE EMY KITAMURA

Ilha Solteira - SP
setembro/2007

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

“Recuperação de um subsolo de cerrado com cultivo de plantas nativa e introduzidas”

ALINE EMY KITAMURA

Orientadora: Prof^ª Dra Marlene Cristina Alves

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

Especialidade: Sistemas de Produção

Ilha Solteira - SP
setembro/2007

FICHA CATALOGRÁFICA

Técnico Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação/Serviço de Biblioteca e Documentação da UNESP-Ilha Solteira

K62r Kitamura, Aline Emy.
Recuperação de um subsolo de cerrado com cultivo de plantas nativa e introduzidas / Aline Emy Kitamura. .. Ilha Solteira : [s.n.], 2007
113 f. : il., fots. (Algumas color.)

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade : Sistemas de Produção, 2007

Orientador: Marlene Cristina Alves
Bibliografia: p. 101-113

1. Recuperação de terra. 2. Lodo de esgoto – Solos. 3. Planta – Solo. 4. Física-química solo. 5. Fauna do solo.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: RECUPERAÇÃO DE UM SUBSOLO DE CERRADO COM CULTIVO DE
PLANTAS NATIVA E INTRODUZIDAS**

AUTOR: ALINE EMY KITAMURA

ORIENTADOR: Prof^a Dra. MARLENE CRISTINA ALVES

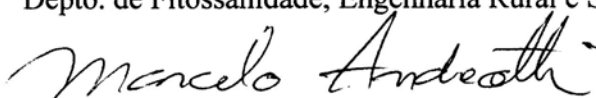
DATA DA REALIZAÇÃO: 17 DE SETEMBRO DE 2007

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR em
AGRONOMIA pela Comissão Examinadora:



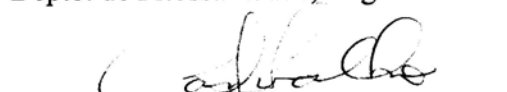
Dr^a MARLENE CRISTINA ALVES

Depto. de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Dr. MARCELO ANDREOTTI

Depto. de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Dr. SERGIO LUIS DE CARVALHO

Depto. de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Dra. DIVA DE SOUZA ANDRADE

Área Técnica de Solos / Instituto Agronômico do Paraná



Dr. JOSE MIGUEL REICHERT

Departamento de Solos / Universidade Federal de Santa Maria

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese a meus pais,

Rosa e Roberto,

e aos irmãos,

Akio e Erika.

AGRADECIMENTOS

- ✓ À prof^a Dra. Marlene, pela amizade, incentivo, dedicação e orientação.
- ✓ Ao curso de Pós-graduação em Agronomia, Área de Concentração em Sistemas de Produção, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, pela possibilidade concedida.
- ✓ À CAPES, pela oportunidade de realização de estágio no exterior.
- ✓ Ao prof Dr. Walter Veriano Valério Filho, pela dedicação nas análises estatísticas.
- ✓ Ao técnico de laboratório Valdivino dos Santos, pela colaboração e amizade.
- ✓ Aos funcionários da secretaria do DEFERS Angela Maria Marcelino Kato e Domingos Pinto Carneiro.
- ✓ Aos colegas e amigos, pelo convívio: Bruna Aroca, Camilo Mesquita, Carolina Batista Bonini, Elza Militão, Fabiana Campos, Fabiana Oikawa, Meiri Nishida Máximo da Cruz, Walter Mesquita, Sílvia Tanabe e Vinicius Tabet.
- ✓ À Faculdade de Engenharia/Universidade Estadual Paulista (UNESP), pela infraestrutura necessária à realização desta pesquisa.
- ✓ À SANEAR, Empresa de Saneamento de Araçatuba por ceder o lodo de esgoto para realização da pesquisa.

RECUPERAÇÃO DE UM SUBSOLO DE CERRADO COM CULTIVO DE PLANTAS NATIVA E INTRODUZIDAS

Autor: Aline Emy Kitamura

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Marlene Cristina Alves

RESUMO

A utilização incorreta dos solos vem causando alterações nos mesmos, tornando-os cada vez menos produtivos, aumentando assim as áreas com solos degradados. O presente trabalho teve por objetivos estudar a recuperação de um Latossolo Vermelho degradado, por meio do uso de adubos verdes e lodo de esgoto, sendo cultivado com uma espécie arbórea nativa de cerrado. A pesquisa foi instalada em 2004, na Fazenda de Ensino e Pesquisa, Setor de Produção Animal, da Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira (Universidade Estadual Paulista – UNESP), situada no município de Selvíria, MS. O monitoramento das alterações do solo foi realizado nos anos de 2005, 2006 e 2007. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com 5 tratamentos e 5 repetições, sendo também caracterizada uma área controle (solo com vegetação nativa de cerrado). Os tratamentos foram: testemunha - solo exposto (sem manejo); espécie arbórea *Astronium fraxinifolium*; *Astronium fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*; *Astronium fraxinifolium*+*Raphanus sativus* até 2005, depois substituído por *Crotalaria juncea*; e *Astronium fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto (60 t ha⁻¹ a base seca). Avaliaram-se no solo: macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, estabilidade de agregados em água, cátions trocáveis, pH, acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), saturação por bases (V %), CTC e macrorganismos. Nos tratamento com adubos verdes, foi avaliada a massa seca e, para a espécie arbórea, a altura e diâmetro de caule. Na testemunha não foi aplicada nenhuma

écnica de recuperação do solo. O preparo inicial do solo foi realizado com subsolagem, gradagem leve e incorporação de 2 t ha⁻¹ de calcário. Os tratamentos adotados estão recuperando as propriedades físicas e químicas do solo. O tratamento com *Astronium fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto foi o que mais se aproximou da condição natural do solo quanto ao número de macrorganismos, a diversidade e equitabilidade, indicando que os tratamentos estão contribuindo positivamente para a sua recuperação. A adubação orgânica com lodo de esgoto associada à braquiária é mais eficiente no desenvolvimento de plantas de *Astronium fraxinifolium* Schott no solo estudado e, em três anos de estudo, apresenta taxa de crescimento anual significativa.

Termos de indexação: área de empréstimo, solo degradado, densidade do solo, porosidade do solo, fertilidade do solo, macrorganismos do solo.

RECLAMATION SUBSOIL OF CERRADO WHIT CULTURE OF NATIVE AND INTRODUCED PLANTS

Author: Aline Emy Kitamura
Advisor: Prof^a. Dr^a. Marlene Cristina Alves

ABSTRACT

The inadequate soil use causes changes which lead to lower productivity, thus increasing the areas with degraded soil. The present work had as objective to recovery a degraded soil, using green manure, sewage sludge and native tree specie. The investigation began in 2004 and was conducted in Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brazil. The evaluations were done in the years of 2005, 2006 and 2007. The experimental design was a randomized blocks with 5 treatments and 5 replications. The treatments were: control (degraded soil without management); *Astronium fraxinifolium*; *Astronium fraxinifolium* + *Canavalia ensiformis*; *Astronium fraxinifolium* + *Raphanus sativus* after substituted by *Crotalaria juncea*; and *Astronium fraxinifolium* + *Brachiaria decumbens* + sewage sludge (60 t ha⁻¹ on dry basis). A control area whit the original vegetation (savannah) was also used as control. The following soil properties were evaluated: macro porosity, micro porosity, total porosity, bulk density, exchangeable cations, pH, potential acidity, base saturation, CEC and macrofauna. For green manure the dry matter was evaluated. In tree species were evaluated: average and diameter of stem. In the control the technique of recovery of the soil was not applied. The initial preparation of the soil was carried out with sub soiling, leveling disk and incorporation of 2 t ha⁻¹ of lime. The treatments are recovering the physical and chemical properties of the soil. The *Astronium fraxinifolium* + *Brachiaria decumbens* + sewage sludge was the best treatment because of its similarity in macrofauna compared to the natural soil conditions. The macrofauna increased in the soil with time and this indicates the improvement in soil properties. The presence of grub and beetle was the best indicator of soil macrofauna recovery. The treatment *Astronium*

fraxinifolium + *Brachiaria decumbens* + sewage sludge is the best for plant development (*Astronium fraxinifolium*) and, in this soil after three years the annual growth rate increased significantly.

Index terms: degraded soil, degraded soil, bulk density, soil porosity, soil fertility, soil macrofauna.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Aspecto da vegetação nativa (Cerrado) na qual encontra-se espécies arbóreas como a <i>Curatella americana</i> , <i>Stryphnodendron adstringen</i> , <i>Byrsomia verbascifolia</i> , <i>Astronium faxinifolium</i>	35
Figura 2. Perfil do solo original.....	36
Figura 3. Vista geral da área mostrando o corte de 8,60 m de espessura.	36
Figura 4. Perfil do solo da área degradada onde foi retirada a camada de solo de 8,60 m.....	37
Figura 5. Esquema da disposição dos tratamentos na área de pesquisa, Selvíria, MS.	39
Figura 6. Detalhe do lodo de esgoto utilizado.	41
Figura 7. Vista geral da área experimental antes da implantação do experimento.	42
Figura 8. Preparo da área (subsolagem).	42
Figura 9. Preparo da área (gradagem).	43
Figura 10. Aspecto do lodo de esgoto espalhado na superfície do solo	43
Figura 11. Detalhes das parcelas que receberam lodo de esgoto.....	44
Figura 12. Área com o solo exposto (sem manejo para recuperação).....	44
Figura 13. Feijão-de-porco (<i>Canavalia ensiformes</i>) 15 dias após a semeadura.....	45
Figura 14. Nabo forrageiro (<i>Raphanus sativus</i>) 15 dias após a semeadura.....	45
Figura 15. Braquiária (<i>Brachiaria decumbens</i>) 15 dias após a semeadura.	46
Figura 16. Gonçalves-alves (<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott) 15 dias após o transplante.....	46
Figura 17. Vista após a roçagem da braquiária no tratamento AFLE, após 10 meses de semeadura.	47
Figura 18. Crotalaria (<i>Crotalaria juncea</i>) em março de 2007.	47
Figura 19. Vista da área experimental em março/2007.	48
Figura 20. Método de coleta dos macrorganismos, detalhe da delimitação da área de coleta.	50

Figura 21. Método de coleta direta dos macrorganismos e armazenamento.....	51
Figura 22: Exemplares das ordens encontrados nos ambientes estudados e seus respectivos aumentos Coleopeta (5x), larva (20x), Polysdemida (5x), Arachnida (30x), Isoptera (30x), Haploxida (9x), Formicidae (15x), Dermaptera (5x).	81
Figura 25. Representação porcentual dos macrorganismos do solo nos tratamentos estudados na camada de 0,10-0,15 m, agosto/2005, Selvíria, MS	84
Figura 27. Representação porcentual dos macrorganismos do solo nos tratamentos estudados camada de 0,05-0,10 m janeiro/2006, Selvíria, MS.	86
Figura 28. Representação porcentual dos macrorganismos do solo nos tratamentos estudados na camada de 0,10-0,15 m janeiro/2006, Selvíria, MS.....	87
Figura 29. Representação porcentual dos macrorganismos do solo nos tratamentos estudados na camada de 0,00-0,05 m, março/2007, Selvíria, MS.....	88
Figura 30. Representação porcentual dos macrorganismos do solo nos tratamentos estudados na camada de 0,05-0,10 m, janeiro/2007, Selvíria, MS.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médios de tamanho de partículas do solo da área experimental. Selvíria, MS, 2004.	35
Tabela 2. Resultados da análise química do lodo de esgoto, Selvíria, MS.	40
Tabela 3. Análise química para fins de toxicidade do lodo de esgoto utilizado de Araçatuba-SP.....	40
Tabela 4. Propriedades físicas do solo original (cerrado) e degradado antes da implantação da pesquisa, Selvíria, MS, 2004.	49
Tabela 5. Propriedades químicas do solo original (cerrado) e degradado antes da implantação da pesquisa, Selvíria, MS, 2004.	50
Tabela 8. Médias de porosidade total do solo para os tratamentos, camadas e anos estudados, Selvíria, MS.....	58
Tabela 9. Médias de densidade do solo para os tratamentos, camadas e anos estudados, Selvíria, MS.....	60
Tabela 10: Valores médios de distribuição de tamanho de agregados e DMP, em função dos tratamentos e épocas de estudos, na camada de solo de 0,00-0,05 m. Selvíria, MS.	62
Tabela 11. Valores médios de distribuição de tamanho de agregados e DMP, em função dos tratamentos e épocas de estudos, na camada de solo de 0,05-0,10 m. Selvíria, MS.	63
Tabela 12. Valores médios de distribuição de tamanho de agregados e DMP, em função dos tratamentos e épocas de estudos, na camada de solo de 0,10-0,20 m. Selvíria, MS.	64
Tabela 13. Desdobramento da interação épocas x tratamentos para classe de tamanho de agregados de 4-2 mm na camada 0,00-0,05 m.	65
Tabela 14. Desdobramento da interação épocas x tratamentos para DMP na camada de solo de 0,10-0,20 m.....	65

Tabela 15. Valores médios de P, MO, pH, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC e V% do solo, na camada de solo de 0,00–0,05 m e nos anos estudados, Selvíria, MS.....	72
Tabela 16. Valores médios de P, MO, pH, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC e V% do solo, na camada de solo de 0,05–0,10 m e nos anos estudados, Selvíria, MS.....	73
Tabela 17. Valores médios de P, MO, pH, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC e V% do solo, na camada de solo de 0,10–0,20 m e nos anos estudados, Selvíria, MS.....	74
Tabela 18. Valores médios de P, MO, pH, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC e V% do solo, na camada de solo de 0,20–0,40 m e nos anos estudados, Selvíria, MS.....	75
Tabela 19. Distribuição dos macrorganismos do solo nos tratamentos e camadas de solo estudado. Agosto/2005. Selvíria, MS.....	78
Tabela 20. Distribuição dos macrorganismos do solo nos tratamentos e camadas de solo estudado. Janeiro/2006. Selvíria, MS.....	79
Tabela 21. Distribuição dos macrorganismos do solo nos tratamentos e camadas de solo estudado. Março/2007. Selvíria, MS.	80
Tabela 22. Índices de diversidade de Shannon (H) e índice de equitabilidade de Pielou (E) aplicado aos tratamentos em cada camada de solo em três anos consecutivos, Selvíria, MS..	94
Tabela 23. Valores médios de altura de plantas de gonçalo-alves nos tratamentos estudados, em diferentes épocas após o plantio.	95
Tabela 24. Valores médios de diâmetro das plantas de gonçalo-alves nos tratamentos estudados, em diferentes épocas após o plantio.	95
Tabela 25. Valores médios de produtividade de massa seca do adubo verde e braquiária em 2004 e 2005. Selvíria, MS.	98
Tabela 26. Valores médios de produtividade de massa seca do adubo verde e braquiária em 2006 e 2007. Selvíria, MS.	99

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

1.	INTRODUÇÃO.....	17
2.	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1.	Degradação dos Solos.....	19
2.2.	Recuperação/restauração/substituição	21
2.3.	Métodos de recuperação de áreas degradadas	23
2.3.1.	Métodos físicos.....	23
2.3.2.	Métodos biológicos	24
2.3.2.1.	Adubos Verdes	24
2.3.3.	Adubos orgânicos	27
2.3.4.	Sistemas agroflorestais	28
2.4.	Problemas das áreas de empréstimo	29
2.5.	Estudos realizados na área de empréstimo em estudo	32
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3.1.	Localização e características gerais da área experimental.....	34
3.2.	Delineamento experimental e tratamentos	37
3.3.	Instalação e condução da pesquisa	41

3.4.	Determinações	48
3.5.	Propriedades físicas do solo	48
3.6.	Propriedades químicas do solo	49
3.7.	Macrorganismos do solo.....	50
3.8.	Avaliações da espécie arbórea nativa	52
3.9.	Avaliações dos adubos verdes e braquiária	52
3.10.	Forma de análise dos resultados	52
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1.	Propriedades físicas do solo	53
4.1.1.	Macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo	53
4.1.2.	Estabilidade de agregados em água.....	61
4.2.	Propriedades químicas do solo	66
4.3.	Macrorganismos do solo.....	77
4.4.	Propriedades das plantas.....	94
4.4.1.	Altura e diâmetro das plantas de gonçalo-alves	94
4.4.2.	Massa seca dos adubos verdes e da braquiária	97
5.	CONCLUSÕES.....	100
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

1. INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial, a necessidade crescente de alimentos e condições para sobrevivência faz com que as ações antrópicas causem alterações no ambiente. Assim sendo, quando o uso dos recursos naturais é inadequado, ocorre sua degradação.

No início dos anos 60 houve aumento na demanda de energia devido ao aumento populacional, o que fez com que os governos intervissem para suprir as necessidades da demanda, com a construção de diversas usinas hidrelétricas. Em São Paulo foi construída a Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, no rio Paraná. Na época não existiam leis que exigissem relatórios de impactos ambientais, assim, a construção da usina acarretou alto nível de degradação no ecossistema da região e no solo de onde foi retirado o material para construção da fundação e paredes da barragem.

Em particular, a obra de engenharia construída com o objetivo de gerar energia, utilizando-se da queda de água num curso natural, leva a um grande impacto ambiental. Isso porque grandes áreas são inundadas e grandes volumes de solos são removidos para a execução das terraplanagens e fundações, dando origem às chamadas “áreas de empréstimos”.

Outro grande problema ambiental na atualidade são os resíduos sólidos de origem domiciliar e industrial, sendo o destino final dos mesmos um grande desafio. Depois de tratados biologicamente, os esgotos produzem um resíduo rico em matéria orgânica chamado de lodo de esgoto. Entre as alternativas para a destinação final do lodo de esgoto pode-se citar seu uso na produção de energia. A utilização agrônômica, no entanto, apresenta maior potencial e oferece a oportunidade de seu uso como fertilizante e condicionador de solos. O lodo de esgoto tem sido utilizado na melhoria de áreas florestadas, na recuperação de áreas degradadas, como fertilizante em culturas anuais de grãos e condicionador físico do solo.

Em vista da crescente necessidade de recuperar áreas degradadas e o excedente desse resíduo, muitos estudos estão sendo desenvolvidos no intuito de aprimorar técnicas para resgatar as características originais das áreas em questão e conter os efeitos negativos no planeta.

Na recuperação de um solo degradado, a adição e balanço de matéria orgânica são fundamentais. Várias fontes de matéria orgânica podem ser utilizadas, como por exemplo, os adubos verdes. A quantidade adicionada de carbono em determinadas condições edafoclimáticas depende das espécies e dos sistemas de cultura utilizados. Neste contexto,

Aguiar et al. (2002) 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.

Entende-se que para realizar os objetivos propostos por este trabalho e para resgatar as características do objeto, que se deseja restaurar e manter íntegro, é preciso estabelecer estudos básicos que envolvam inventários qualitativos e quantitativos de solo e planta, bem como estudos sobre a estrutura das comunidades, inclusive áreas remanescentes próximas à área a ser restaurada. Assim, essa pesquisa será desenvolvida basicamente a partir da compreensão dos indicadores e monitoramento das condições físico-químicas e da macrofauna do solo.

Pelo exposto foi desenvolvido este trabalho que teve como objetivo recuperar as propriedades de um Latossolo Vermelho, usado na terraplanagem e fundação da Usina hidrelétrica de Ilha Solteira, SP, utilizando adubos verdes e lodo de esgoto, sendo revegetado com *Astronium fraxinifolium*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Degradação dos Solos

A degradação dos solos, o desmatamento e o isolamento de remanescentes florestais têm se constituído em ameaças concretas à estrutura, funções e estabilidade da Mata Atlântica e do Cerrado, biomas de importância global presentes no Estado de São Paulo. Além disso, a degradação dos solos contribui para o agravamento da pobreza no meio rural.

O Estado de São Paulo abriga dois dos quatro principais Biomas existentes no Brasil: a Mata Atlântica, que originalmente cobria 81 % da área do Estado, e o Cerrado, que originalmente recobria cerca de 14 % do território paulista. O intenso processo de desmatamento e de degradação dos solos observado historicamente, e que ainda implica em pressões sobre os remanescentes dos ecossistemas originais, tem levado a perda acelerada de biodiversidade. No Brasil como um todo, atualmente menos de 8 % da área de domínio de Mata Atlântica preserva suas características bióticas originais. As áreas de cerrado estão sobre forte pressão de desmatamento, sendo que em São Paulo quase todas estão submetidas a algum grau de perturbação (RESENDE, 2006).

Os cerrados paulistas têm também uma situação bem crítica, sendo que dos cerca de 14 % da área do território paulista ocupado originalmente por cerrados, hoje estariam reduzidos a menos de 4 %, descaracterizando as grandes manchas de cerrado que existiram no Estado (KRONKA et al., 1998). Poucos estudos preocupam-se com a recuperação dessas áreas, destacando-se os trabalhos de Durigan (1996), Durigan et al. (1997), Côrrea e Cardoso (1998).

Degradação de áreas é um termo complexo e que não tem uma única característica que o identifique, mas sim descrevendo como um ou mais recursos da área (solo, água, vegetação, rocha, ar, clima, relevo) ter piorado ou descido de nível (STOCKING; MURNAGHAN, 2000).

O conceito oficial mais adotado pela United Nations Food and Agriculture Organization (FAO, 1995), define degradação como a perda temporária ou permanente da capacidade produtiva da área. Para os Programas do Global Environment Facility (GEF, 2006) é entendida como qualquer forma de deteriorização do potencial natural da área que afeta a integridade do ecossistema em termos de qualquer redução na produtividade e

sustentabilidade ecológica ou em termos da riqueza biológica natural e manutenção da resiliência.

Fazendo referência ao Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas, citam como os principais fatores de degradação de solos (DIAS; GRIFFITH, 1998): a) desmatamento ou remoção da vegetação nativa para fins de agricultura, florestas comerciais, construção de estradas, mineração e urbanização; b) o superpastejo da vegetação; c) as atividades agrícolas com uso insuficiente ou excessivo de fertilizantes, uso de água de irrigação de baixa qualidade, uso inapropriado de máquinas agrícolas e ausência de práticas conservacionistas de solo; d) exploração intensa da vegetação para fins domésticos, como combustível, cercas etc., expondo o solo a ação dos agentes de erosão; e e) atividades industriais, bioindustriais ou de mineração que causam a poluição do solo.

Estima-se em mais de 200 milhões de hectares de solo degradado no Brasil resultantes de ações como mineração, construção de estradas, métodos agropecuários impróprios, construções de represas e áreas industriais (EMBRAPA, 2007).

Como conseqüências gerais da degradação do solo, citam Noffs, Galli e Gonçalves (2000): o empobrecimento do solo acarretando perda da capacidade produtiva e maiores gastos com a produção agrícola ou com a recuperação; o assoreamento de rios com diminuição da profundidade dos leitos e da capacidade de transporte, aumento de ocorrências das cheias e impacto sobre a ictiofauna; o assoreamento de reservatórios e açudes, resultando em perda da capacidade de geração de energia, comprometimento da qualidade da água para os usos diversos; e o entulhamento de depressões e várzeas, por meio do acúmulo de material carregado, resultando na destruição dos ecossistemas de áreas úmidas e áreas agrícolas, e propagação de doenças.

Como as áreas degradadas passaram por impactos de várias ordens, deve-se proceder analisando cada caso separadamente. Várias estratégias para a recuperação de uma área podem ser propostas. O primeiro passo é identificar o fator degradante da área. Uma vez identificado, esse fator deve ser eliminado e deve-se, ainda, evitar sua reincidência. Pode-se propor a reabilitação da área, atribuindo a ela uma função adequada ao uso humano e restabelecendo suas principais características, conduzindo-a a situação alternativa e estável (IBAMA, 1990).

Independentemente dos aspectos considerados e do conceito adotado, um ponto comum das áreas degradadas é a redução da resiliência e conseqüente necessidade de

intervenção humana, visando acelerar o processo de recuperação ou guiá-lo para o resultado final que se pretende (REIS, 2006).

2.2. Recuperação/restauração/substituição

A recuperação ambiental admite os níveis de restauração (obtenção de ecossistemas idênticos ao original), reabilitação (parecido com o original, por critérios como porte da vegetação e espécies) e substituição (criação de um ecossistema novo no lugar do antigo; ex: formação de um lago, numa cava de mineração ou pedreira, em local onde anteriormente era um ecossistema florestal) (CARPANEZZI, 2000). Os termos restauração, reabilitação e substituição são, nesse caso, sinônimos de recuperação e utilizados para descrever diferentes formas ou intensidades de recuperação ambiental.

Para o IBAMA (1990), recuperação significa que o sítio degradado será retornado a uma forma e utilização de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo. Implica que uma condição estável será obtida em conformidade com os valores ambientais, estéticos e sociais da circunvizinhança. Significa, também, que o sítio degradado terá condições mínimas de estabelecer um novo equilíbrio dinâmico, desenvolvendo um novo solo e uma nova paisagem. No mesmo trabalho verifica-se o conceito de reabilitação como sendo o retorno da área a um estado biológico apropriado, onde este retorno pode significar o uso produtivo da área em longo prazo, tal como a implantação de uma atividade que renda lucros ou atividades menos tangíveis em termos monetários, visando à recreação ou a valorização estético ecológica. E restauração com o retorno ao estado original, antes da degradação, segundo o artigo é quase impossível de ser conseguida.

Recuperação é um termo corriqueiramente utilizado como sinônimo de reabilitação e restauração. Porém, na literatura técnica recuperar não é sinônimo de reabilitar, nem de restaurar. A recuperação da área visa a “restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original” como é definida pela Lei Federal 9985/2000, que criou o SNUC (Sistema Nacional de Unidades de Conservação). Trata-se de retornar às condições de funcionamento, pois objetiva recuperar a estrutura (composição em espécies e complexidade) e as funções ecológicas (ciclagem de nutrientes e biomassa) do ecossistema (BARBOSA, 2006b).

A restauração objetiva conduzir o ecossistema à sua condição original. É considerada uma hipótese remota e até mesmo utópica, uma vez que há falta de informações sobre a situação original, podendo ter ocorrido extinção de espécies e alterações na comunidade e em sua estrutura no decorrer da sucessão, além da indisponibilidade de recursos financeiros para tal (BARBOSA, 2006a; MANTOVANI, 1998; RODRIGUES; GANDOLFI, 2001).

A maior parte da bibliografia disponível, no entanto, apresenta conceitos e entendimentos distintos para os termos recuperação, reabilitação e restauração, sendo o termo substituição menos adotado na bibliografia específica (REIS, 2006).

Genericamente podem-se indicar as seguintes intervenções: condução da regeneração natural, semeadura direta e a implantação de espécies arbustivo-arbóreas nativas regionais. Rodrigues e Gandolfi (2001) sugerem em alguns casos, quando possível, a transferência de propágulos alóctones (serapilheira e banco de sementes) e implantação de consórcios de espécies com uso de mudas e sementes. Quando a área apresenta pequeno grau de perturbação, onde se observa a presença dos processos ecológicos (banco de sementes, de plântulas, rebrota), a regeneração natural é a estratégia indicada, uma vez que há possibilidade de auto-recuperação.

As ações de intervenção consistem em isolar a área dos fatores perturbadores com a construção de cercas e aceiros (RODRIGUES, 2002). A semeadura direta pode ser empregada para áreas de difícil acesso ou áreas montanhosas, embora não se restrinja a esses casos. Engel et al. (2002) observaram que, embora o desempenho não seja satisfatório, o baixo custo justifica essa alternativa econômica para a recuperação florestal.

A implantação de espécies arbóreas é um procedimento que permite reduzir as etapas iniciais da sucessão natural, onde surgem primeiramente espécies herbáceas e gramíneas que enriquecem o solo com matéria orgânica, alterando suas características e, assim, permitir o aparecimento de indivíduos arbustivo-arbóreos. Na implantação florestal essa etapa inicial é eliminada, plantando-se mudas de espécies arbóreas e arbustivas, num solo previamente corrigido e preparado. No plantio heterogêneo com espécies nativas regionais, a implantação dos espécimes arbustivo-arbóreos pode ocorrer de forma simultânea, possibilitando a acomodação tanto de espécies pioneiras, quanto de não-pioneiras (DUARTE; BUENO, 2006).

Uma área degradada pode ser recuperada tendo em vista uma destinação para diversos usos possíveis (NOFFS; GALLI; GONÇALVES, 2000). Todavia o termo recuperação não se aplica indistintamente a todos os usos possíveis. O termo recuperação deve estar associado à

idéia de que o local alterado seja trabalhado de modo que as condições ambientais situem-se próximas às condições anteriores à intervenção, ou seja, trata-se de devolver ao local o equilíbrio dos processos ambientais ali atuantes anteriormente. O termo reabilitação deve estar associado à idéia de que o local alterado deverá ser destinado a uma dada forma de uso do solo, de acordo com projeto prévio e em condições compatíveis com a ocupação circunvizinha, ou seja, trata-se de reaproveitar a área para outra finalidade. E o termo restauração deve estar associado à idéia de reprodução das condições exatas do local, tais como eram antes de serem alteradas.

Na prática, a reabilitação é geralmente o nível de recuperação desejado (CARPANEZZI, 2000). Por reabilitação, Lott, Bessa e Vilela (2004) também entendem como a busca de uma condição ambiental mais estável, a ser obtida em conformidade com os valores estéticos e sociais da circunvizinhança e que tem como objetivo dar um determinado uso para o sítio interferido, de acordo com o plano preestabelecido para o uso, além de conferir estabilidade ao ambiente. Restauração refere-se à série de tratamentos que buscam recuperar a forma original do ecossistema, isto é, sua estrutura original, dinâmica e interações biológicas, geralmente recomendados para ecossistemas raros e ameaçados, demandam mais tempo e resultam em maiores custos.

2.3. Métodos de recuperação de áreas degradadas

2.3.1. Métodos físicos

A compactação é um dos problemas mais agravantes das áreas degradadas, influenciando no crescimento das espécies vegetais e a capacidade da fauna do solo sobreviver nestas áreas que se tornam inabitáveis. Sendo assim, uma das primeiras medidas físicas a serem aplicadas nestas áreas degradadas são relacionadas à diminuição da densidade do solo, seja através de manejo com máquinas pesadas ou da aplicação de matéria orgânica.

Em vista do alto grau de compactação do subsolo exposto (retirada de 1,5 m de solo superficial) Leite, Martins e Haridasan (1994) realizaram como medidas descompactadoras do solo, três escarificadores de 0,4 m de comprimento espaçados de 0,4 m e gradagem com grade de disco (28 polegadas), além da construção de terraços em toda área experimental. A descompactação e a gradagem propiciaram o aumento da capacidade de infiltração de água no solo e uma diminuição da resistência do solo à penetração.

Em uma área de empréstimo (extração de cascalho laterítico) com mais de três décadas de abandono, o subsolo foi trabalhado mecanicamente (1992) com uma descompactação por meio de cinco subsoladores de 0, 50 m de comprimento, com espaçamento de 0,40 m, seguido de uma gradagem (grade de disco de 28 polegadas) (MARTINS; LEITE; HARIDASAN, 2004). A tentativa de revegetação com espécies gramíneas nativas de cerrado obteve aumento da cobertura do solo em 32 espécies existentes no coquetel de sementes utilizados.

Áreas em declive como da área de empréstimo gerada originada pela construção da Usina Hidrelétrica de Camargos, de onde foram retirados entre 5 a 7 metros de solo, como procedimento para recuperação da área, Ferreira et al. (2007) construíram terraços em nível, e a área foi totalmente subsolada a 0,30-0,60 m de profundidade, em linhas em nível a cada 1,5 m. Posteriormente, efetuou-se o sulcamento, também, em nível, a cada 1,5 m, intercalado às linhas de subsolagem. Foram observados avanços na dinâmica de crescimento das espécies, no entanto, apesar das técnicas aplicadas para melhorar as características físicas do solo, o crescimento das espécies plantadas foi afetado pela presença de camadas restritivas ao crescimento radicular e pelo gradiente topográfico.

Uma área degradada por decamento (retirada dos horizontes superficiais do solo), utilizada como área de empréstimo na construção das pistas do Aeroporto Internacional de Curitiba, decapada por volta de 1990. Tamanini (2004) buscando reduzir a compactação do solo, o submeteram a uma subsolagem até 0,75 m de profundidade, perpendicular à declividade do terreno, porém mantendo a topografia inicial. Após esta atividade se realizou uma gradagem para o nivelamento da área experimental e redução dos caminhos preferências do escoamento superficial. Além destas melhorias físicas foi adicionado lodo de esgoto o que aumentou em 10x a produção do milho, indicando a recuperação da área.

2.3.2. Métodos biológicos

2.3.2.1. Adubos Verdes

O uso da cobertura vegetal como medida mitigadora dos impactos ambientais é uma opção coerente, prática e econômica. A deposição de matéria orgânica é o ponto chave no processo de construção de solo, na medida em que proporciona a formação da estrutura, a matéria orgânica é a principal responsável pela manutenção dos ecossistemas tropicais

(VALCARCEL, 1998). O incremento dos teores de matéria orgânica, seja via adição de resíduos ou pelo crescimento de biomassa no próprio local, talvez seja o passo mais importante a ser seguido na recuperação das propriedades físicas do solo. Essa matéria orgânica, juntamente com a ação do sistema radicular das plantas, da biota do solo e dos óxidos de ferro e alumínio, são responsáveis pela formação dos agregados, melhorando a estrutura, aeração, densidade do solo, condutividade hidráulica e retenção de água do solo (MOTTA NETO, 1995).

O desempenho de dois adubos verdes (guandu e crotalária), em uma área degradada com e sem incorporação cultivada com braquiária foi estudado por Alcântara et al. (2000). As culturas foram manejadas na fase final de florescimento e análises químicas foram realizadas em três épocas (90, 120 e 150 dias após o manejo). O guandu se destacou na primeira avaliação quanto às melhorias na fertilidade do solo, e a crotalária, de mineralização mais lenta, na segunda avaliação. Na terceira avaliação, não foram encontrados benefícios dos adubos verdes nas propriedades químicas do solo.

Em uma área seriamente degradada de baixa fertilidade e pobres condições físicas Zhang e Fang (2004), testaram tratamentos com adubo verde (*Lolium perenne*), adubo orgânico (dejetos bovinos) e fertilização química incorporados a duas profundidades (0,20 e 0,35-0,45 m). Sugerem que, para a restauração da qualidade do solo de forma rápida, o uso de adubo verde combinado a adubo orgânico incorporado a 0,40 m seria a melhor opção do que a fertilização química, obtendo assim melhor desempenho nas propriedades do solo: decréscimo na densidade do solo e aumento da fertilidade e da infiltração do solo.

Analisando os efeitos das adubações verdes e orgânicas na produtividade de braquiária em Latossolo Vermelho degradado, Suzuki (2005) verificou que após 274 dias de semeadura a produtividade da massa seca da braquiária (*Brachiaria decumbens*) aumentou aproximadamente 28 vezes, passando de 366 kg ha⁻¹ aos 88 dias para 10.133 kg ha⁻¹. Alves (2001), estudando a produtividade de massa seca de braquiária num solo em recuperação há sete anos, verificou produção de 7.000kg ha⁻¹, porém sem haver corte da fitomassa no ano.

Com o objetivo de aumentar o teor de matéria orgânica de uma área de empréstimo, Colodro (2005) semeou braquiária (*Brachiaria decumbens*), pois, por meio da massa vegetal da parte aérea e raízes, é uma grande fonte de carbono, e apresenta maior relação C/N. Dentre as aptas a semeadura nas condições de solo degradado (menor exigência quanto à fertilidade do solo).

A *Brachiaria decumbens* cultivar Basilisk é uma opção para cultivo em solo degradado, pois se desenvolve bem em áreas de solos de baixa fertilidade, mas a produtividade de massa seca aumenta consideravelmente com a melhoria dos níveis de fertilidade (VALLE; EUCLIDES; MACEDO, 2000). Está amplamente difundida e instalada em todo o Brasil Tropical úmido a vários anos, como planta forrageira para bovinos, ocupando posição destacada entre as principais pastagens utilizadas.

O efeito das coberturas mortas de aveia e crotalária, semeadas no outono em um Latossolo Roxo do centro experimental de Campinas, no controle de plantas daninhas, temperatura e umidade do solo, em um sistema de semeadura direta foi estudado por Castro, Maria e Nascimento (1989). Concluíram que a aveia levou a menor incidência de plantas daninhas, menor amplitude térmica e maior disponibilidade de água, principalmente nos meses de menor precipitação pluvial.

A *Crotalaria juncea*, comparada com *Mucuna aterrina*, *Cajanus cajan*, *Dolichos labellabe* e *Canavalia ensiformes*, foi o adubo verde que mais se destacou, apresentando maior produtividade de biomassa (massa seca 13.000 a 10.000 kg ha⁻¹) e incorporação de nutrientes, seguida de *Cajanus cajan* (6.840 kg ha⁻¹) e *Canavalia ensiformes* (6.000 kg ha⁻¹) (SILVA et al., 2002).

Com a finalidade de avaliar o efeito de leguminosas nas características químicas de um Luvisolo degradado, Nascimento et al. (2003) testaram 13 espécies. Os resultados mostraram efeitos significativos das leguminosas sobre a fertilidade do solo, em comparação com a testemunha, com incrementos significativos de pH e de cátions trocáveis, refletindo positivamente na CTC e no índice de saturação por bases. Na matéria orgânica não ocorreu efeito significativo entre leguminosas e testemunha.

O solo estudado por Albuquerque et al. (2005) foi degradado fisicamente pelo seu uso intensivo se comparado ao sistema com mata nativa, caracterizado pelo reduzido teor de C orgânico e baixa estabilidade de agregados. O uso de plantas de cobertura de verão (guandu anão, mucuna cinza, feijão de porco) aumentou o teor de C, mas não modificou a estabilidade de agregados e o grau de floculação da argila. Concluíram, também, que essas práticas associadas ao manejo conservacionista podem melhorar as características físicas do solo.

Em estudo com o objetivo de verificar a influência de propriedades físicas, químicas e biológicas na estabilidade de agregados, Dufranc et al. (2004) verificaram que a matéria orgânica, a comunidade bacteriana e os teores de Fe, de K e de argila foram os principais

agentes agregantes. Em áreas com baixos teores de argila e altos teores de areia fina, baixos índices de estabilidade foram encontrados, e índices de agregação elevados, ao teor de argila e maior quantidade de matéria orgânica no solo.

2.3.3. Adubos orgânicos

Como fonte externa de matéria e nutrientes muitos resíduos alternativos estão sendo testadas para recuperação de solos degradados, a torta de mamona e a turfa (humutrin), proporcionando aumento do pH e uma maior disponibilidade de P, K, Ca e Mg. O uso desses resíduos combinados com práticas mecânicas, para eliminar as restrições físicas, reduziu a densidade do solo em 12,5 % e criaram condições para o estabelecimento de cerca de 70 espécies de plantas nas parcelas experimentais (LEITE; MARTINS; HARIDASAN, 1994). Com apenas 2% (60t ha⁻¹ com umidade zero) de adição de turfa a solos degradados foi suficiente para promover melhorias nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas (FRANCHI, 2000).

O uso de fertilizantes químicos cumpre seu papel significativamente no que se refere a produtividade vegetal; no entanto, quando o objetivo é a melhoria da qualidade solo, os adubos orgânicos (dejeito suíno) apresentam um desempenho muito superior, estabilizando valores de pH, disponibilizando sais solúveis, diminuindo a compactação, e com o aumento do carbono orgânico no solo favorece também a ação cimentante nos agregados tal qual constitui a estrutura do solo (WANG; YANG, 2003).

A aplicação do lodo de esgoto em áreas degradadas traz benefícios às propriedades do solo devido às suas características. Como a área degradada se caracteriza por não fornecer condições ao desenvolvimento e fixação da vegetação em função da falta de matéria orgânica e de nutrientes no solo e da atividade biológica, a adição do lodo de esgoto apresenta uma série de características que favorecem a recuperação e o reaparecimento da vegetação, verificando-se respostas maiores em solos com problemas de estrutura e fertilidade. A influência do lodo de esgoto na retenção do C orgânico provoca aumento significativo do mesmo e da capacidade de troca catiônica do solo. Sendo assim, a reciclagem agrícola do lodo, bem como qualquer outra forma de manejo de matéria orgânica do solo, explora os benefícios diretos da melhoria das condições físicas do solo e do aumento da produtividade e devem ser estimuladas para compor políticas globais do balanço do ciclo do carbono (MELO; MARQUES, 2000; TSUTUYA et al., 2001).

O uso de lodo de esgoto na recuperação e revegetação de solos degradados deve ser extensivamente estudado, pois a aplicação apropriada desse resíduo pode contribuir para a revegetação dos solos de maneira segura para o ser humano e o ambiente.

Geralmente são utilizadas grandes dosagens de lodo de esgoto, potencializando o aporte de maiores quantidades de elementos indesejáveis, proporcionalmente à composição do lodo. Atualmente as taxas de aplicação para a recuperação de solos variam de 7 a 450 toneladas secas por hectare, sendo que a taxa de aplicação típica é de 112 toneladas secas por hectare. A taxa de aplicação é definida em função da quantidade de matéria orgânica e nutriente necessários ao solo, para suportar a vegetação até que o ecossistema de auto-sustentação seja estabelecido. Normalmente, o lodo de esgoto é aplicado e incorporado ao solo em uma única vez, após a qual será realizada semeadura (TAMANINI, 2004). Dependendo da topografia, das características e quantidade do lodo, pode ocorrer contaminação da água superficial e subterrânea e desequilíbrio nutricional logo após a sua aplicação, devendo ser cuidadosamente observados, por serem problemas frequentes com o uso de grandes dosagens (LARA; ANDREOLLI; PEGORINI, 2001; SOPPER, 1993; TSUTUYA et al., 2001).

2.3.4. Sistemas agroflorestais

A utilização de sistemas agroflorestais tem sido, nas últimas décadas, bastante difundida como alternativa para recuperação de áreas degradadas. Atribui-se à combinação de espécies arbóreas com culturas agrícolas e, ou, animais a melhoria nas propriedades físico-químicas de solos degradados, bem como na atividade de microrganismos, considerando a possibilidade de um grande número de fontes de matéria orgânica (MENDONÇA; LEITE; FERREIRA NETO, 2001). Esses sistemas, embora não restaurem aspectos importantes das comunidades florestais como estrutura e biodiversidade, podem, se bem planejados, aproximar-se ecologicamente dessas comunidades. Dessa forma, recuperando funções essenciais para a sustentabilidade, como a ciclagem de nutrientes, além de fornecerem alguma renda ou produção de subsistência ao produtor rural (MACDICKEN; VERGANA, 1990). Neste sentido Arato, Martins e Ferrari (2003) por meio de um sistema de espécies arbóreas combinado com espécies frutíferas conseguiu elevada taxa de decomposição da serapilheira favorecendo a rápida liberação e o conseqüente aproveitamento dos nutrientes por parte do sistema radicular da vegetação agroflorestal.

A exigência nutricional na fase inicial do crescimento de espécies florestais nativas, que é um dos fatores determinantes no sucesso de projetos de recuperação florestal, foi avaliado por Sorreano (2006). Fazendo parte do grupo de tardias e clímax estudado está o *Astronium graveolens* (guarita), suas mudas sob omissão de K, Mo e Cu apresentaram respectivamente, maior desenvolvimento em altura, diâmetro do solo, número de ramos e folhas, sendo que, N foi o que mais influenciou negativamente o desenvolvimento da espécie em altura (39,07 cm). O diâmetro de colo (6,29 cm), número de ramos (0,66) e de folhas (7,41) foram afetados principalmente pela omissão de Mg. Enquanto que com a adubação completa a planta atingiu 48,86 cm de altura e 10,66 cm de diâmetro de colo (período pós transplante + 3 semanas, as medidas foram coletadas a cada 3 semanas quando eram realizadas as trocas das soluções nutritivas).

Estudando o efeito do lodo de esgoto sobre a altura e DAP (diâmetro à altura do peito) para o eucalipto, com 180 e 360 dias respectivamente, Colodro (2005) observou que os tratamentos com lodo de esgoto promoveram um melhor crescimento e maior diâmetro das plantas, sendo que a dose de lodo de 60 t ha⁻¹ foi significativamente superior a todos os demais tratamentos. Segundo Rocha, Gonçalves e Moura (2004), a adição do lodo de esgoto na dose de 12 t ha⁻¹ de lodo (estimada por regressão) influenciou positivamente a nutrição das plantas, gerando produção de madeira semelhante à obtida no tratamento que só recebeu adubação mineral. A produção máxima estimada de madeira (45,5 t ha⁻¹) seria conseguida com a aplicação de 37 t ha⁻¹ de lodo de esgoto.

Em uma área de empréstimo, Campos (2006) verificou o comportamento da produtividade de massa seca da braquiária em tratamentos com adubação mineral, orgânica (lodo de esgoto, 60 t ha⁻¹) e sem adubação, e obteve respectivamente 27.198, 66.885 e 17.698 kg ha⁻¹. Observou também que o adubo orgânico aumentou o crescimento de plantas de eucalipto, como também no seu diâmetro à altura do peito.

2.4. Problemas das áreas de empréstimo

Áreas de empréstimo são áreas que sofreram a remoção total da camada vegetal para a exploração do subsolo, decorrentes da construção de usinas hidrelétricas, de rodovias, de mineração e outros projetos desenvolvimentistas. Assumem tal magnitude, que a sua recuperação é hoje uma obrigação legal (Artigo 224 da Constituição Brasileira) (NOFFS; GALLI; GONÇALVES, 2000).

Outra terminologia é de que as áreas de empréstimo são áreas onde foram retiradas expressivas quantidades de material alcançando o substrato original, onde o meio perdeu sua capacidade de resiliência (CARPANEZZI; KAGEYAMA; CASTRO, 1992).

A degradação das áreas de empréstimo consiste na remoção da vegetação original e na retirada da camada superficial do solo, podendo expor o horizonte C e causando compactação, perda de matéria orgânica e baixa disponibilidade de nutrientes, fazendo que o substrato resultante não permita o desenvolvimento da regeneração natural da vegetação. A degradação dessas áreas também resulta em efeitos deletérios sobre os mananciais hídricos e a fauna local (FERREIRA et al., 2007).

Existem áreas em processo de degradação ou degradadas, classificadas como resíduo geológico em áreas remanescentes planas. São áreas de empréstimos deixadas após a construção de barragens e de aterros em estradas de rodagem e ferrovias, dentre outras. Característica importante neste tipo de material é o fato de não ter havido reviramento ou distúrbio com o material remanescente e sim apenas a decapagem dos horizontes superiores do solo. Em algumas situações, a exposição de um material pouco estruturado fisicamente conduz, por meio de regimes de umedecimento e secagem, problemas físicos que pode dificultar o processo de revegetação (DIAS, 1998).

As áreas de empréstimo são áreas sujeitas a intenso processo erosivo em consequência da interação entre as chuvas torrenciais, a pequena taxa de infiltração e a falta de resiliência deste frágil ecossistema formado depois de retirada de subsolo. Pinheiro (2000), com o intuito de recuperar uma área de empréstimo, optou pelo cultivo de 13 espécies florestais. Com a implantação dessa medida biológica, o movimento de sedimentos reduziu o equivalente a $8,03 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}$.

Os deslizamentos de encostas, enchentes, processos erosivos acelerados e as áreas de empréstimo são evidências do uso inapropriado dos recursos naturais que podem levar à degradação de áreas significativas (VALCARCEL; SILVA, 2000).

O tempo de reabilitação natural de uma área de empréstimo de onde foram retiradas expressivas quantidades de substrato original equivale a várias gerações humanas (UFRRJ, 1993). O uso de medidas biológicas acelera os processos de reconstrução dos ecossistemas (D'ALTERIO; VALCARCEL, 1998). Assim, Rodrigues, Silva e Valcarcel (2002) relataram que entre o uso misto de espécies arbóreas e um homogêneo, a infiltrabilidade indicou que o

maior número de espécies implantadas melhorou e acelerou o processo de reconstrução do solo e a recuperação ambiental.

As áreas de empréstimo são caracterizadas pela elevada densidade do solo da camada superficial, devido à interação de diversos fatores, incluindo a exposição do subsolo à ação direta de chuvas, após a remoção da camada superficial do solo, e o intenso tráfego de máquinas pesadas durante a retirada do material. A menor infiltração de água pode estar associada à exposição do subsolo, constituído de material rochoso pouco intemperizado, pouco permeável. Estudos realizados por Leite, Martins e Haridasan (1992) mostraram que esses solos têm sua infiltrabilidade reduzida a 10 % de sua capacidade original, a densidade 100 % maior e a resistência do solo à penetração no mínimo o dobro na camada superficial. A recuperação de áreas com esse tipo de degradação, por meio de revegetação, requer práticas de manejo como a escarificação, para reduzir a compactação, e a adição de matéria orgânica, para melhorar a estrutura do solo.

Mesmo aplicando uma subsolagem que movimentou a camada de 0,30-0,60 m em uma área de empréstimo, verificaram que o crescimento das espécies plantadas foi afetado pela presença de camadas restritivas ao crescimento radicular, e que o diâmetro na altura do peito foi afetado negativamente com o aumento da densidade do solo (FERREIRA et al., 2007).

Os problemas referentes à regeneração natural ou artificial de áreas degradadas seriam muito menores se fossem conhecidos os fatores ambientais e a biologia das espécies das áreas consideradas (MORRETES, 1992). A falta de conhecimento da ecologia das plantas nativas do cerrado restringe o emprego das mesmas em programas de recuperação de áreas degradadas. Como por exemplo, estudos de Rodrigues, Maltoni e Cassiolato (2007) mostraram que o uso do *Pinus* como espécie regeneradora das propriedades físicas e químicas do solo, não é uma espécie indicada para a regeneração, já a *Brachiaria brizantha* comparado ao *Pinus* apresentou melhores resultados químicos e DMP, que se aproximam mais do cerrado original.

Um grande problema enfrentado nos programas de recuperação de áreas degradadas é a invasão de espécies exóticas que interferem no processo de sucessão das espécies nativas. Uma delas é *Melinis minutiflora* (origem africana) que, pela sua alta agressividade, dificulta o estabelecimento de gramíneas nativas do cerrado. Assim, são necessários o desenvolvimento e a aplicação de práticas para controlar essa invasora, sendo que como a intervenção pela queimada controlada pode não ser o suficiente para seu controle dependendo do grau de cobertura da área afetada (MARTINS; LEITE; HARIDASAN, 2004).

2.5. Estudos realizados na área de empréstimo em estudo

A área de empréstimo surgiu com a retirada de 8 metros de solo para terraplenagem para a construção da usina Hidrelétrica de Ilha Solteira-SP na década de 60. O primeiro experimento foi instalado em fevereiro de 2004 e assim iniciaram os primeiros trabalhos.

Pesquisando o subsolo da área de empréstimo mencionada, após um ano de implantados os tratamentos, SUZUKI (2005) verificou melhorias nas propriedades químicas e físicas do solo, porém as diferentes fontes de matéria orgânica (*Canavalia ensiformis*, *Raphanus sativus*, *Brachiaria decumbens*, lodo de esgoto) adicionadas interagiram de maneira semelhante. As diferentes origens de matéria orgânica não influenciaram na taxa de infiltração dos solos estudados até o momento, porém a combinação do preparo do solo mais a adição da matéria orgânica melhoraram a taxa de infiltração de água comparada à testemunha (SUZUKI, 2005).

Para recuperar o solo degradado Colodro (2005) também adicionou o lodo de esgoto, que promoveu redução no valor da densidade do solo, com aumento da macroporosidade e da porosidade total na camada superficial. Entretanto, a microporosidade não se mostrou afetada pelo tratamento com o resíduo, provavelmente em decorrência do curto período de observação, devendo continuar a ser objeto de investigações na área experimental. O lodo de esgoto promoveu aumento na atividade microbiana, confirmando tratar-se de um adequado indicativo de qualidade ao monitoramento da área em recuperação, mesmo para um curto período de observação. Entretanto, os níveis de carbono na biomassa microbiana não se mostraram afetados pelo tratamento com o resíduo, o que deverá ocorrer com o transcorrer do tempo, requerendo observações posteriores. O desenvolvimento das plantas de eucalipto foi outro parâmetro que respondeu muito prontamente ao manejo aplicado.

Outro estudo realizado neste solo degradado foi realizado por Campos (2006). Conclui-se que este subsolo está sendo recuperado, porém os tratamentos para recuperação estão agindo de forma semelhante entre si; o lodo de esgoto influenciou as propriedades físico-hídricas do solo estudadas; a densidade do solo e porosidade total foram melhores indicadores da recuperação do solo; as propriedades químicas foram influenciadas com o uso do lodo de esgoto; o uso de lodo de esgoto proporcionou maior rendimento de massas verde e seca da braquiária e, promoveu maior desenvolvimento das plantas de eucalipto.

Comparando-se a área experimental com as condições do solo sob vegetação original de cerrado, Fernandes (2007) concluiu que no primeiro ano do trabalho, as propriedades físicas revelaram alto grau de degradação do solo. 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. Observou-se que a sobrevivência das plantas foi menor no tratamento com lodo de esgoto, o que pode ser explicado devido à competição da espécie arbórea com a braquiária. O tratamento com lodo de esgoto e braquiária, mostra a importância da adubação orgânica não apenas na recuperação de propriedades químicas, mas também como condicionador do solo. A combinação das práticas mecânicas realizadas na implantação dos tratamentos mais o uso de matéria orgânica, a mobilização do solo foi o fator que sobressaiu quanto ao aumento da infiltração de água. A *Brachiaria decumbens* promoveu melhor rendimento de matéria seca comparada ao feijão-de-porco e com a crotalária. A adubação orgânica com lodo de esgoto associado à braquiária, mostrou-se mais eficiente para o desenvolvimento das plantas de *Astronium fraxinifolium* Schott, em solo degradado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e características gerais da área experimental

A área experimental está situada na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Área de Produção Animal, no município de Selvíria, MS. Localiza-se 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.

As médias anuais da região de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar são 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). O relevo da região é caracterizado como moderadamente plano a ondulado e a vegetação nativa é cerrado (Figura 1). 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 (DEMATTE, 1980).

O solo original é um Latossolo Vermelho distrófico muito profundo e textura franco argilo arenosa (Tabela 1 e Figura 2). A sua fração argila é de baixa atividade e constituída por gibbsita e caulinita (DEMATTE, 1980; EMBRAPA, 1999).



Figura 1. Aspecto da vegetação nativa (Cerrado) na qual encontra-se espécies arbóreas como a *Curatella americana*, *Stryphnodendron adstringen*, *Byrsomia verbascifolia*, *Astronium faxinifolium*.

Tabela 1. Valores médios de tamanho de partículas do solo da área experimental. Selvíria, MS, 2004.

Camada de solo (m)	Areia	g kg ⁻¹	
		Silte	Argila
0,00 – 0,05	665	79	256
0,05 – 0,10	665	89	246
0,10 – 0,20	657	78	265
0,20 – 0,40	663	70	267

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 (Figuras 3 e 4). 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.



Figura 2. Perfil do solo original.



Figura 3. Vista geral da área mostrando o corte de 8,60 m de espessura.

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.



Figura 4. Perfil do solo da área degradada onde foi retirada a camada de solo de 8,60 m.

3.2.Delineamento experimental e tratamentos

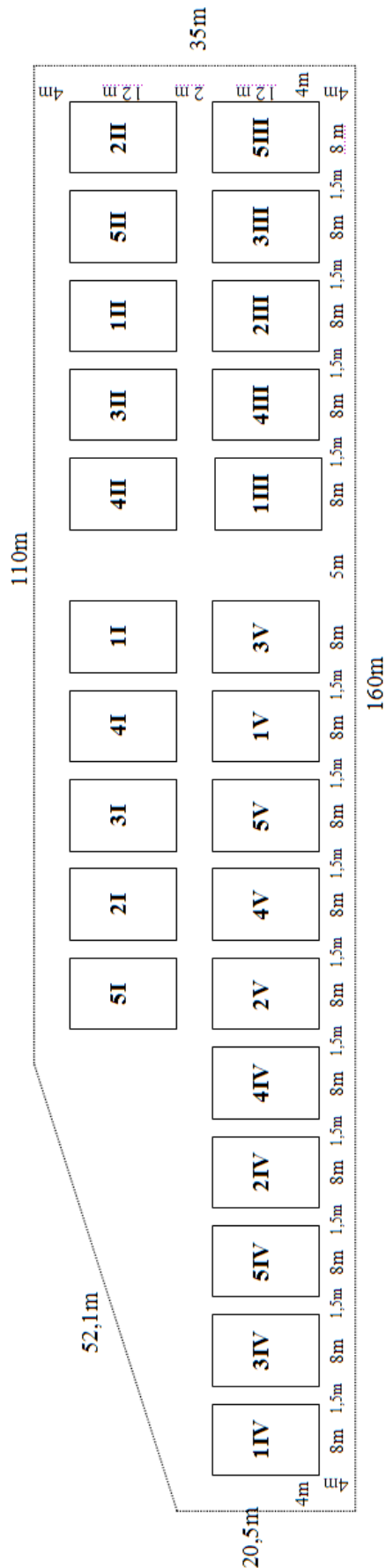
O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com 5 tratamentos e 5 repetições. Cada parcela ocupou uma área de 96 m² (12 m x 8 m) e foram espaçadas de 1,5 m uma da outra. Entre blocos a distância foi de 3 m (Figura 5). Caracterizou-se também uma área controle com vegetação original (Cerrado).

Os tratamentos constaram dos seguintes usos e manejos:

- 1 – testemunha - solo exposto (sem manejo) (TEST);
- 2 – espécie arbórea Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium*) (AF);
- 3 – Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium*)+feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) (AFCE);
- 4 – Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium*)+nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), até 2005 após foi substituído pela crotalária (*Crotalaria juncea*) (AFRS/AFCJ);
- 5 – Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium*)+gramínea (*Brachiaria decumbens*)+lodo de esgoto (60 t ha⁻¹ – base seca) (AFLE).

Optou-se pela espécie gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) por ser natural do cerrado e de fácil produção de mudas em viveiro. Salienta-se que a espécie arbórea está sendo utilizada com o objetivo de recuperação da área, sem, portanto, almejar exploração silvícola racional e econômica. A combinação do tratamento *Astronium fraxinifolium*+*Brachiaria*

decumbens+lodo de esgoto (60 t ha⁻¹ – base seca), justifica-se pelo fato de estar se utilizando uma espécie nativa de cerrado, a gramínea, uma planta de rápido desenvolvimento e pouco exigente, e o lodo de esgoto que apresenta nutrientes orgânicos em formas facilmente mineralizadas. A hipótese é que esta combinação levará à evolução mais rápida do horizonte A do solo decapitado (degradado). Outro fator do uso da gramínea é por estar numa região cuja atividade pecuária é a mais representativa. A dose de 60 t ha⁻¹ foi definida levando-se em consideração a média das doses de lodo que têm sido utilizadas em pesquisas com recuperação de propriedades físicas dos solos (JORGE; CAMARGO; VALADARES, 1991; MELO et al., 1994; PAGLIAI et al., 1981; VAZ; GONÇALVES, 2002). Na literatura sobre o tema, as doses variam de 20 a 120 t ha⁻¹. De acordo com a Tabela 2, 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; 1.127 e 908. Desse total, a quantidade de nutrientes disponíveis às plantas no primeiro ano, estará segundo Andreoli, Pegorini e Fernandes (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. 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. O lodo de esgoto utilizado foi obtido da Estação de Tratamento de Esgoto do município de Araçatuba (Figura 6). Como o mesmo não apresentou problemas em sua composição com relação a metais pesados (Tabela 3), por ser de efluente predominantemente doméstico, a dose utilizada não estaria prejudicando o ambiente.



- N
- Tratamento 1** – Testemunha (solo degradado sem manejo) (TEST)
- Tratamento 2** – Gonçalves-alves (AF)
- Tratamento 3** – Gonçalves-alves+feijão-de-porco (AFCE)
- Tratamento 4** – Gonçalves-alves+nabo forrageiro por 2 anos , após substituído por crotalária (AFRS/AFCI)
- Tratamento 5** – Gonçalves-alves+braquiária+lodo de esgoto (AFLE)

Figura 5. Esquema da disposição dos tratamentos na área de pesquisa, Selvíria, MS.

Tabela 2. Resultados da análise química do lodo de esgoto, Selvíria, MS.

M.O.	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Umidade	C/N
%	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹					kg kg ⁻¹		
20	71,26	18,79	15,14	11,06	3,44	7,78	16,37	160,04	960,6	115,74	583,48	0,85	7/1

Tabela 3. Análise química 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
Cádmio	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
Merúrio	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).

3.3.Instalação e condução da pesquisa



Figura 6. Detalhe do lodo de esgoto utilizado.

A pesquisa foi implantada em fevereiro de 2004 e conduzida durante os anos de 2005, 2006 e primeiro semestre de 2007. O preparo da área constou de limpeza superficial subsolagem e gradagens (aradora e niveladora) do solo, aplicação de calcário dolomítico (2 t ha^{-1}), após o preparo do solo e em seguida a adição do lodo de esgoto, exceto no tratamento 1, que não recebeu nenhum tipo de manejo (Figuras 7 a 9). Nos tratamentos 2, 3, 4, 5 foi implantada a espécie arbórea nativa de cerrado, a *Astronium fraxinifolium* Schott, com espaçamento entre as árvores de 3 m x 2 m, portanto, 25 plantas por tratamento. Foram consideradas as 9 plantas centrais para as avaliações.

O espaçamento e a densidade de sementes utilizados para os adubos verdes e braquiária foram os seguintes:

- nabo forrageiro (*Raphanus sativus*): semeadura a lanço, utilizando-se 20 kg ha^{-1} . Após a distribuição foi efetuada uma gradagem leve para maior contato entre sementes e solo. As semeaduras foram feitas em 20/02/04 e 18/02/05.
- feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*): espaçamento de 0,50 m entrelinhas com densidade de $10 \text{ sementes m}^{-1}$. As semeaduras foram feitas em 20/02/04, 18/02/05, 08/02/2006 e 11/01/2007.

- braquiária (*Brachiaria decumbens*): semeadura a lanço utilizando-se 20 kg ha⁻¹ realizada em 20/02/2004.
- 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. As semeaduras foram realizadas em 08/02/2006 e 11/01/2007.



Figura 7. Vista geral da área experimental antes da implantação do experimento.



Figura 8. Preparo da área (subsolagem).

Após a distribuição das sementes a lanço foi efetuada uma gradagem leve para maior contato entre sementes e solo. Os adubos verdes no início de sua floração foram manejados sendo roçados (abril/maio de cada ano) e deixados na superfície do solo.

Nas Figuras 10 a 19 pode-se observar as etapas de condução da pesquisa, implantada em fevereiro de 2004. O lodo de esgoto foi espalhado manualmente na superfície do solo e posteriormente incorporado com uma gradagem.



Figura 9. Preparo da área (gradagem).



Figura 10. Aspecto do lodo de esgoto espalhado na superfície do solo



Figura 11. Detalhes das parcelas que receberam lodo de esgoto.



Figura 12. Área com o solo exposto (sem manejo para recuperação).



Figura 13. Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes*) 15 dias após a semeadura.



Figura 14. Nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) 15 dias após a semeadura.



Figura 15. Braquiária (*Brachiaria decumbens*) 15 dias após a semeadura.



Figura 16. Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) 15 dias após o transplante.



Figura 17. Vista após a roçagem da braquiária no tratamento AFLE, após 10 meses de semeadura.



Figura 18. Crotalária (*Crotalaria juncea*) em março de 2007.



Figura 19. Vista da área experimental em março/2007.

3.4. Determinações

Todas as determinações foram realizadas no período de três anos consecutivos: 2005, 2006 e 2007.

3.5. Propriedades físicas do solo

As propriedades físicas analisadas foram:

a) **Macroporosidade, microporosidade, porosidade total (m m^{-3}) e densidade do solo (kg dm^{-3}):** para as análises físicas do solo foram coletadas amostras indeformadas, com anel volumétrico com capacidade de 10^{-4} m^3 , em três sítios por parcela e em quatro camadas do solo: 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e de 0,20-0,40 m. A porosidade total; microporosidade pelo método da mesa de tensão com coluna de água de 0,060 kPa e a macroporosidade foi calculada por diferença entre a porosidade total e a microporosidade. A densidade do solo foi realizada pelo método do anel volumétrico. Todas as metodologias descritas seguindo a EMBRAPA (1997).

b) **Estabilidade de agregados:** foi empregado o método descrito por Angers e Mehuys (2000). Foram coletadas amostras de torrões, com enxada, em três camadas do solo: 0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,15 m. Os resultados foram expressos em diâmetro médio

ponderado (DMP) e em porcentagem das classes de agregados, sendo as classes de agregados com tamanhos de: 6,00-4,00; 4,00-2,00; 2,00-1,00; 1,00-0,5; 0,5-0,25 e <0,25 mm.

As amostras para as análises físicas foram coletas em janeiro/fevereiro de cada ano de estudo.

3.6. Propriedades químicas do solo

As amostras para as análises das propriedades químicas do solo foram coletadas com o auxílio de trado de caneca nas mesmas camadas de solo e nos mesmos anos e épocas em que foram coletadas as amostras para a análise física do solo. Foram determinados os cátions trocáveis, fósforo disponível, matéria orgânica, hidrogênio, alumínio e pH. O teor de matéria orgânica foi determinado pelo método colorimétrico e o pH, em cloreto de cálcio, além da acidez potencial (hidrogênio+alumínio) a pH 7,0. Foram calculadas as somas de bases ($SB = Ca + Mg + K$), capacidade de troca catiônica potencial ($CTC + SB + H + Al$) e saturação por bases ($V \% = (100 \times SB) / CTC$). O fósforo, potássio, magnésio e cálcio foram determinados usando a extração com resina trocadora de íons. As análises foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por Raij e Quaggio (1983), no Laboratório de Fertilidade do solo da Faculdade de Engenharia da UNESP.

Nas Tabelas 4 e 5 apresentam-se as propriedades físicas e químicas, respectivamente, do solo original (cerrado) e degradado, ambas antes da implantação da pesquisa.

Tabela 4. Propriedades físicas do solo original (cerrado) e degradado antes da implantação da pesquisa, Selvíria, MS, 2004.

Camada de solo (m)	Macroporosidade	Microporosidade	Poros total	Densidade do solo
		$m^3 m^{-3}$		$kg dm^{-3}$
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
0,20-0,40	0,18	0,22	0,40	1,42
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
0,20-0,40	0,06	0,23	0,29	1,89

Tabela 5. Propriedades químicas do solo original (cerrado) e degradado antes da implantação da pesquisa, Selvíria, MS, 2004.

Camada (m)	P resina	M.O. (g dm ⁻³)	pH (CaCl ₂)	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V (%)
mmol _c dm ⁻³											
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
0,20-0,40	1	7	4,0	0,3	0	1	24	9	1,6	25,6	6
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
0,20-0,40	1	1	4,3	0,2	2	0	16	3	2,4	18,4	13

3.7. Macrorganismos do solo

Os macrorganismos do solo foram avaliados utilizando-se o método de coleta direta, mediante o uso do quadrado metálico de 0,30 m de lado, o qual foi cravado no solo (VIDAL; ALVES, 2003) (Figuras 20 e 21). As amostragens foram realizadas entre as linhas de plantio a 0,20 m do colo da planta. Foi coletada uma amostra por parcela para cada camada de solo de 0,00-0,05; 0,05-0,10 e de 0,10-0,15 m, durante três anos consecutivos (agosto/2005, janeiro/2006 e março/2007), também foi avaliada a macrofauna na área com vegetação nativa (cerrado). A avaliação constou da contagem do número de indivíduos e da identificação da Ordem.



Figura 20. Método de coleta dos macrorganismos, detalhe da delimitação da área de coleta.



Figura 21. Método de coleta direta dos macrorganismos e armazenamento.

Calcularam-se os índices de diversidade de Shannon (PIELOU, 1975) e equitabilidade (PIELOU, 1969) segundo as fórmulas:

$$H' = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i$$

$$E = \frac{H'}{H'_{\text{máx}}}$$

Onde:

H' = Índice de diversidade de Shannon

$P_i = n_i / N$

n_i = número de indivíduos da espécie i

N = número total de indivíduos amostrados

$\ln$ = logaritmo neperiano

E = equitabilidade

$H'_{\text{máx}} = \ln S$

S = número de espécies amostradas

3.8.Avaliações da espécie arbórea nativa

Foram avaliadas a altura média e diâmetro de caule, do *Astronium fraxinifolium* aos 3, 8, 14, 23 e 35 meses. O diâmetro foi determinado com o auxílio de paquímetro, na parte basal do solo a 10 cm da superfície do solo e a altura com régua.

3.9.Avaliações dos adubos verdes e braquiária

Avaliou-se a massa seca dos adubos verdes e da braquiária. Foram coletadas plantas contidas em 1,00 m², de dois pontos da área útil de cada parcela. A massa seca (estufa a 60 – 70° C até atingir massa em equilíbrio) foi determinada, nos adubos verdes, no período de florescimento, pois essa foi a época de manejo dos mesmos. A braquiária foi coletada seguindo-se o mesmo período dos adubos verdes.

3.10. Forma de análise dos resultados

Os resultados foram analisados efetuando-se a análise de variância e teste de Tukey para as comparações de média no nível de 5 % de probabilidade. Consideraram-se as épocas de avaliações no solo e da planta como parcelas subdivididas no tempo. Aplicou-se o teste F no mesmo nível de significância. Foi usado o software SAS (1999) para a realização da análise estatística.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Propriedades físicas do solo

4.1.1. Macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo

A interação época de estudo versus tratamento foi significativa quando analisada a macroporosidade do solo para as camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,20-0,40 m (Tabela 6). Na camada de 0,00-0,05, no ano de 2005, o tratamento AFLE diferiu da TEST e do AFCE, provavelmente devido à adição de MO pelo lodo de esgoto e pela braquiária e também pela ação de suas raízes. No ano seguinte o tratamento AF diferiu da TEST e AFLE, já o tratamento AFLE diferiu de todos os demais, apresentando o menor valor de macroporos. Em 2007, os tratamentos AFCE e AFRS/AFCJ diferiram estatisticamente dos demais tratamentos de recuperação e da testemunha. Analisando o comportamento dos tratamentos dentro das épocas de estudos, verificou-se que o AFCE, AFRS/AFCJ e AFLE apresentaram comportamento de recuperação da sua macroporosidade, pois se manteve nos anos posteriores. Este comportamento também foi observado por Barreto e Fernandes (2001) e Carvalho et al. (2004) o uso de leguminosas visando a melhoria física do solo proporcionou maior macroporosidade principalmente nas camadas mais superficiais.

A macroporosidade do tratamento testemunha de forma geral está menor do que nos tratamentos que está se adotando técnicas para sua recuperação. A redução da macroporosidade nos solos degradados decorre do aumento da compactação do mesmo, que é evidenciada pelo aumento da densidade do solo (ARAÚJO; TORMENA; SILVA, 2004; CAMILOTTI et al., 2005).

Na camada de 0,05-0,10 m em 2005 todos os tratamentos de recuperação diferiram estatisticamente de TEST com exceção de AFLE. Os tratamentos AFCE e AFRS/AFCJ em 2006 e 2007 diferiram significativamente dos demais. Esse comportamento provavelmente ocorreu devido à combinação de prática mecânica (mobilização do solo) aliada ao uso matéria orgânica (massa seca incorporada produzida pelos adubos verdes), pois esses tratamentos envolvem emprego de adubo verde e, no verão, os mesmos são semeados, ocorrendo o revolvimento do solo (preparo), estando de acordo com resultados encontrados por Colodro (2005) e Campos (2006).

Tabela 6. Médias de macroporosidade do solo para os tratamentos, camadas de solo e anos estudados, Selvíria, MS.

Macroporosidade (m ³ m ⁻³)				
Tratamento	Época			
	2005	2006	2007	
Camada de 0,00–0,05 m				
TEST	0,06aC	0,09aB	0,07bB	
AF	0,10bAB	0,14aA	0,07bB	
AFCE	0,07bBC	0,12aAB	0,14aA	
AFRS/AFCJ	0,08cABC	0,12bAB	0,16aA	
AFLE	0,11aA	0,04bC	0,10aB	
Teste F ⁽¹⁾	14,01* (trat)	7,21* (época)	12,17* (época x trat)	
CV%	21,20	23,20		
Camada de 0,05–0,10 m				
TEST	0,06aC	0,07aB	0,06aC	
AF	0,11aA	0,08bB	0,08bBC	
AFCE	0,09bAB	0,14aA	0,14aA	
AFRS/AFCJ	0,10cAB	0,16aA	0,13bA	
AFLE	0,08abBC	0,06bB	0,09aB	
Teste F ⁽¹⁾	97,22* (trat)	6,13* (época)	11,67* (época x trat)	
CV%	11,78	15,38		
Camada de 0,10–0,20 m				
				Média
TEST	0,07	0,07	0,06	0,07C
AF	0,10	0,14	0,14	0,12A
AFCE	0,09	0,09	0,13	0,10A
AFRS/AFCJ	0,10	0,09	0,09	0,09AB
AFLE	0,08	0,06	0,08	0,07B
Teste F ⁽¹⁾	12,52*(trat)	0,00 ^{ns} (época)	2,00 ^{ns} (época x trat)	
CV%	12,04	13,24		
Camada de 0,20–0,40 m				
TEST	0,06aC	0,05aC	0,06aAB	
AF	0,08aAB	0,08aA	0,05bB	
AFCE	0,06abC	0,07aAB	0,05bB	
AFRS/AFCJ	0,09aA	0,06bBC	0,08abA	
AFLE	0,07aBC	0,06abBC	0,05bB	
Teste F ⁽¹⁾	8,94*(trat)	10,29*(época)	4,99* (época x trat)	
CV%	15,09	17,93		

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %, ns= não significativo; * = significativo a 5 % de probabilidade.

TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

Analisando a variabilidade temporal da macroporosidade, na camada de 0,05-0,10 m, observou-se que o tratamento AFCE foi o que apresentou melhor recuperação no solo, mantendo a macroporosidade de $0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Na camada de 0,10-0,20 m a interação não foi significativa, apenas para tratamento, houve efeito significativo. Analisando as médias entre tratamentos pode-se observar que a testemunha apresentou o menor valor de macroporosidade. Entre os tratamentos de recuperação testados o único que diferiu foi o tratamento AFLE em 2005 e AFRS/AFCJ em 2006. Isso significa que, até o momento os mesmos estão agindo de forma semelhante quanto às alterações das propriedades físicas do solo, concordando com Alves e Suzuki (2004). Segundo os autores, as propriedades físicas de solos de cerrado respondem lentamente à recuperação com plantas de cobertura. Colodro (2005) relatou que o uso de lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas é uma alternativa viável, pois o mesmo possui material orgânico de rápida decomposição.

Em 2005, na camada de 0,20-0,40 m, o tratamento AFRS/AFCJ diferiu dos tratamentos TEST, AFCE e AFLE, apresentando macroporosidade maior. Nesse caso, como nos dois primeiros anos o nabo forrageiro germinou, porém as plantas morreram, não possibilitando computar a massa seca produzida, essa diferença na macroporosidade provavelmente está associada à mobilização do solo.

Os tratamentos AF e AFRS/AFCJ com o passar dos três anos de observação não diferiram estatisticamente, enquanto que AFCE e AFLE no ano de 2006 a macroporosidade apresentou melhoria, entretanto no ano seguinte não diferiu do primeiro ano de experimento.

Na análise do efeito do tratamento no tempo, verificou-se que na camada de 0,20-0,40 m não está ocorrendo recuperação da macroporosidade do solo. Isso significa que os tratamentos utilizados para recuperar o solo somente estão atingindo a camada superficial do mesmo. Resultados semelhantes foram verificados por Alves (2001), Colodro (2005) e Campos (2006).

Não houve interação significativa entre tratamento versus ano para a camada de solo de 0,00-0,05m, apenas houve efeito entre as épocas de estudo. A microporosidade observada em 2007 e 2006 não diferiu dos valores encontrados no primeiro ano de estudo.

Houve interação significativa para a microporosidade do solo nas camadas de 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m (Tabela 7). Os tratamentos, de forma geral, não diferiram entre si e, quando analisada a variação dos mesmos no ano, verificou-se que somente o tratamento AFCE diminuiu o valor de microporosidade, enquanto que a sua macroporosidade aumentou.

Tabela 7. Médias de microporosidade do solo para os tratamentos, camadas e anos estudados, Selvíria, MS.

Tratamento	Microporosidade (m ³ m ⁻³)		
	Época		
	2005	2006	2007
Camada 0,00–0,05 m			
TEST	0,28	0,25	0,37
AF	0,29	0,27	0,42
AFCE	0,32	0,32	0,25
AFRS/AFCJ	0,30	0,28	0,32
AFLE	0,29	0,25	0,41
Média	0,30ab	0,27b	0,36a
Teste F ⁽¹⁾	0,23 ^{ns} (trat)	0,05* (época)	0,21 ^{ns} (época x trat)
CV%	15,79	14,76	
Camada 0,05 – 0,10 m			
TEST	0,26aA	0,26aA	0,32aA
AF	0,29aA	0,31aA	0,26aA
AFCE	0,32aA	0,25abA	0,24bA
AFRS/AFCJ	0,31aA	0,31aA	0,26aA
AFLE	0,29aA	0,31aA	0,30aA
Teste F ⁽¹⁾	0,71 ^{ns} (trat)	0,84 ^{ns} (época)	2,12* (época x trat)
CV%	18,21	17,02	
Camada 0,10–0,20 m			
TEST	0,29aA	0,23bB	0,25bA
AF	0,27aA	0,25abB	0,24bA
AFCE	0,28aA	0,24bB	0,25bA
AFRS/AFCJ	0,29aA	0,28aA	0,24bA
AFLE	0,24aB	0,23aB	0,24aA
Teste F ⁽¹⁾	14,63* (trat)	33,03* (época)	5,13* (época x trat)
CV%	4,90	5,64	
Camada 0,20–0,40 m			
TEST	0,23bB	0,25aBC	0,24abA
AF	0,23aB	0,24aC	0,23aA
AFCE	0,24bAB	0,27aA	0,23bA
AFRS/AFCJ	0,23aA	0,24aC	0,24aA
AFLE	0,25abA	0,26aAB	0,24bA
Média	0,24	0,25	0,25
Teste F ⁽¹⁾	6,54* (trat)	14,39* (época)	2,55* (época x trat)
CV%	4,23	4,70	

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %, ^{ns} – não significativo; * – significativo no nível de 5 %

Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

Na camada de 0,10-0,20 m em 2005, o AFLE diferiu estaticamente dos demais. Em 2006, o tratamento AFRS/AFCJ diferiu estaticamente dos demais tratamentos e em 2007 não houve diferença significativa entre os mesmos.

Na camada de 0,20-0,40 m em 2005 os tratamentos AFRS/AFCJ, AFLE e AFCE diferiram da TEST e do AF. Já para 2006 AFCE diferiu, dentre os tratamentos de recuperação, de AF e AFRS/AFCJ e também da testemunha. No ano seguinte, não houve diferença significativa. Esse comportamento da microporosidade revela que, à medida que ocorre aumento da macroporosidade, há alteração na redistribuição de poros no solo, em função da recuperação de sua estrutura. Araújo, Tormena e Silva (2004) e Silveira Neto (2006) também não constataram diferença significativa para microporosidade do solo entre diferentes sistemas de manejo do solo estudados ao longo do período de estudo de cinco anos.

Para a camada de 0,00-0,05 foi significativo apenas para época, nota-se um aumento na porosidade total de 2006 para 2007, embora estatisticamente não tenha sido significativo. Na camada de 0,05-0,10m foi significativo para tratamento apenas, sendo o tratamento AFRS/AFCJ o melhor tratamento e o único que difere da testemunha. Assim se repete de forma geral nas camadas posteriores (0,10-0,20 e de 0,20-0,40 m) em que houve interação significativa (época de estudo x tratamento), este comportamento é evidente no primeiro ano do experimento na camada 0,10-0,20 m e na camada mais profunda em 2007. Carvalho et al. (2004) observou resultados semelhantes o que poderia explicar tal comportamento deste estudo, o uso de práticas mecânicas associado ao cultivo de leguminosas no solo proporcionaram melhorias nas propriedades físicas do solo.

Houve efeito de tratamento para a camada de 0,05-0,10 m (Tabela 8). De forma geral, os tratamentos AFRS/AFCJ e AF foram os que apresentaram maior porosidade total. Quanto à análise no tempo, não foi verificado que os tratamentos estão melhorando a porosidade total do solo. Portanto, essa propriedade física do solo não foi um bom indicador de sua qualidade.

Tabela 8. Médias de porosidade total do solo para os tratamentos, camadas e anos estudados, Selvíria, MS.

Tratamento	Porosidade Total (m ³ m ⁻³)		
	Época		
	2005	2006	2007
Camada 0,00–0,05 m			
TEST	0,34	0,34	0,44
AF	0,38	0,41	0,48
AFCE	0,39	0,44	0,39
AFRS/AFCJ	0,39	0,40	0,48
AFLE	0,40	0,29	0,48
média	0,38a	0,38a	0,45a
Teste F ⁽¹⁾	0,80 ^{ns} (trat)	3,48* (época)	1,17 ^{ns} (época x trat)
CV%	12,85	11,97	
Camada 0,05–0,10 m			Média
TEST	0,32	0,32	0,38
AF	0,39	0,38	0,33
AFCE	0,40	0,39	0,38
AFRS/AFCJ	0,40	0,47	0,38
AFLE	0,37	0,37	0,38
Teste F ⁽¹⁾	4,76 * (trat)	0,48 ^{ns} (época)	1,88 ^{ns} (época x trat)
CV%	13,47	13,84	
Camada 0,10–0,20 m			
TEST	0,36aB	0,29bC	0,30bB
AF	0,38aAB	0,39aA	0,34bA
AFCE	0,37aB	0,33bB	0,34bA
AFRS/AFCJ	0,40aA	0,37bA	0,33cA
AFLE	0,32aC	0,29bC	0,32aAB
Teste F ⁽¹⁾	84,89*(trat)	51,14 * (época)	10,48*(época x trat)
CV%	3,44	4,17	
Camada 0,20–0,40 m			
TEST	0,29aA	0,30aB	0,28aB
AF	0,31aA	0,33aA	0,28bB
AFCE	0,29bA	0,34aA	0,29bB
AFRS/AFCJ	0,31aA	0,30aB	0,31aA
AFLE	0,31abA	0,32aAB	0,29bAB
Teste F ⁽¹⁾	5,27*(trat)	16,20*(época)	4,16*(época x trat)
CV%	4,10	5,52	

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %, ^{ns} – não significativo; * – significativo no nível de 5 %

Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

Houve interação significativa entre as épocas de estudo e tratamento para a densidade do solo em todas as camadas de solos investigadas na pesquisa (Tabela 9). Verificou-se que o solo na testemunha, de modo geral, está com condições físicas mais degradadas (macroporosidade menor, densidade do solo maior, porosidade total menor) comparadas aos das parcelas experimentais que foram submetidas aos tratamentos nos quais se teve por objetivo recuperar o solo.

Verificou-se após um ano de implantados os tratamentos para recuperar o solo, valores de densidade do solo que variaram de 1,32 a 1,71 kg dm⁻³, na camada de 0,00-0,10 m e de 1,49 a 1,91 kg dm⁻³, na camada de 0,10-0,40 m, sendo que na condição da testemunha (sem tratamentos para recuperação) encontraram-se amplitudes de 1,62 a 1,77 kg dm⁻³ (camada de 0,00-0,10 m) e de 1,78 a 1,94 kg dm⁻³ (camada de 0,10-0,40 m). Reichert, Reichert e Braida (2003) consideram como densidade crítica, para o bom desenvolvimento do sistema radicular, valor igual a 1,55 kg dm⁻³ para solos de textura média. Considerando a citação do autor a testemunha está com condição de densidade do solo acima da considerada crítica para o bom desenvolvimento das plantas.

No solo estudado está ocorrendo a recuperação de suas propriedades, visto que, tomando como indicador a densidade do solo, há tratamentos com valores abaixo do considerado crítico. Resultados que concordam com os obtidos por Lindsay e Logan (1998), Jorge, Camargo e Valadares (1991), Andreola et al. (2000) e Melo et al. (2004), que verificaram a redução da densidade do solo com a incorporação de MO no solo. A aplicação de MO nas suas diferentes formas (adubos verdes, esterco de animais, compostagem, tortas ou resíduos diversos), além de reduzir a compactação e a densidade do solo, promove aumento da macroporosidade e porosidade total, facilitando a movimentação de ar e água, infiltração de água no solo e drenagem em solos argilosos, e melhora a penetração do sistema radicular.

Porém, ressalta-se que na combinação de prática mecânica (mobilização do solo) mais uso de MO, o revolvimento, no presente trabalho, foi o fator que sobressaiu, pois houve diferença entre a condição degradada para com as que receberam tratamento e não houve diferenças entre os tratamentos que receberam somente o preparo do solo e preparo do solo mais a adição de MO (adubo verde e lodo de esgoto). Esses resultados concordam com os verificados por Jorge, Camargo e Valadares (1991) e Melo et al. (2000), no que se refere ao uso de lodo de esgoto na recuperação de propriedades físicas do solo, pois os autores encontraram que quantidades até 50 t ha⁻¹ não alteram a porosidade e a microporosidade do

Tabela 9. Médias de densidade do solo para os tratamentos, camadas e anos estudados, Selvíria, MS.

Densidade do solo (kg dm ⁻³)			
Tratamento	Época		
	2005	2006	2007
Camada 0,00–0,05 m			
TEST	1,63aA	1,71aA	1,62aA
AF	1,42bAB	1,44abB	1,63aA
AFCE	1,55aAB	1,32bB	1,48abA
AFRS/AFCJ	1,53aAB	1,48aB	1,41aA
AFLE	1,40bB	1,74aA	1,63aA
Teste F ⁽¹⁾	6,12* (trat)	0,91 ^{ns} (época)	4,72* (época x trat)
CV%	8,69	8,26	
Camada 0,05–0,10 m			
TEST	1,77aA	1,76aA	1,73aA
AF	1,45aB	1,51aB	1,71aA
AFCE	1,42aB	1,49aB	1,47aB
AFRS/AFCJ	1,48aB	1,49aB	1,50aB
AFLE	1,50bB	1,47bB	1,66aA
Teste F ⁽¹⁾	31,83 * (trat)	7,08 * (época)	2,96* (época x trat)
CV%	5,02	5,77	
Camada 0,10–0,20 m			
TEST	1,78bA	1,94aA	1,80bA
AF	1,52bC	1,58bC	1,69aB
AFCE	1,49bC	1,75aB	1,68aB
AFRS/AFCJ	1,56bC	1,59bC	1,68aB
AFLE	1,69aB	1,68aB	1,68aB
Teste F ⁽¹⁾	78,87* (trat)	33,18* (época)	10,57* (época x trat)
CV%	2,58	2,96	
Camada 0,20–0,40 m			
TEST	1,89aA	1,92aA	1,89aA
AF	1,84aA	1,75bB	1,91aA
AFCE	1,85aA	1,85aA	1,90aA
AFRS/AFCJ	1,80bA	1,90aA	1,88abA
AFLE	1,82bA	1,90aA	1,86abA
Teste F ⁽¹⁾	3,45* (trat)	5,55* (época)	4,33* (época x trat)
CV%	2,59	2,78	

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %, ^{ns} – não significativo; * – significativo no nível de 5 %

Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

solo. Quanto ao uso da adubação verde também não ter apresentado diferença significativa está de acordo com os resultados encontrados por Alves e Suzuki (2004).

4.1.2. Estabilidade de agregados em água

Nas Tabelas 10 a 14 estão os resultados da estabilidade de agregados em água para as três camadas de solos estudadas e épocas de avaliação. Verificou-se que somente houve interação entre épocas de avaliação e tratamentos para as classes de tamanho de agregados de 4-2 mm, na camada de solo de 0,00-0,05 m e, para o DMP, na camada de 0,10-0,20 m. Para o efeito entre tratamentos detectou-se diferença significativa para as classes de 6-4 mm; 0,5-0,25 mm, <0,25 mm e DMP (camada de 0,00-0,05 m); de 6-4 mm; <0,25 mm e DMP (camada de 0,05-0,10 m) e, de 6-4 mm e <0,25 mm (camada de 0,10-0,20 m). Entre épocas houve efeito significativo para as classes de 4-2 mm (camada de 0,05-0,10 m) e 4-2 mm na camada de 0,10-0,20 m.

Com relação ao desdobramento da interação significativa para a classe de tamanho de agregados de 4-2 mm (Tabela 13) observou-se que no ano de 2005 e 2007 não houve diferença entre os tratamentos, porém, em 2006, o tratamento TEST apresentou agregados mais estáveis em água do que os tratamentos AF e AFRS/AFCJ. Comparando-se os tratamentos que receberam técnicas para recuperação do solo, verificou-se que o tratamento AFLE apresentou agregados mais estáveis em água do que o tratamento AF. Com relação à testemunha, o solo encontra-se degradado; nesse caso, as partículas primárias estão intimamente aproximadas uma das outras, concedendo-lhe um alto grau de resistência à ruptura. 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. 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

Tabela 10: Valores médios de distribuição de tamanho de agregados e DMP, em função dos tratamentos e épocas de estudos, na camada de solo de 0,00-0,05 m. Selvíria, MS.

Tratamento	Classes de tamanho de agregados (mm)					
	6-4	4-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25
	Porcentagem de distribuição de tamanho de agregados -----mm-----					
Ano – 2005						
TEST	43,96	4,87	6,20	9,91	8,49	26,57
AF	31,62	5,78	5,08	13,12	14,41	30,00
AFCE	11,31	6,87	5,09	14,88	14,86	46,99
AFRS/AFCJ	29,72	9,45	9,50	13,47	12,91	24,95
AFLE	32,26	8,75	7,08	10,98	15,67	25,24
Ano – 2006						
TEST	38,94	20,74	6,20	9,95	8,15	16,42
AF	7,84	9,05	7,02	12,89	15,94	47,27
AFCE	11,44	14,80	7,74	11,31	14,32	40,38
AFRS/AFCJ	8,02	10,98	9,20	20,51	23,77	27,70
AFLE	41,36	18,87	7,82	6,68	8,78	18,48
Ano – 2007						
TEST	22,26	11,88	7,13	13,02	13,01	32,71
AF	20,92	12,98	5,91	8,26	14,84	37,09
AFCE	4,11	7,99	7,60	21,68	21,13	37,50
AFRS/AFCJ	5,79	10,22	7,85	13,71	18,59	43,82
AFLE	41,85	14,61	5,92	8,91	10,10	18,61
Teste F ⁽¹⁾	8,53*	3,34*	1,60 ^{NS}	0,71 ^{NS}	3,43*	1,22 ^{NS}
CV (%) ⁽²⁾	45,50	40,69	22,37	19,22	30,83	29,61
2005	29,77A	7,14	6,59	12,47	13,27	30,75
2006	21,52AB	14,87	7,16	12,21	14,19	30,05
2007	18,99B	11,53	6,88	13,11	15,53	33,95
					21,83	29,55
					2,01 ^{NS}	6,72* 2,12 ^{NS}
					25,25	25,25
					1,98	1,98
					2,16	2,16
					1,60	1,60

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. ^{NS} – não significativo; * – significativo no nível de 5 %

⁽¹⁾ teste F para tratamento, época e época x tratamento, respectivamente ⁽²⁾ CV para tratamento e época, respectivamente.

Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

Tabela 11. Valores médios de distribuição de tamanho de agregados e DMP, em função dos tratamentos e épocas de estudos, na camada de solo de 0,05-0,10 m. Selvíria, MS.

Tratamento	Classes de tamanho de agregados (mm)						
	6-4	4-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	DMP
	Porcentagem de distribuição de tamanho de agregados						
	Ano – 2005						
TEST	22,28	9,92	8,16	15,89	16,12	27,63	1,75
AF	18,27	8,08	9,06	15,57	14,58	34,44	1,51
AFCE	25,34	2,75	4,18	11,36	17,09	39,28	1,61
AFRS/AFCJ	24,02	9,10	9,24	16,71	16,56	24,37	1,83
AFLE	28,05	8,22	7,64	15,93	17,37	22,80	1,97
	Ano – 2006						
TEST	34,88	12,75	6,20	10,07	22,89	13,20	1,30
AF	9,35	7,62	8,50	16,82	21,97	35,74	2,19
AFCE	9,35	11,42	6,99	13,98	15,74	42,51	1,10
AFRS/AFCJ	4,06	10,62	8,14	20,38	18,64	38,15	1,69
AFLE	34,57	19,07	8,94	10,04	9,20	18,17	4,26
	Ano – 2007						
TEST	14,73	11,68	7,19	15,15	20,66	30,59	1,43
AF	18,01	13,79	6,27	10,47	15,62	35,86	1,59
AFCE	5,38	9,33	8,23	17,76	20,00	39,30	0,93
AFRS/AFCJ	9,73	8,98	7,29	18,57	19,48	35,96	1,12
AFLE	32,74	13,39	7,52	11,31	13,19	21,86	2,31
Teste F ⁽¹⁾	5,11*	2,79 ^{ns}	1,05 ^{ns}	1,18 ^{ns}	0,34 ^{ns}	7,72*	0,65 ^{ns}
CV (%) ⁽²⁾	44,92	55,87	27,89	26,33	30,52	22,30	33,47
2005	23,59	7,61B	7,66	15,09	16,34	29,70	1,73
2006	18,44	12,30 ^a	7,75	14,26	17,69	29,55	2,11
2007	16,12	11,43 ^a	7,30	14,65	17,79	32,71	1,48

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. ^{ns} – não significativo; * – significativo no nível de 5 %

⁽¹⁾ teste F para tratamento, época e época x tratamento, respectivamente. ⁽²⁾ CV para tratamento e época, respectivamente.

Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium* + *Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium* + *Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium* + *Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium* + *Brachiaria decumbens* + lodo de esgoto.

Tabela 12. Valores médios de distribuição de tamanho de agregados e DMP, em função dos tratamentos e épocas de estudos, na camada de solo de 0,10-0,20 m. Selvíria, MS.

Tratamento	Classes de tamanho de agregados (mm)																			
	6-4	4-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	DMP													
	Porcentagem de distribuição de tamanho de agregados —————mm—————																			
Ano – 2005																				
TEST	30,16	5,11	7,28	11,30	16,35	29,80	1,95													
AF	12,65	8,71	10,75	20,18	14,76	32,94	1,30													
AFCE	21,45	8,53	6,47	13,64	20,87	29,05	1,64													
AFRS/AFCJ	6,49	5,63	10,04	22,17	20,98	34,69	0,93													
AFLE	18,48	8,99	9,74	19,00	19,56	24,23	1,59													
Ano – 2006																				
TEST	15,08	13,78	10,47	18,93	17,84	23,90	0,80													
AF	2,58	8,04	7,21	14,60	23,72	43,85	1,32													
AFCE	6,81	11,24	9,45	18,44	21,56	32,51	0,85													
AFRS/AFCJ	2,30	9,39	8,88	12,08	16,35	51,00	1,31													
AFLE	16,45	10,46	7,96	21,55	21,12	22,45	4,23													
Ano – 2007																				
TEST	16,03	11,27	6,79	15,22	18,17	32,53	1,46													
AF	15,31	12,65	7,60	16,03	15,88	32,52	1,48													
AFCE	2,59	9,46	8,60	20,29	20,28	38,79	0,82													
AFRS/AFCJ	10,05	11,01	8,49	15,50	18,40	36,55	1,19													
AFLE	30,07	13,47	7,71	10,98	13,20	24,57	2,18													
Teste F ⁽¹⁾	4,25*	3,56 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,47 ^{ns}	8,89*	1,41 ^{ns}	0,24 ^{ns}	1,51 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,24 ^{ns}	1,94 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,84 ^{ns}	1,08 ^{ns}	5,15*	0,76 ^{ns}	1,31 ^{ns}	13,58*	0,30 ^{ns}	4,60*
CV (%) ⁽²⁾	56,24	56,02	26,44	20,85	22,94	19,19	19,69	27,00	15,28	20,18	17,93	18,34	20,60	23,02						
2005	17,85	7,39B	8,86	17,26	18,50	30,14	1,48													
2006	8,64	10,58A	8,79	17,12	20,12	34,74	1,70													
2007	14,81	11,57A	7,84	15,60	17,18	32,99	1,43													
Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. ^{ns} – não significativo; * –																				

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. ^{ns} – não significativo; * – significativo no nível de 5 %

⁽¹⁾ teste F para tratamento, época e época x tratamento, respectivamente. ⁽²⁾ CV para tratamento e época, respectivamente.

Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

Tabela 13. Desdobramento da interação épocas x tratamentos para classe de tamanho de agregados de 4-2 mm na camada 0,00-0,05 m.

Tratamentos	Época		
	2005	2006	2007
	%		
TEST	4,87bA	20,74aA	11,88bA
AF	5,78aA	9,05aC	12,99aA
AFCE	6,87bA	14,80aABC	7,99abA
AFRS/AFCJ	9,45aA	10,98aBC	10,22aA
AFLE	8,75bA	18,87aAB	14,61abA

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. ^{ns} – não significativo; * – significativo no nível de 5 %

Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

Tabela 14. Desdobramento da interação épocas x tratamentos para DMP na camada de solo de 0,10-0,20 m.

Tratamentos	Época		
	2005	2006	2007
	mm		
TEST	1,95aA	0,90bB	1,46abAB
AF	1,30aA	1,32aB	1,48aAB
AFCE	1,64aA	0,85aB	0,82aB
AFRS/AFCJ	0,93aA	1,31aB	1,18aAB
AFLE	1,59bA	4,23aA	2,18bA

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. ^{ns} – não significativo; * – significativo no nível de 5 %

Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

intensos de secagem e umedecimento, enfraquecendo as ligações entre partículas na camada de 0,00–0,05 m.

Quanto aos tratamentos usados para recuperação, o com AFLE mostrou-se mais eficiente do que o AF (Tabela 13), provavelmente devido à adição de matéria orgânica tanto advinda da incorporação do lodo de esgoto, como da massa seca da braquiária. De Maria e Kocsi e Dechen (2007) também encontraram aumento da estabilidade de agregados na camada de 0,00-0,10 m após duas aplicações anuais consecutivas de lodo de esgoto (doses 10

e 20 t ha^{-1}). Outros fatores a considerar é que a formação e a estabilização dos agregados do solo ocorrem mediante a atuação de processos físicos, químicos e biológicos que, por sua vez, atuam por mecanismos próprios, nos quais são envolvidas substâncias que agem na agregação e na estabilização (SILVA; MIELNICZUK, 1997). No tratamento AFLE foi verificado alto índice de diversidade de macrorganismos, como será discutido no item 4.3 o que também estará contribuindo para o aumento da estabilidade de agregados, comparado ao tratamento AF. Salienta-se que, no tratamento AF, apenas foi implantada a espécie arbórea de cerrado, não tendo nenhuma outra intervenção para melhoria do solo entre as plantas. Para os demais tratamentos, a quantidade de matéria orgânica adicionada está influenciando de forma semelhante e até o momento não sendo possível detectar diferenças entre os mesmos (AF, AFCE, AFRS/AFCJ e entre AFCE, AFRS/AFCJ e AFLE).

Analisando o tratamento dentro dos anos de estudos 2005 e 2006 (Tabela 13) para a classe de agregados de 4-2 mm verificou-se, que para os tratamentos AFLE e AFCE, a estabilidade de agregados aumentou e manteve esse acréscimo. Esse comportamento indica que o solo está recuperando suas propriedades, pois a formação de macroagregados estáveis significa que está havendo a reestruturação do solo. Resultados que concordam com Bertol, Amaral e Vazquez (2006), pois os autores observaram que houve aumento no valor do diâmetro médio ponderado em função do maior acúmulo de matéria orgânica no solo.

Outra interação foi verificada para o DMP na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 14) sendo que, no ano de 2005, os tratamentos estavam iguais, mas em 2006 observou-se a superioridade do tratamento AFLE sobre os demais, em 2007, o tratamento AFLE foi melhor do que o AFCE. Entre os anos de estudos somente o tratamento AFLE mostrou-se com aumento de DMP de 2005 para 2006.

Quando detectadas diferenças entre os tratamentos, o AFLE foi o que apresentou maior estabilidade de agregados em água, resultados que concordam com Perecin Junior (2005), Campos (2006), Muraishi (2006) e De Maria e Kocsi e Dechen (2007).

4.2. Propriedades químicas do solo

Verificou-se que a interação época de estudo e tratamento foi significativa no que se refere às seguintes propriedades químicas: P, MO, pH, K, Mg (camada de 0,00-0,05 m) (Tabela 15); P e K (camada de 0,05-0,10 m) (Tabela 16); Al (Tabela 17) (camada de 0,10-0,20 m); P e Al (Tabela 18) (camada de 0,20-0,40 m). Para o efeito de tratamentos houve

diferença significativa para: Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC e V % (camada de 0,00-0,05 m); MO, pH, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC e V% (camada de 0,05-0,10 m); P, MO, pH, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC e V % (camada de 0,10-0,20 m); pH, Ca, Al, SB, CTC e V % (camada de 0,20-0,40 m) (Tabelas 15 a 18). Houve efeito de época para: Ca, Mg, SB, CTC e V% (camada de 0,00-0,05 m); MO, pH, Ca, Mg, Al, SB, CTC e V% (camada de 0,05-0,10 m); MO, pH e CTC (camada de 0,10-0,20 m) e MO, pH, Ca, Mg, SB, CTC e V% (camada de 0,20-0,40 m).

Não houve diferença significativa somente para K, na camada de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m; H+Al na camada de 0,20-0,40 m.

Na camada de solo de 0,00-0,05 m, o tratamento em que o solo recebeu lodo de esgoto (AFLE) foi o que apresentou o maior teor de P, Galdos et al.(2004) observou aumento no teor de P no seu primeiro ano de experimento. A aplicação de lodo de esgoto funcionou como uma adubação corretiva elevando os teores baixos até valores muito altos. Todavia, a sua aplicação, de forma a aumentar o P no solo até valores tão altos deve ser cautelosa em áreas suscetíveis ao escoamento superficial, pois pode provocar contaminação de cursos de água (TAMANINI, 2004). Entre os demais tratamentos não houve diferença para o teor de P. No tratamento AFLE a variação no tempo com relação ao P no solo tem revelado que o mesmo está diminuindo, porém, após três anos, continua com valores considerados muito alto.

O teor de MO na camada de solo de 0,00-0,05 m, somente encontra-se médio no tratamento AFLE, nos demais o mesmo é baixo. Em 2006 houve diferença entre o tratamento com *Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto+espécie arbórea e os demais, sendo maior naquele. O aumento no teor de MO em solo onde foi aplicado o lodo de esgoto foi observado por Galdos et al. (2004). Melo et al. (1994) encontraram aumento de carbono orgânico com aplicação de lodo de esgoto apenas na dose mais elevada (32 t ha^{-1}) até 230 dias após a aplicação. A ação do sistema radicular das gramíneas também contribui para o aumento da MO. Na variação do temporal o tratamento AFLE também mostrou diferença significativa com relação ao incremento de MO no solo.

Na camada de solo de 0,00-0,05 m, o pH (Tabela 15), verificou-se que naturalmente o solo apresenta acidez muito alta. Nos tratamentos de recuperação do solo, devido à calagem, o

pH aumentou, passando a ter acidez média, com exceção do tratamento que recebeu lodo de esgoto, pois neste caso o pH foi menor em relação aos tratamentos que receberam calcário. Esse efeito pode ser explicado pelo fato do lodo de esgoto utilizado não ser tratado com cal e também pelo poder acidificante gerado pela biodecomposição da MO (CAMARGO et al., 1999; FRANCHINI et al., 2001). Perecin Junior (2005) também observou um aumento nos teores de P e de Al trocável, ocasionando diminuição dos valores de pH. Sendo o tratamento AFCE o único que sofreu significativamente um aumento do pH em 2007.

O K trocável na camada de solo de 0,00-0,05 m, o tratamento AFLE apresentou diferença significativa entre os tratamentos de recuperação (2005), permanecendo estável em níveis considerados baixos nos anos subseqüentes, sendo que no AFLE seu teor foi maior. Esses teores de K observados estão semelhantes aos verificados no trabalho realizado por Silva et al. (2001) e Silva et al. (1998) que estudaram a recuperação de uma área degradada por mineração de calcário com o uso de lodo de esgoto. Simonete et al. (2003) ressaltaram a ocorrência da baixa concentração deste elemento no lodo de esgoto, sendo necessária a sua complementação, visando atender as necessidades das plantas.

A explicação para o comportamento do cálcio na camada mais superficial estudada está relacionada ao mencionado no pH, ou seja, a aplicação do calcário aos tratamentos de recuperação os diferiu da testemunha, no entanto entre eles não diferiram. Entre épocas o efeito da calagem ainda é observado, 2005 diferiu de 2007. O magnésio na camada de 0,00-0,05 m, no tratamento AFLE foi o de maior valor e diferiu de todos os tratamentos, sobretudo da TEST. Teixeira, Melo e Silva (2005) apontam a possibilidade do uso do lodo de esgoto para recuperação de áreas degradadas visto que é eleva os teores de Ca, Mg, K e o valor de pH do solo.

Os teores de Al e H+Al na camada superficial do solo são maiores no tratamento AFLE em função da aplicação do lodo de esgoto que os outros tratamentos de recuperação não receberam. Este aumento nos teores de Al e H+Al está relacionado com a diminuição do pH do solo (GOMES et al., 2005).

A CTC efetiva e a soma de bases do solo do tratamento AFLE, na camada de 0,00-0,05 m tiveram seus valores aumentados com a presença do lodo de esgoto. Os efeitos do resíduo no solo foram mais pronunciados neste tratamento sobressaindo sobre os tratamentos somente com adubo verde (SILVA et al., 2001).

Não houve diferença significativa entre os tratamento de recuperação (exceto o AFCE) no V% indicando que o aporte de cátions trocáveis, via lodo de esgoto, não acarretou acúmulo

desses elementos no solo ou estes foram perdidos dos sistemas seja pó absorção pelas plantas ou por lixiviação (CHIBA, 2005).

Verificou-se, também, que o P aumentou na camada de 0,00-0,20 m, devido à incorporação do lodo de esgoto que atingiu essa profundidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva Junior (2005), que avaliou as propriedades químicas de um Latossolo Vermelho utilizando adubações químicas e orgânicas, após a utilização de adubos orgânicos, constatando aumento nos valores do pH e nos teores de P no solo. Perecin Junior (2005) trabalhando num Latossolo de textura média, também constatou mesmo comportamento.

Na camada de 0,05-0,10 m, os resultados encontrados para o conteúdo de MO do solo estão coerentes com os verificados por Borges e Coutinho (2004) que trabalhando com lodo de esgoto observaram após a aplicação aumento no teor de MO e pH do solo sem corretivo. Também Nascimento, Barros e Melo (2004) avaliando as alterações químicas de um solo cultivado com milho e feijão utilizando lodo de esgoto constataram aumento no teor de MO, N total, P, Ca e Mg dos solos, com exceção dos teores de K e Na que não foram alterados.

A interação para o K na camada de 0,05-0,10 m foi significativa, no entanto não houve diferença significativa entre tratamentos nem para época.

Na camada de 0,05-0,10 m os teores de Ca e Mg foram significativos para todos os tratamentos em relação à testemunha, ou seja, apenas com o efeito da calagem foi o suficiente para suprir as necessidades das plantas, o efeito do lodo de esgoto embora tenha alcançado um valor menor diferiu da TEST e se comportou estatisticamente igual aos tratamentos AF e AFRS/AFCJ. A aplicação do lodo de esgoto aumenta a disponibilidade de nitrato, cálcio e magnésio até a profundidade de 40 cm no solo, com apenas três meses de reação (CORREIA; ANDRADE, 2005).

Os teores de Al e H+Al se comportaram similarmente a camada anterior citada.

Na camada 0,05-0,10 m SB já não difere dos demais tratamentos exceto TEST, não tendo efeito em maiores profundidades.

De forma geral, os resultados de CTC efetiva na camada 0,05-0,10 m foram influenciados pelos tratamentos de recuperação. Houve diferença significativa para os valores de CTC efetiva com a aplicação do biossólido (AFLE). Os aumentos de CTC efetiva acompanharam os incrementos de pH no solo (ANDRADE; OLIVEIRA; CERRI, 2005).

Quanto ao índice de saturação por bases (V) na profundidade de 00,05-0,10 m (Tabela 16) notou-se entre os valores médios dos tratamentos, uma variação de 25,93% para a testemunha, a 63,40% para a leguminosa *Canavalia ensiformis* e 59,20% para *Raphanus*

sativus/Crotalaria juncea, evidenciando que todos os valores dos tratamentos representados pelas leguminosas foram significativamente superiores ao da testemunha ($p < 0,05$). Analisando-se esses resultados, conclui-se que as leguminosas nabo forrageiro/crotalária e feijão-de-porco em ordem decrescente de valores percentuais, contribuíram de forma eficiente para elevar o nível deste índice na profundidade estudada, acima de 59% (NASCIMENTO et al., 2003).

Segundo Tomé Júnior (1997) este índice fornece informações a respeito do total de cargas negativas existentes no solo e também apresenta uma idéia sobre a proporção ocupada pelos cátions Ca^{++} , Mg^{++} e K^+ , servindo como base para a avaliação da fertilidade do solo.

Assim como nas outras camadas, a camada de 0,10-0,20 m o pH do tratamento AFLE assemelha-se ao da testemunha, apresentando um pH ácido. Na maioria dos trabalhos o lodo de esgoto aparece como um componente alcalino. Por outro lado, o lodo de esgoto que não recebe o referido tipo de condicionamento podem também apresentar efeito acidificante (SIMONETE et al., 2003). Os autores atribuem o efeito acidificante do lodo de esgoto às reações de nitrificação, oxidação de sulfitos e produção de ácidos orgânicos.

A camada de 0,10-0,20 m pode-se observar as variáveis pH, Ca^{2+} , Al^{3+} , H+Al, SB e V% e pode-se interpretar como uma resposta relacionada com a acidez do solo. As variáveis Al^{3+} e H+Al são negativamente relacionadas com as outras, indicando que o efeito do fator de variação sobre elas proporciona a diminuição de seus valores, enquanto os valores das outras variáveis aumentam. A interpretação simultânea para as variáveis do componente mostra que os tratamentos de recuperação (AF, AFCE, AFRS/AFCJ e AFLE) não diferem entre si e apresentam diferenças significativas da testemunha (GUEDES et al., 2006).

Na camada de 0,10-0,20 m o K não foi significativo para tratamento, nem para época tampouco para interação e o magnésio no tratamento AFCE diferiu da testemunha. Segundo Nascimento et al. (2003) os maiores efeitos das leguminosas na elevação de teores de nutrientes no solo dizem respeito ao potássio e ao magnésio na camada de solo de 0,00-0,10 m.

Na camada mais profunda estudada (0,20-0,40 m) nota-se que o efeito da dose única de calcário já não influencia tanto em profundidade. Observando-se as médias do pH todos os tratamentos nesta camada não diferem entre si exceto da TEST, estando o AFLE com um valor ligeiramente maior que os outros tratamentos e se compararmos com os valores encontrados para o Ca é evidente como AFLE diferiu estatisticamente da TEST, o efeito prolongado do lodo de esgoto no decorrer do anos é mais pronunciado em relação ao efeito alcalinizante da calagem, que praticamente não houve movimentação de Ca em profundidade.

Essa pequena elevação do pH do solo e do teor de Ca, em virtude da aplicação do lodo é por ser um material altamente alcalino e de reatividade elevada, o aumento do pH e conseqüente redução da acidez potencial ($H+Al$), ocorreram em curto intervalo de tempo mesmo se tratando de um solo com baixa acidez (CHUEIRI et al., 2007).

Na camada 0,20-0,40 m o fósforo já não difere estatisticamente entre os tratamentos com exceção do AFLE em 2007, apresentando valores muito baixos. Pelo fato do fósforo mover-se no solo por difusão, o que lhe acarreta pouca mobilidade, também contribui para o seu acúmulo no solo nas camadas mais superficiais, fato observado também por Leão et al. (2007).

A matéria orgânica não foi significativa estatisticamente para interação nem para tratamento, na camada de 0,20-0,40 m. Analisando a época pode-se observar que no primeiro ano (2005) de estudo comparado aos anos posteriores em que se obtiveram os menores valores de MO. Segundo Andrade, Oliveira e Cerri (2005) reduções dos teores de MO durante o primeiro ano após a aplicação de 20 e 40 t ha⁻¹ de lodo de esgoto em solos cultivados com eucalipto são reportadas em trabalhos da literatura (SOARES, 2003); no entanto, tal efeito parece ser passageiro, desaparecendo nos anos seguintes (ROCHA, 2002).

A SB, bem como a CTC foram influenciadas pelos tratamentos, apresentando maior valor para AFLE em função da aplicação de lodo de esgoto, podendo ser observado na Tabela 18 que a testemunha apresentou os menores valores para estes parâmetros, e com os tratamentos de recuperação, esses valores aumentaram, atingindo os valores máximos no tratamento onde foi aplicado o lodo de esgoto. No entanto não diferiu dos demais tratamentos de recuperação com exceção do AFRS/AFCJ, era esperado que os valores de CTC da camada superficial fossem superiores aos das camadas profundas, uma vez que a aplicação do lodo de esgoto se deu nos primeiros 20 cm do solo, e os valores de MO encontrados na camada 0,20-0,40 m, foram inferiores aos da camada superficial. O mesmo foi observado por Gomes et al. (2005).

No terceiro ano do experimento, o lodo de esgoto ainda respondia com uma tendência a elevação dos valores de V%, embora a interação estatisticamente não tenha sido significativa. Estando em desacordo com Melo et al. (2000) que após dois anos obteve uma estabilização do V%, evidenciando que a grande contribuição para a saturação por bases foi dado pelo Ca.

Tabela 15. Valores médios de P, MO, pH, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC e V% do solo, na camada de solo de 0,00–0,05 m e nos anos estudados, Selvíria, MS.

Tratamento	2005	2006	2007	2005	2006	2007	2005	2006	2007	2005	2006	2007
	Fósforo (mg dm ⁻³)			MO (g dm ⁻³)			pH CaCl ₂			Potássio (mmol.dm ⁻³)		
TEST	1,60aB	2,00aB	1,40Ab	5,80bA	6,10aB	6,40bB	5,00aB	5,00aB	4,80aB	1,40aA	1,00aA	1,00aA
AF	1,40aB	2,40aB	1,60Ab	4,20bA	4,10aB	4,00bB	6,00aA	6,20aA	6,40aA	0,40aB	0,40aA	0,80aA
AFCE	1,60aB	2,00aB	2,40aB	4,40bA	4,70aB	5,00bB	6,00bA	6,00bA	6,60aA	0,60aB	1,00aA	0,80aA
AFRS/AFCJ	1,00aB	2,00aB	19,00Ab	2,60bA	3,10aB	3,60bB	6,20aA	6,00aA	6,40aA	0,80aB	0,80aA	0,80aA
AFLE	167,60aA	127,80aA	88,00Ba	10,20cA	14,40aA	18,60bA	5,00aB	5,00aB	5,00aB	2,00aA	0,00bA	0,60bA
Teste F ⁽¹⁾	264,64*	0,56 ^{ns}	3,83*	18,96*	147,46*	2,66*	44,69*	3,62*	2,30*	1,77 ^{ns}	3,17*	4,52*
CV% ⁽²⁾	29,09	32,32	32,32	25,22	15,70	2,22	3,19	2,22	25,57	20,06		
Tratamento	2005	2006	2007	2005	2006	2007	2005	2006	2007	2005	2006	2007
	Cálcio (mmol.dm ⁻³)			Magnésio (mmol.dm ⁻³)			Al (mmolc dm ⁻³)			H+Al (mmolc dm ⁻³)		
TEST	4,00	3,40	5,00	4,13B	3,00	2,20	2,80	2,67D	0,60	1,20	1,80	1,20A
AF	12,80	9,40	10,80	11,00A	5,20	3,80	5,20	4,73C	0,00	0,00	0,00	0,00C
AFCE	17,40	12,40	10,60	13,47A	9,60	6,40	5,80	7,27B	0,00	0,00	0,00	0,00C
AFRS/AFCJ	14,00	9,60	11,40	11,67A	6,80	5,20	5,20	5,73BC	0,00	0,00	0,00	0,00C
AFLE	13,20	9,60	13,00	11,93A	10,20	9,00	11,80	10,33A	0,40	0,40	0,60	0,46B
Média	12,28a	8,88ab	10,16b	6,96a	5,32	6,16ab	-	-	-	-	-	-
Teste F ⁽¹⁾	24,97*	7,99*	1,19 ^{ns}	46,56*	7,36*	1,82 ^{ns}	20,01*	2,52 ^{ns}	1,67 ^{ns}	104,00*	0,92 ^{ns}	0,35 ^{ns}
CV% ⁽²⁾	15,14	13,55	13,55	12,69	11,44	22,43	23,98	22,43	5,23	6,85		
Tratamento	2005	2006	2007	2005	2006	2007	2005	2006	2007	2005	2006	2007
	SB (mmol.dm ⁻³)			CTC efetiva (mmol.dm ⁻³)			V%					
TEST	8,40	6,80	8,40	7,87C	22,60	21,40	23,60	22,53C	36,60	31,40	34,40	34,13C
AF	18,40	13,60	16,60	16,20B	28,80	24,00	26,40	26,40BC	62,20	55,20	62,20	59,87AB
AFCE	27,60	19,00	17,20	21,27AB	37,60	29,40	27,80	31,60B	72,40	64,20	61,60	66,07A
AFRS/AFCJ	22,00	15,40	17,40	18,27AB	32,00	26,20	27,80	28,67B	67,80	57,80	61,80	62,47AB
AFLE	25,40	19,00	25,40	23,27 ^a	37,60	39,60	44,20	42,60A	57,80	47,60	57,60	54,33B
Média	20,36a	14,76b	17,00b	33,00a	28,12b	29,96ab	59,36a	51,24b	55,52ab			
Teste F ⁽¹⁾	30,28*	10,08*	1,16 ^{ns}	38,94*	7,17*	1,08 ^{ns}	38,64*	9,28*	0,80 ^{ns}			
CV% ⁽²⁾	13,16	12,07	12,07	7,47	7,37	6,01	7,68					

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. ^{ns} – não significativo; * – significativo no nível de 5 %. ⁽¹⁾ teste F para tratamento, época e época x tratamento, respectivamente. ⁽²⁾ CV para tratamento e época, respectivamente. Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

Tabela 16. Valores médios de P, MO, pH, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC e V% do solo, na camada de solo de 0,05–0,10 m e nos anos estudados, Selvíria, MS.

Tratamento	2005	2006	2007	2005	2006	2007	Média	2005	2006	2007	Média	2005	2006	2007		
	Fósforo (mg dm ⁻³)			MO (g dm ⁻³)				pH CaCl ₂				Potássio (mmol _c dm ⁻³)				
TEST	1,00bA	2,00aB	1,40aB	3,00	3,40	3,80	3,40B	4,60	5,00	4,80	4,80B	0,60aA	0,40aA	0,40aA		
AF	1,00aB	2,00aB	1,20aB	3,60	3,80	4,00	3,80B	6,00	6,20	6,80	6,33A	0,20aA	0,40aA	0,00aA		
AFCE	1,00aB	2,00aB	2,00aB	3,20	3,80	4,40	3,80B	6,60	6,60	6,60	6,60A	0,20aA	0,80aA	0,60aA		
AFRS/AFCEJ	1,00aB	2,00aB	1,20aB	3,00	3,20	3,40	3,20B	6,20	6,60	6,40	6,40A	0,20aA	0,20aA	0,60aA		
AFLE	153,20aA	93,00bA	78,20bA	7,20	7,80	8,40	7,80A	4,60	5,00	4,80	4,80B	0,80aA	0,00bA	0,20abA		
Média	-	-	-	4,00b	15,08a	4,80b		5,60a	5,88a	5,88a		-	-	-		
Teste F ⁽¹⁾	656,60*	4,04*	7,40*	7,40*	122,04*	0,76 ^{ns}		61,27*	3,15*		0,89 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,04 ^{ns}	2,42*		
CV% ⁽²⁾	18,89		22,68		23,54		16,53		3,63		3,72		27,40	24,30		
Tratamento	2005	2006	2007	Média	2005	2006	2007	Média	2005	2006	2007	Média	2005	2006	2007	Média
	Cálcio (mmol _c dm ⁻³)				Magnésio (mmol _c dm ⁻³)				Al (mmol _c dm ⁻³)				H+Al (mmol _c dm ⁻³)			
TEST	3,00	2,20	2,60	2,60C	2,60	1,20	1,60	1,80B	1,20	1,40	2,60	1,73A	14,40	14,60	15,00	14,67B
AF	12,80	10,60	12,20	11,87AB	5,60	4,60	5,40	5,20A	0,00	0,00	0,00	0,00C	10,40	10,40	9,60	10,13C
AFCE	19,40	9,60	12,20	13,73A	9,60	4,60	6,80	7,00A	0,00	0,00	0,00	0,00C	10,00	10,20	9,80	10,00C
AFRS/AFCEJ	14,40	9,00	8,20	10,53AB	7,00	4,60	4,00	5,20A	0,00	0,00	0,00	0,00C	10,40	10,20	10,20	10,27C
AFLE	10,40	7,00	8,00	8,47B	6,40	4,80	5,40	5,53A	1,00	0,60	1,20	0,93B	21,80	18,20	17,60	19,20A
Média	12,00a	7,68b	8,64b		6,24a	3,96b	4,64ab		0,44ab	0,40b	0,76a		-	-	-	-
Teste F ⁽¹⁾	39,59*	12,13*	1,33 ^{ns}		16,81*	6,26*		0,56 ^{ns}	37,31*	3,19*		2,02 ^{ns}	78,75*	1,76 ^{ns}		1,47 ^{ns}
CV% ⁽²⁾	15,57		15,09		18,77		20,09		23,15		19,81		6,36		5,79	
Tratamento	2005	2006	2007	Média	2005	2006	2007	Média	2005	2006	2007	Média	V%			
	SB (mmol _c dm ⁻³)				CTC efetiva (mmol _c dm ⁻³)											
TEST	6,20	4,00	5,00	5,06C	20,60	18,60	20,00	19,73C	32,60	20,80	24,40	25,93C				
AF	18,80	15,60	17,60	17,33AB	29,20	26,00	27,20	27,47B	64,40	59,00	64,20	62,53A				
AFCE	29,40	14,80	19,80	21,33A	39,40	25,20	29,60	31,40AB	73,00	58,20	63,40	64,87A				
AFRS/AFCEJ	22,00	14,40	12,60	16,33AB	32,40	24,60	28,80	26,60B	64,40	58,40	54,80	59,20A				
AFLE	17,60	12,20	13,40	14,40B	39,40	30,00	31,00	33,47A	44,80	40,20	43,40	42,80B				
Média	18,80a	12,20b	13,68b		32,20a	24,88b	26,12b		55,84a	47,32b	50,04b					
Teste F ⁽¹⁾	32,92*	10,57*	0,95 ^{ns}		23,71*	12,98*	1,23 ^{ns}		87,11*	9,14*	0,99 ^{ns}					
CV% ⁽²⁾	15,27		16,12		7,58		9,04		7,35		7,33					

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. ^{ns} – não significativo; * – significativo no nível de 5 %. ⁽¹⁾ teste F para tratamento, época e época x tratamento, respectivamente. ⁽²⁾ CV para tratamento e época, respectivamente. Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium* + *Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCEJ = *A. fraxinifolium* + *Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium* + *Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium* + *Brachiaria decumbens* + lodo de esgoto.

Tabela 17. Valores médios de P, MO, pH, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC e V% do solo, na camada de solo de 0,10–0,20 m e nos anos estudados, Selvíria, MS.

Tratamento	2005	2006	2007	Média	2005	2006	2007	Média	2005	2006	2007	Média	2005	2006	2007
	Fósforo (mg dm ⁻³)				MO (g dm ⁻³)				pH CaCl ₂				Potássio (mmol _c dm ⁻³)		
TEST	1,00	2,00	1,80	1,60B	1,60	2,00	2,40	2,00B	4,20	4,80	4,60	4,53C	0,20	0,20	0,00
AF	1,00	2,00	1,40	1,47B	2,00	2,60	3,20	2,60B	5,40	5,40	6,00	5,60AB	0,20	0,00	0,00
AFCE	1,00	2,00	1,20	1,40B	2,00	2,50	3,00	2,50B	5,60	6,00	5,80	5,80A	0,00	0,00	0,00
AFRS/AFJC	1,00	2,00	1,00	1,33B	1,00	2,00	3,00	2,00B	5,20	6,20	5,80	5,73A	0,20	0,00	0,20
AFLE	38,00	27,80	35,20	33,67A	2,80	4,30	5,80	4,30A	4,60	5,20	5,20	5,00BC	0,00	0,00	0,00
Média	-	-	-	-	1,88c	8,24a	3,48b	5,00b	5,52a	5,52a	5,48a	-	-	-	-
Teste F ⁽¹⁾	47,63*	0,36 ^{ns}	0,75 ^{ns}	130,80*	1,75 ^{ns}	11,15*	7,73*	0,92 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,947 ^{ns}	0,947 ^{ns}	0,65 ^{ns}	19,12	16,62	16,62
CV% ⁽²⁾	47,56	29,07	14,58	5,55	14,58	5,55	5,55	4,59	19,12	16,62	16,62	16,62	16,62	16,62	16,62
Tratamento	2005	2006	2007	Média	2005	2006	2007	Média	2005	2006	2007	Média	2005	2006	2007
	Cálcio (mmol _c dm ⁻³)				Magnésio (mmol _c dm ⁻³)				Al (mmol _c dm ⁻³)				H+Al (mmol _c dm ⁻³)		
TEST	2,00	1,20	1,80	1,67B	1,20	1,00	1,40	1,20B	1,60A	2,40A	3,00A	14,80	15,00	15,20	15,20
AF	7,40	4,80	10,80	7,67A	3,00	2,00	3,00	2,67AB	0,00aB	0,80aB	0,00aB	11,80	11,80	11,00	11,00
AFCE	8,00	6,00	9,20	7,73A	3,20	3,00	5,00	3,73A	0,20aB	0,00aB	0,00aB	11,80	11,80	11,60	11,20
AFRS/AFJC	4,80	7,20	6,80	6,27A	2,00	3,00	3,20	2,73AB	0,40AB	0,00B	0,00B	12,20	12,20	11,00	12,20
AFLE	7,20	6,00	8,40	7,20A	3,60	2,80	4,20	3,53A	1,00aA	0,00bB	0,60abB	15,00	12,40	14,60	14,60
Teste F ⁽¹⁾	10,23*	2,80 ^{ns}	0,82 ^{ns}	25,36*	0,13 ^{ns}	25,36*	0,13 ^{ns}	2,36*	4,66*	1,50 ^{ns}	1,50 ^{ns}	1,03 ^{ns}	10,66	6,69	6,69
CV% ⁽²⁾	27,95	24,29	21,90	29,84	28,28	28,28	28,28	28,28	28,28	28,28	28,28	28,28	28,28	28,28	28,28
Tratamento	2005	2006	2007	Média	2005	2006	2007	Média	2005	2006	2007	Média	2005	2006	2007
	SB (mmol _c dm ⁻³)				CTC efetiva (mmol _c dm ⁻³)				V%						
TEST	3,20	2,60	3,00	2,93B	18,00	17,60	18,40	18,00B	17,80	14,20	17,60	16,53B	17,80	14,20	16,53B
AF	11,00	7,00	4,20	10,73AB	22,80	18,80	25,20	22,27AB	46,60	35,80	52,80	45,07A	46,60	35,80	52,80
AFCE	12,00	9,40	63,40	28,27A	23,80	21,00	25,80	23,53A	46,80	44,00	53,40	48,07A	46,80	44,00	53,40
AFRS/AFJC	7,20	10,20	10,20	9,20AB	19,40	21,20	22,40	21,00AB	36,80	47,40	45,00	42,80A	36,80	47,40	45,00
AFLE	11,00	9,00	12,40	10,80AB	26,00	22,80	27,00	25,27A	40,60	39,00	43,20	40,93A	40,60	39,00	43,20
Média	-	-	-	-	22,00ab	20,28b	23,76a	-	-	-	-	-	-	-	-
Teste F ⁽¹⁾	3,94*	1,91 ^{ns}	0,81 ^{ns}	54,63	5,65*	3,42*	0,50 ^{ns}	17,97*	2,28 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,98 ^{ns}	14,52	17,97*	2,28 ^{ns}	0,98 ^{ns}
CV% ⁽²⁾	52,68	54,63	9,72	9,63	9,72	9,63	9,63	17,34	17,34	14,52	14,52	14,52	17,34	17,34	14,52

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. ^{ns} – não significativo; * – significativo no nível de 5 %. ⁽¹⁾ teste F para tratamento, época e época x tratamento, respectivamente. ⁽²⁾ CV para tratamento e época, respectivamente. Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium* + *Canavalia ensiformis*, AFRS/AFJC = *A. fraxinifolium* + *Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium* + *Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium* + *Brachiaria decumbens* + lodo de esgoto.

Tabela 18. Valores médios de P, MO, pH, K, Ca, Mg, Al, H⁺Al, SB, CTC e V% do solo, na camada de solo de 0,20–0,40 m e nos anos estudados, Selvíria, MS.

Tratamento	2005	2006	2007	2005	2006	2007	2005	2006	2007	Média	2005	2006	2007
Fósforo (mg dm ⁻³)			MO (g dm ⁻³)			pH CaCl ₂			Potássio (mmol _c dm ⁻³)				
TEST	1,00aA	2,00aA	2,20aB	1,00	3,20	2,20	4,00	4,60	0,00	4,20B	0,00	0,00	0,00
AF	1,00aA	2,00aA	2,00aB	1,20	3,20	2,20	4,60	5,00	4,60	4,73A	0,20	0,00	0,00
AFCE	1,00aA	2,00aA	2,00aB	1,00	3,20	1,80	4,00	4,60	4,80	4,47AB	0,00	0,00	0,00
AFRS/AFJC	1,00aA	2,60aA	2,00aB	1,00	2,80	2,20	4,00	4,80	4,60	4,47AB	0,00	0,00	0,00
AFLE	1,00bA	2,00bA	7,20aA	1,20	5,00	3,00	4,20	5,00	5,00	4,73A	0,00	0,00	0,00
Média	-	-	-	1,08c	3,48a	2,28b	4,16b	4,80a	4,60a	-	-	-	-
Teste F ⁽¹⁾	6,79*	36,09*	6,83*	2,87 ^{ns}	26,82*	0,36 ^{ns}	9,33*	16,08*	1,48 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}
CV% ⁽²⁾	15,03	15,90	15,69	15,69	20,74	2,83	2,83	4,08	8,37	8,37	8,37	8,37	8,37
Tratamento	2005	2006	2007	Média	2005	2006	2007	2005	2006	2007	2005	2006	2007
Cálcio (mmol _c dm ⁻³)			Magnésio (mmol _c dm ⁻³)			Al (mmol _c dm ⁻³)			H ⁺ Al (mmol _c dm ⁻³)				
TEST	1,20	1,00	2,20	1,47B	1,00	1,00	2,40aAB	3,00aA	3,60aA	14,60	14,80	15,60	15,60
AF	1,80	1,20	7,00	3,33AB	1,20	1,00	1,40aB	2,40aAB	2,20aABC	13,00	14,00	13,80	13,80
AFCE	1,40	1,60	4,80	2,60AB	1,00	1,40	1,80	3,00aA	3,20aA	14,60	14,20	14,00	14,00
AFRS/AFJC	1,60	1,80	3,40	2,26AB	1,00	1,20	1,20	3,20aA	2,40aB	13,80	13,40	14,60	14,60
AFLE	2,60	2,60	7,00	4,07A	1,00	1,60	5,60	2,00aAB	1,40aB	14,00	13,80	14,00	14,00
Média	1,72b	1,64b	4,88a	1,04a	1,24ab	2,24a	-	-	-	-	-	-	-
Teste F ⁽¹⁾	3,40*	14,10*	0,60 ^{ns}	2,16 ^{ns}	4,02*	1,48 ^{ns}	3,53*	0,04 ^{ns}	3,52*	2,28 ^{ns}	1,03 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,85 ^{ns}
CV% ⁽²⁾	29,21	32,51	28,59	28,59	27,30	20,66	15,11	15,11	4,70	4,70	4,70	3,77	3,77
Tratamento	2005	2006	2007	Média	2005	2006	2007	2005	2006	2007	2005	2006	2007
SB (mmol _c dm ⁻³)			CTC efetiva (mmol _c dm ⁻³)			V%							
TEST	1,60	1,20	3,00	1,93B	15,80	16,00	18,60	16,80B	10,60	8,40	15,20	11,40B	11,40B
AF	3,20	1,60	8,60	4,47AB	16,20	15,60	22,40	18,07AB	19,60	10,60	32,20	20,80AB	20,80AB
AFCE	2,00	2,40	7,00	3,80AB	16,60	17,40	21,00	18,33AB	12,40	13,60	32,40	19,47AB	19,47AB
AFRS/AFJC	2,00	2,80	4,60	3,13B	15,80	16,80	19,20	17,27B	13,20	15,60	22,20	17,00B	17,00B
AFLE	4,00	4,40	12,80	7,06A	18,00	18,20	26,80	21,00A	21,40	22,80	44,00	29,40A	29,40A
Média	2,56b	2,48b	7,20a	1,06 ^{ns}	16,48b	16,80b	21,60a	15,44b	14,20b	29,20a	1,25 ^{ns}	20,47	20,47
Teste F ⁽¹⁾	9,85*	29,84*	1,06 ^{ns}	5,01*	18,03*	0,79 ^{ns}	10,13*	22,41*	19,70	19,70	19,70	19,70	19,70
CV% ⁽²⁾	24,53	29,08	29,08	29,08	7,00	8,39	8,39	8,39	8,39	8,39	8,39	8,39	8,39

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. ^{ns} – não significativo; * – significativo no nível de 5 %. ⁽¹⁾ teste F para tratamento, época e época x tratamento, respectivamente. ⁽²⁾ CV para tratamento e época, respectivamente. Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium* + *Canavalia ensiformis*, AFRS/AFJC = *A. fraxinifolium* + *Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium* + *Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium* + *Brachiaria decumbens* + lodo de esgoto.

Quanto ao pH (Tabela 15 a 18), verificou-se que naturalmente o solo apresenta acidez muito alta. Nos tratamentos de recuperação do solo, devido à calagem, o pH aumentou, passando a ter acidez média, com exceção do tratamento que recebeu lodo de esgoto, pois neste caso o pH foi menor em relação aos tratamentos que receberam calcário. Esse efeito pode ser explicado pelo fato do lodo de esgoto utilizado não ser tratado com cal e também pelo poder acidificante gerado pela biodecomposição da MO (CAMARGO et al., 1999; FRANCHINI et al., 2001). Perecin Junior (2005) também observou um aumento nos teores de P e de Al trocável, ocasionando diminuição dos valores de pH.

Em relação aos teores de Ca, os tratamentos de recuperação não diferiram entre si, apenas diferiram da testemunha. Essa semelhança entre os tratamentos pode indicar que apenas a realização da calagem foi suficiente para a melhoria das condições químicas do solo. Tamanini et al. (2004) obtiveram resultados semelhantes. Houve diferença no teor de Mg entre os tratamentos AFLE, TEST, AF e AFRS/AFCJ (Tabelas 15 a 18). O uso do adubo verde provavelmente contribuiu para a extração e ciclagem do Mg no solo, concordando com resultados verificados por Nascimento et al. (2003).

O H+Al aumentou no tratamento que recebeu lodo de esgoto e diminuiu nos demais tratamentos de recuperação, comparados à testemunha (Tabelas 15 a 18). Não houve diferença significativa da SB (Tabelas 15 a 18) entre os tratamentos de recuperação apenas em relação à testemunha, que não recebeu a calagem. Pode-se observar que os atributos indicativos da reação do solo diferiram com a correção da acidez, com o aumento do pH e soma de bases e diminuição do Al nos tratamentos onde o calcário foi adicionado, concordando com Camargo et al. (1997) e Miranda et al. (2005).

Houve diferença nos valores de CTC e V % (Tabelas 15 a 18). Dentre os tratamentos usados para recuperação do solo, o mais promissor, quanto às mudanças na CTC foi o AFLE, provavelmente devido ao aporte de MO (lodo de esgoto mais braquiária) e, para o V %, os tratamentos que receberam a calagem, portanto, diferindo da testemunha.

Os resultados encontrados, de forma geral, revelam que os tratamentos estão recuperando as propriedades químicas do solo. Comportamento que corrobora com Silva et al. (2001), pois os autores observaram que o lodo de esgoto melhora a fertilidade do solo pelo fornecimento de nutrientes, principalmente de Ca, P, S e Zn e pelo aumento da CTC efetiva, proporcionando melhor recuperação para o solo degradado. Também Suzuki (2005) trabalhando em recuperação de um solo com adubo verde, lodo de esgoto e revegetado com espécie arbórea, verificou que houve diferença significativa entre os tratamentos, para as

propriedades químicas com exceção da MO e do K. Campos (2006), trabalhando com o uso do lodo de esgoto na reestruturação de um Latossolo Vermelho degradado, obteve os melhores resultados para o fator P, quando utilizou o lodo de esgoto, principalmente na dose de 60 t ha⁻¹.

4.3. Macrorganismos do solo

Os macrorganismos encontrados foram: aranha (Ordem Arachnida); barata (Ordem Blattaria); besouro (Ordem Coleoptera); centopéia (Ordem Geophilomorfa); cigarrinha (Ordem Hemiptera); cupim (Ordem Isoptera); formiga (Ordem Hymenoptera); grilo (Ordem Orthoptera); larvas; lacraia (Ordem Dermaptera); louva a Deus (Ordem Mantodea); minhoca (Ordem Haplotaxida); percevejo (Ordem Hemiptera); pupas; piolho de cobra (Ordem Polydesmida); tatuzinho (Ordem Isopoda); tesourinha (Ordem Dermaptera) e ovos (Tabelas de 19 a 21 e Figuras 22 a 29).

Comparando-se o cerrado com os demais tratamentos, no ano de 2005 nas camadas de solo estudadas (Tabela 19), quanto à presença de macrorganismos, observou-se que há de 5 a 162 vezes mais indivíduos no ambiente natural. Esse quadro reflete a condição de degradação da área em estudo e a baixa população de macrorganismos no solo estudado. A menor diferença entre população de macrorganismos ficou entre cerrado e os tratamentos com *Astronium fraxinifolium*+braquiária+lodo de esgoto (camada de 0,00-0,10 m) e entre cerrado e *Astronium fraxinifolium*+*Crotalaria juncea* (camada de 0,10-0,15 m).

Tabela 19. Distribuição dos macroorganismos do solo nos tratamentos e camadas de solo estudado. Agosto/2005. Selvíria, MS.

Tratamento	aranha	barata	besouro	centopéia	cupim	formiga	larva	minhoca	ovos	pupa	tesourinha	TO	TE
Camada de 0,00-0,05 m													
TEST	0	0	0	0	0	8	1	0	0	0	0	9	2
CERR	3	3	0	3	103	41	0	0	0	0	4	157	6
AF	1	0	0	0	0	6	2	0	0	1	0	10	4
AFCE	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	4	2
AFRS/AFJC	1	0	1	0	0	3	2	0	2	0	0	9	5
AFLE	0	1	1	0	0	8	12	0	0	0	1	23	5
TO	6	4	2	3	103	69	17	0	2	1	5	212	10
Camada de 0,05-0,10 m													
TEST	0	0	1	0	0	5	0	0	0	2	0	8	3
CERR	0	1	0	3	137	18	2	1	0	0	0	162	6
AF	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
AFCE	0	0	0	0	0	2	1	0	0	1	0	4	3
AFRS/AFJC	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	3	3
AFLE	0	0	1	0	0	7	4	0	0	0	0	12	3
TO	1	1	2	3	137	34	8	1	0	3	0	190	9
Camada de 0,10-0,15 m													
TEST	0	0	0	0	0	8	0	0	0	1	0	9	2
CERR	1	0	0	1	113	18	0	1	0	0	0	134	5
AF	0	0	0	0	0	3	0	0	0	2	0	5	2
AFCE	2	0	0	0	0	13	3	0	0	6	0	24	4
AFRS/AFJC	0	0	0	0	0	5	1	0	0	2	0	8	3
AFLE	1	0	2	0	0	4	2	0	0	0	0	9	4
TO	4	0	2	1	113	51	6	1	0	11	0	189	8

Legenda: TO= total de organismos, TE= total de espécies. CERR= vegetação original (cerrado), AF = *Astronum fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFJC = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

Tabela 20. Distribuição dos macrorganismos do solo nos tratamentos e camadas de solo estudado. Janeiro/2006. Selvíria, MS.

Tratamento	aranha	barata	besouro	centopéia	cigarrinha	cupim	formiga	larva	minhoca	ovos	piolho de cobra	pupa	tesourinha	TO	TE
Camada de 0,00 a 0,05 m															
TEST	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	4	2
CERR	2	0	3	1	0	19	1	5	4	0	1	0	4	40	9
AF	1	2	3	0	0	0	31	23	0	0	0	0	1	61	6
AFCE	1	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	6	3
AFRS/AFCEJ	2	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	7	2
AFLE	1	0	10	0	1	4	39	17	0	0	2	0	9	83	8
TO	7	2	17	1	1	24	83	45	4	0	3	0	14	201	11
Camada de 0,05 a 0,10 m															
TEST	0	0	0	0	0	0	6	4	0	0	0	0	0	10	2
CERR	2	1	2	1	0	36	2	11	6	0	0	0	0	61	8
AF	0	1	0	0	1	0	9	7	0	0	0	0	1	19	5
AFCE	1	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	21	2
AFRS/AFCEJ	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	2
AFLE	0	0	2	0	0	0	16	19	0	0	0	0	1	38	4
TO	3	2	5	1	1	36	55	41	6	0	0	0	2	152	10
Camada de 0,10 a 0,15 m															
TEST	0	0	1	0	0	0	9	5	0	0	0	0	0	15	3
CERR	0	0	0	0	0	20	2	0	2	0	0	0	3	27	4
AF	0	0	0	0	0	1	15	8	0	0	0	0	0	24	3
AFCE	0	0	1	0	0	0	15	1	0	0	0	0	0	17	3
AFRS/AFCEJ	0	0	0	0	0	0	2	5	0	0	0	0	0	7	2
AFLE	0	0	1	0	0	0	12	5	0	0	0	0	0	18	3
TO	0	0	3	0	0	21	55	24	2	0	0	0	3	108	6

Legenda: TO= total de organismos, TE= total de espécies. CERR= vegetação original (cerrado), AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

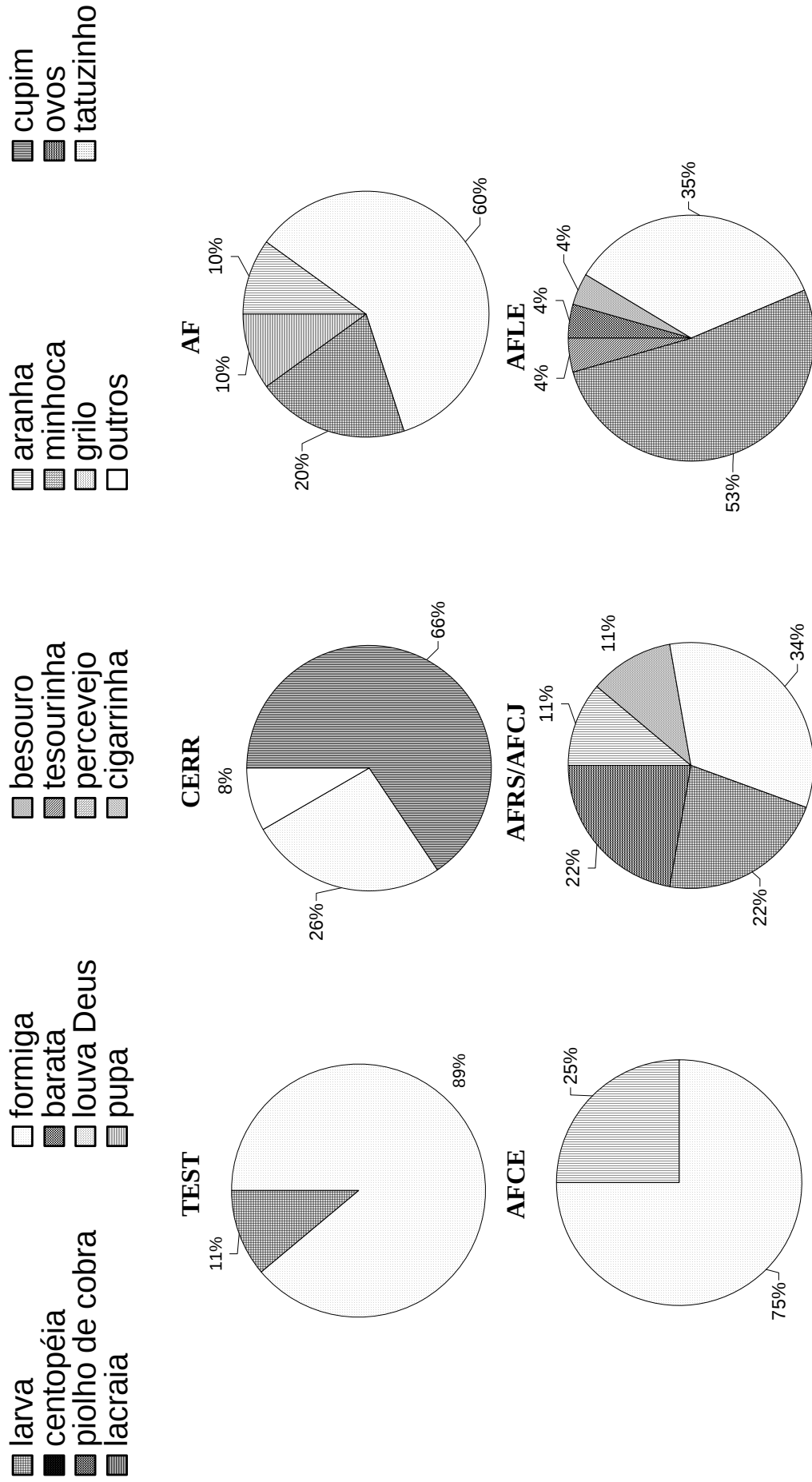
Tabela 21. Distribuição dos macroorganismos do solo nos tratamentos e camadas de solo estudado. Março/2007. Selvíria, MS.

Tratamento	aranha	barata	besouro	centopéia	cupi	formiga	grilo	lacrailarva	louva	minhoc	ovos	percevejo	piolho	tatu	tesourinha	TO	TE
				a	m				deus	a			o de cobra	o			
TEST	3	0	2	0	65	3	0	0	20	0	0	0	0	0	0	93	5
CERR	2	5	2	0	247	19	0	3	10	0	8	0	0	0	8	304	9
AF	1	0	1	1	18	2	1	0	6	0	0	0	0	0	0	30	7
AFCE	4	0	8	0	3	31	0	0	8	0	0	0	0	0	0	54	5
AFRS/AFCEJ	6	0	4	0	14	8	0	0	15	0	0	0	0	0	0	47	5
AFLE	6	11	16	5	201	65	0	0	47	0	4	0	3	5	10	373	11
TO	22	16	33	6	548	128	1	3	106	0	12	0	3	5	18	901	13
TEST	2	0	1	0	3	2	0	0	7	0	0	0	0	0	0	15	5
CERR	4	8	2	0	9	10	0	1	4	0	22	3	1	0	9	73	11
AF	2	0	0	0	13	6	0	0	11	0	0	0	0	0	0	32	4
AFCE	1	0	3	0	23	10	0	0	8	0	1	0	1	0	0	47	7
AFRS/AFCEJ	0	0	3	0	16	18	0	0	9	0	0	0	0	0	0	46	4
AFLE	0	1	2	0	124	70	1	0	44	0	3	0	0	5	0	250	8
TO	9	9	11	0	188	116	1	1	83	0	26	3	2	5	9	463	13
TEST	1	0	0	0	34	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	3
CERR	0	1	0	1	44	4	0	1	2	0	17	5	2	1	1	79	11
AF	1	0	0	0	4	6	0	0	4	0	0	0	0	0	0	15	4
AFCE	3	0	1	0	6	6	0	0	5	0	1	0	0	0	0	22	6
AFRS/AFCEJ	0	0	0	0	5	10	0	0	4	1	0	0	0	0	0	20	4
AFLE	0	0	0	0	95	7	0	0	13	0	0	0	1	0	0	116	4
TO	5	1	1	1	188	46	0	1	28	1	18	5	3	1	1	300	14

Legenda: TO= total de organismos, TE= total de espécies. CERR= vegetação original (cerrado), AF = *Astronum fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCEJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

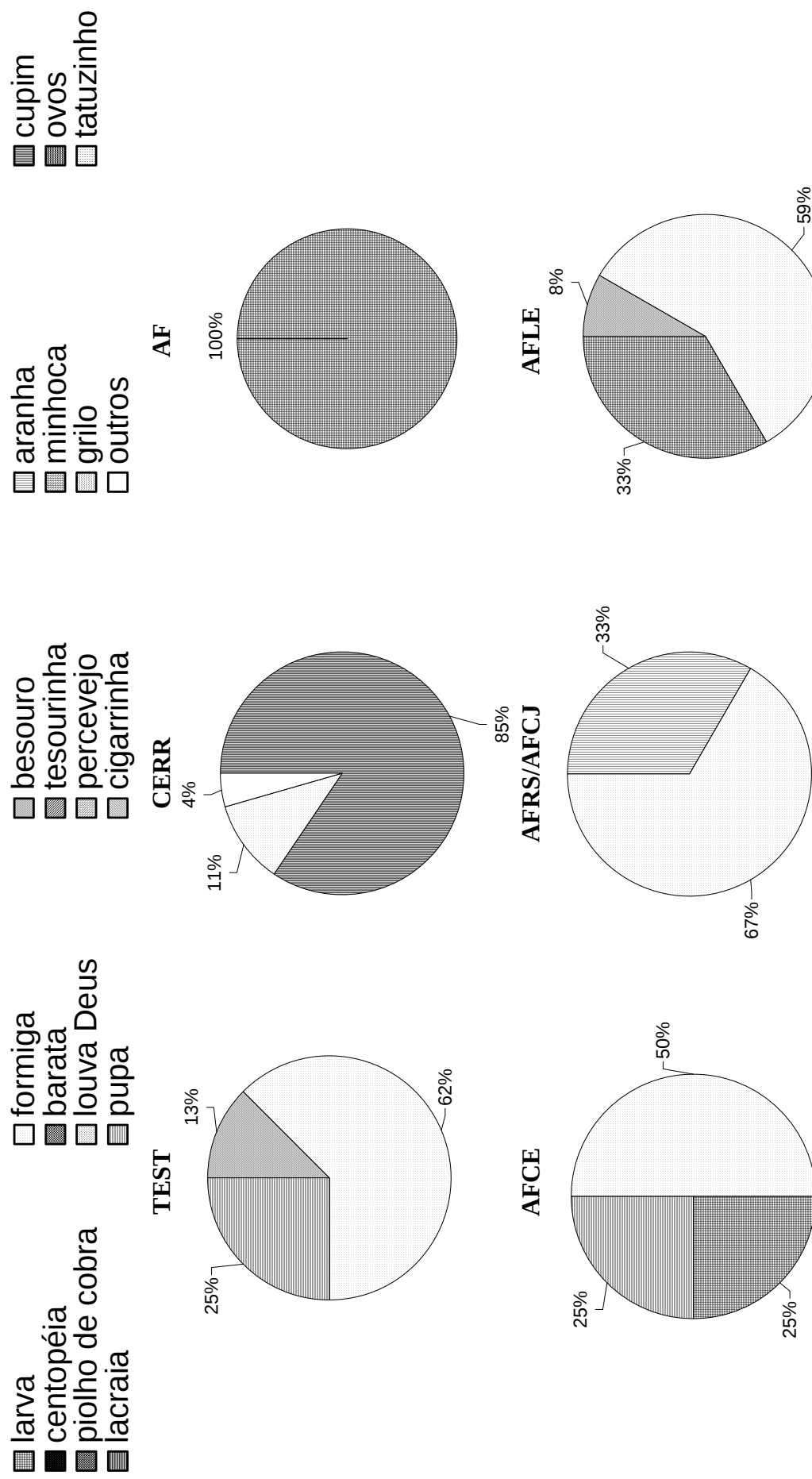


Figura 22: Exemplos das ordens encontrados nos ambientes estudados e seus respectivos aumentos Coleoptera (5x), larva (20x), Polysdemida (5x), Arachnida (30x), Isoptera (30x), Haplophysa (9x), Formicidae (15x), Dermaptera (5x).



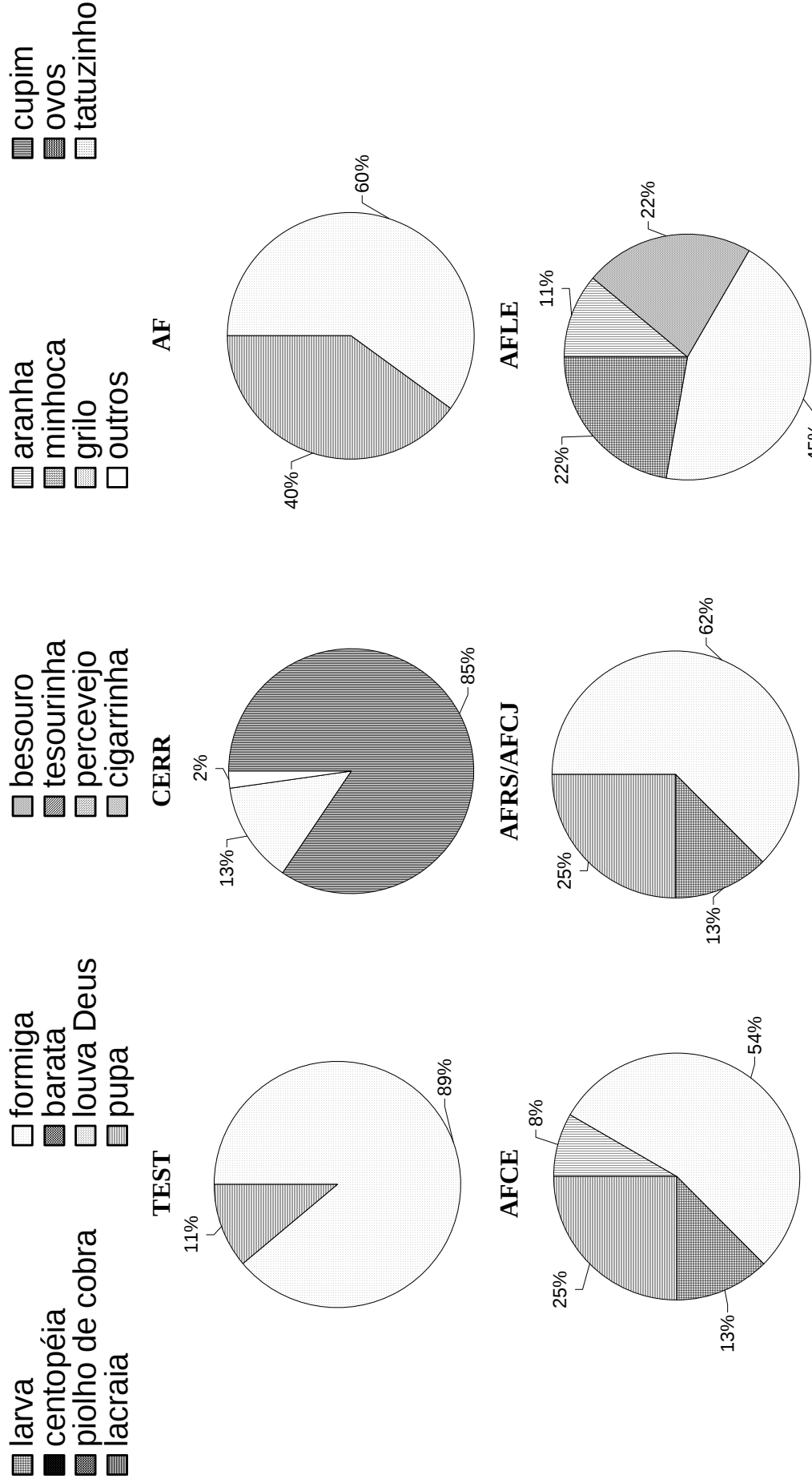
Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronum fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCEJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

Figura 23. Representação percentual dos macroorganismos do solo nos tratamentos estudados na camada de 0,00-0,05 m, agosto/2005, Selvíria, MS.



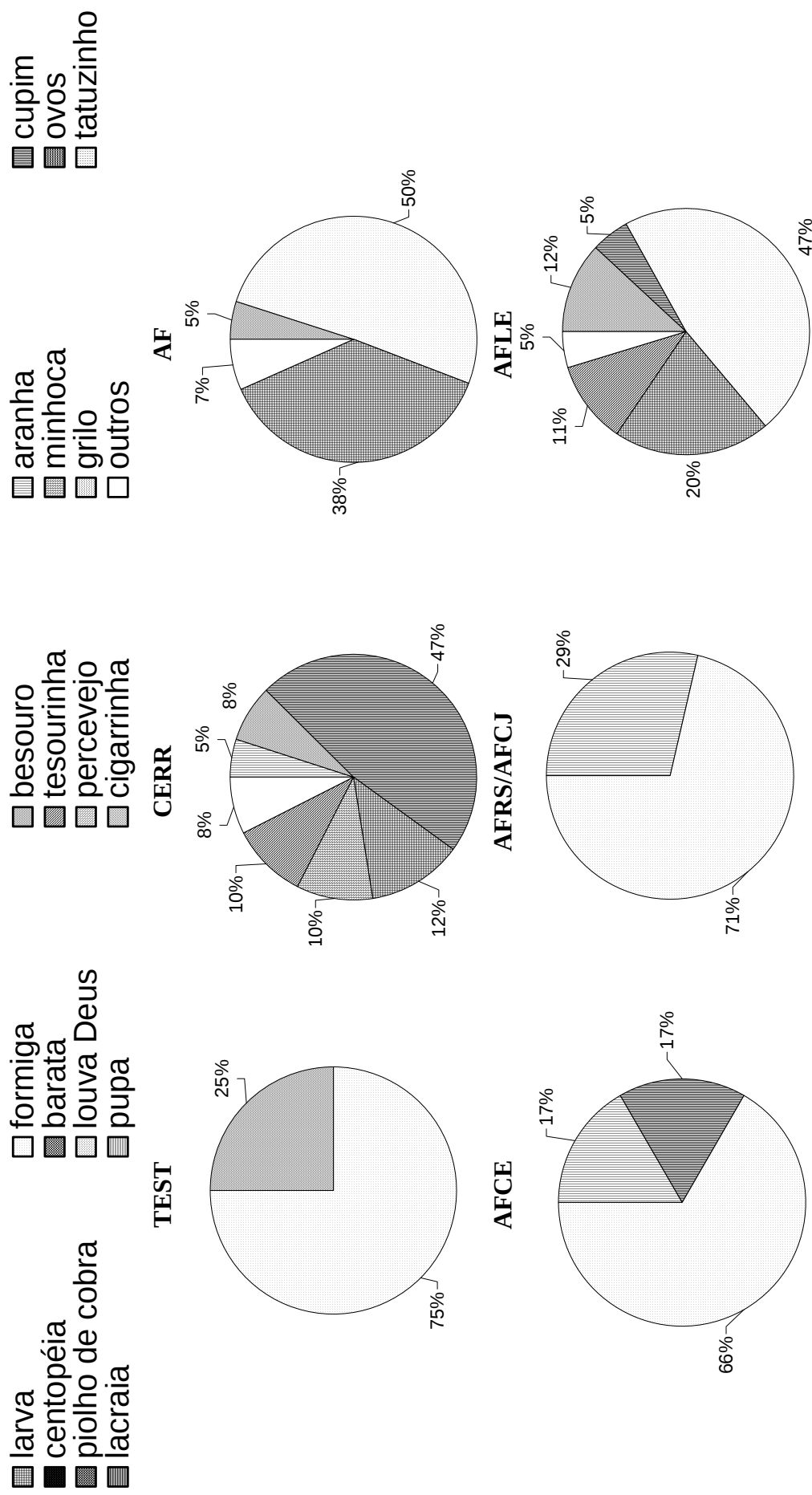
Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronidium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium* + *Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCEJ = *A. fraxinifolium* + *Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium* + *Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium* + *Brachiaria decumbens* + lodo de esgoto.

Figura 24. Representação percentual dos macroorganismos do solo nos tratamentos estudados na camada de 0,05-0,10 m, agosto/2005, Selvíria, MS.



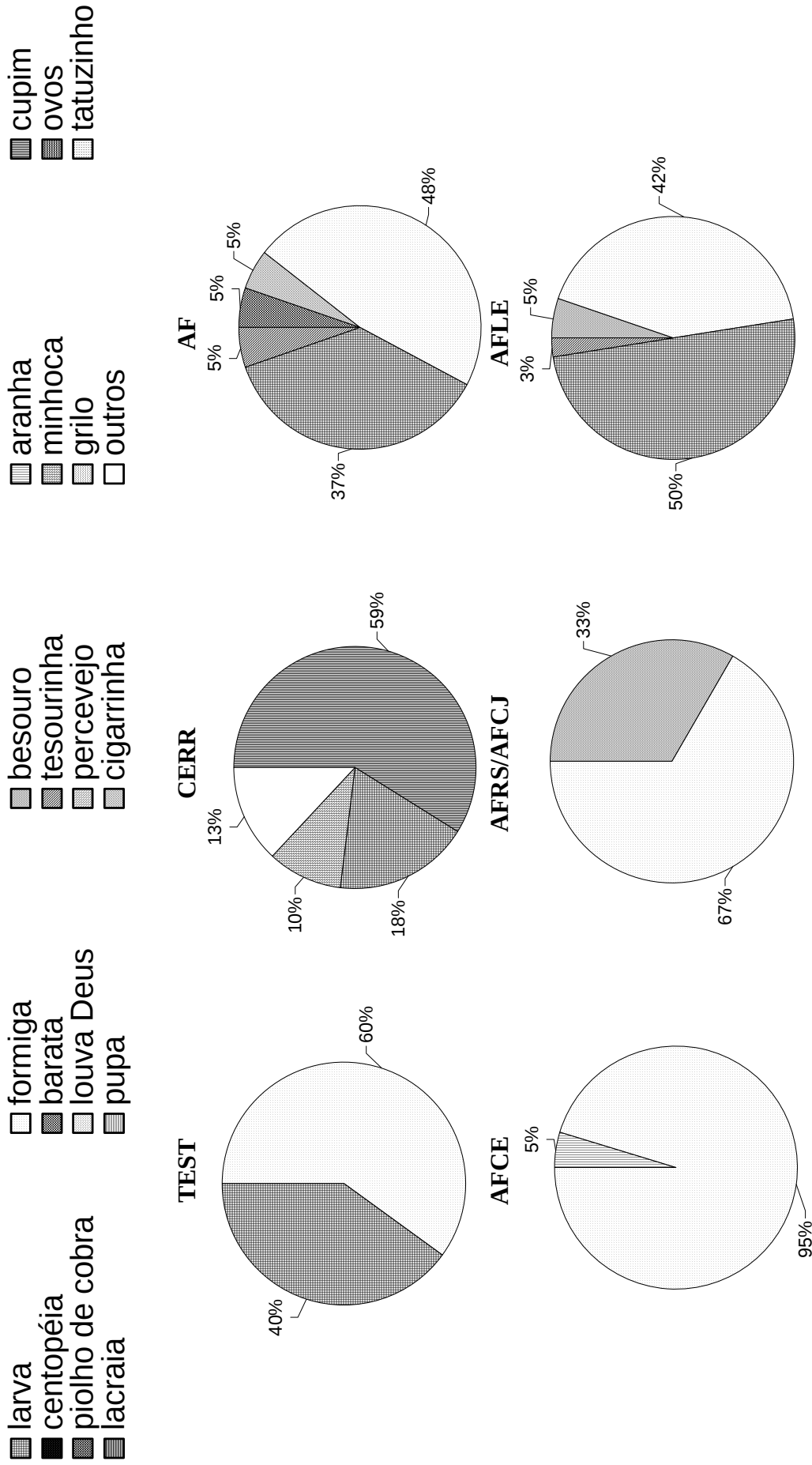
Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronidium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCE = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

Figura 25. Representação percentual dos macroorganismos do solo nos tratamentos estudados na camada de 0,10-0,15 m, agosto/2005, Selvíria, MS.



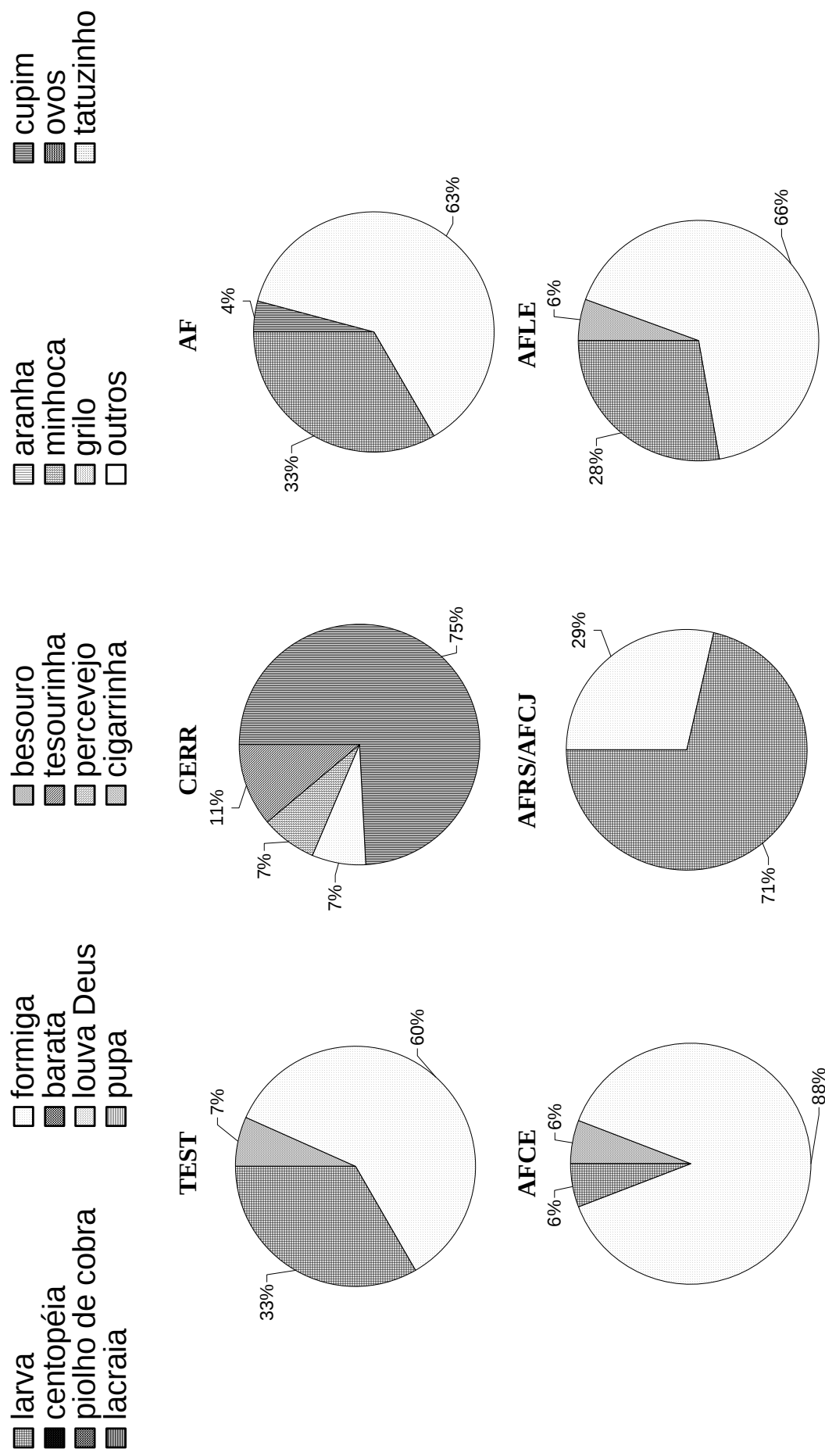
Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronidium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCE = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

Figura 26. Representação percentual dos macroorganismos do solo nos tratamentos estudados na camada de 0,00-0,05 m, janeiro/2006, Selvíria, MS.



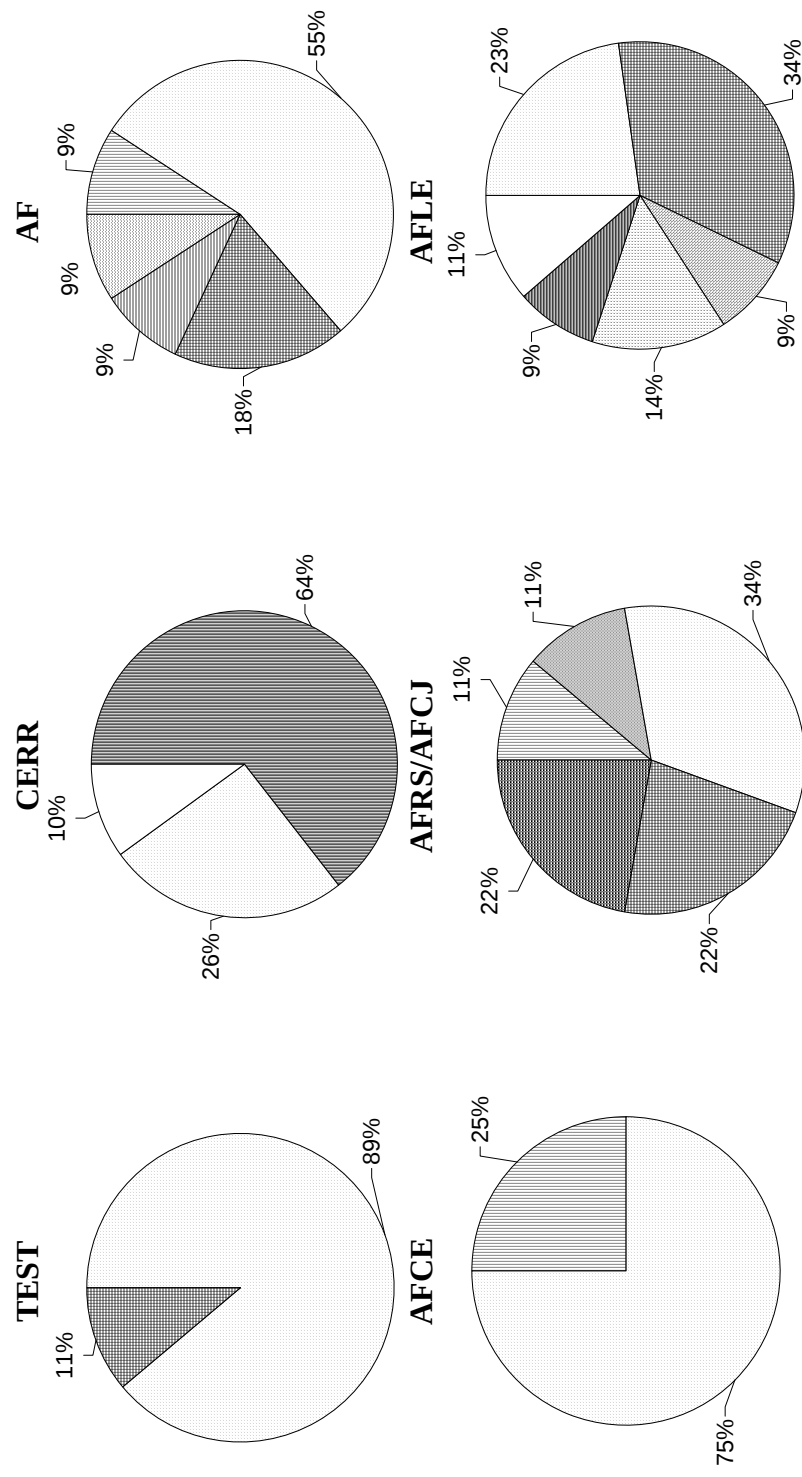
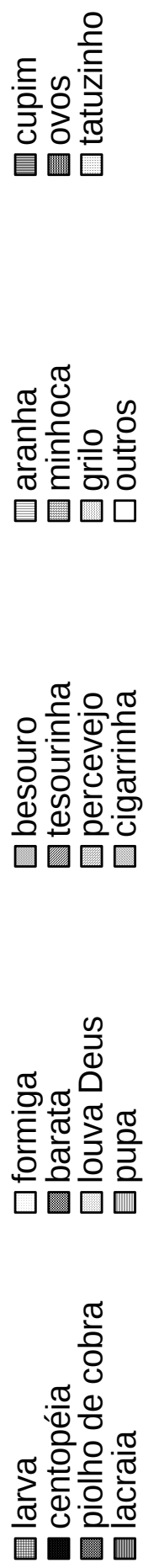
Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronum fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCEJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

Figura 27. Representação percentual dos macroorganismos do solo nos tratamentos estudados camada de 0,05-0,10 m janeiro/2006, Selvíria, MS.



Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronum fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCEJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

Figura 28. Representação percentual dos macroorganismos do solo nos tratamentos estudados na camada de 0,10-0,15 m janeiro/2006, Selvíria, MS.



Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium* + *Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCEJ = *A. fraxinifolium* + *Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium* + *Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium* + *Brachiaria decumbens* + lodo de esgoto.

Figura 29. Representação percentual dos macroorganismos do solo nos tratamentos estudados na camada de 0,00-0,05 m, março/2007, Selvíria, MS.

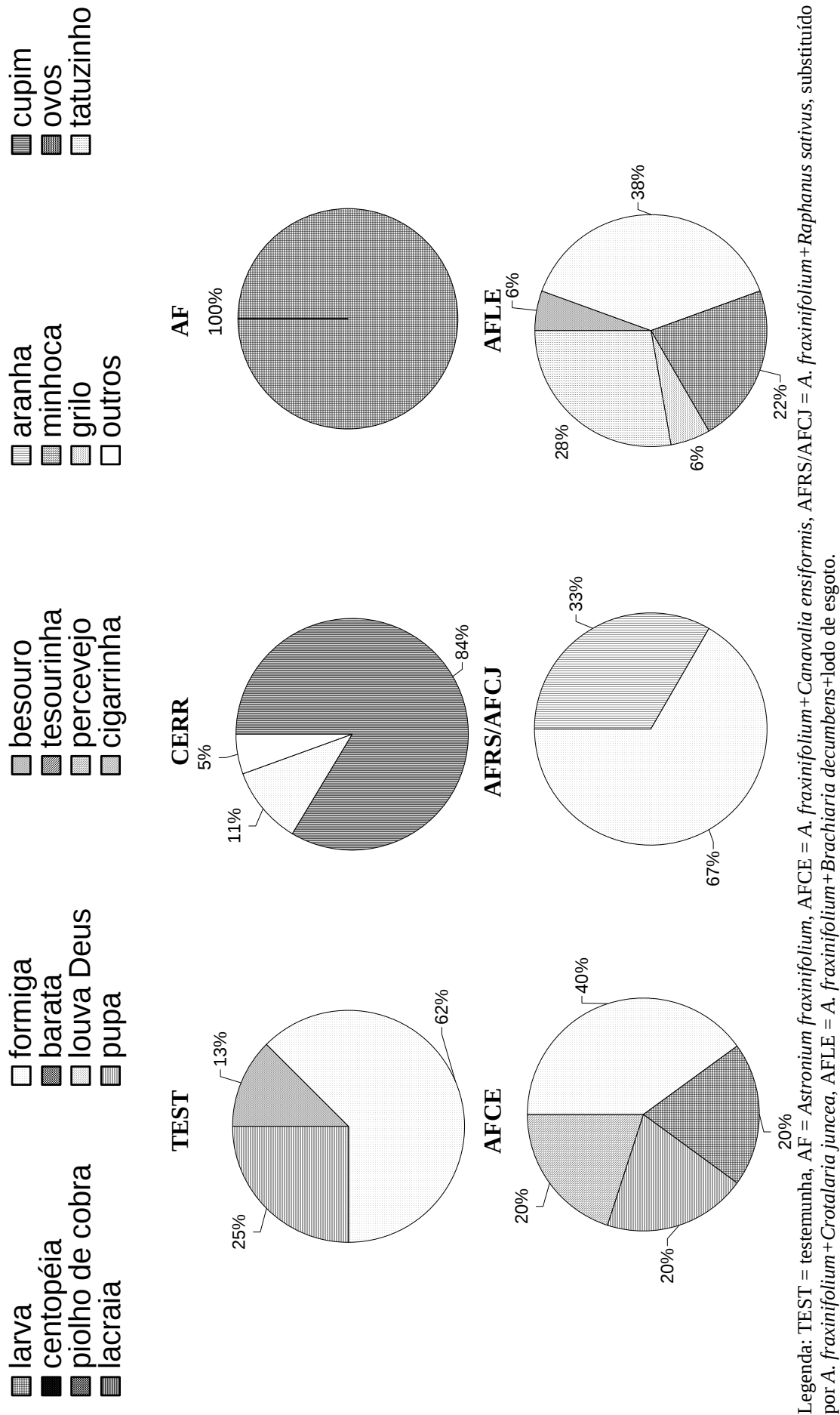
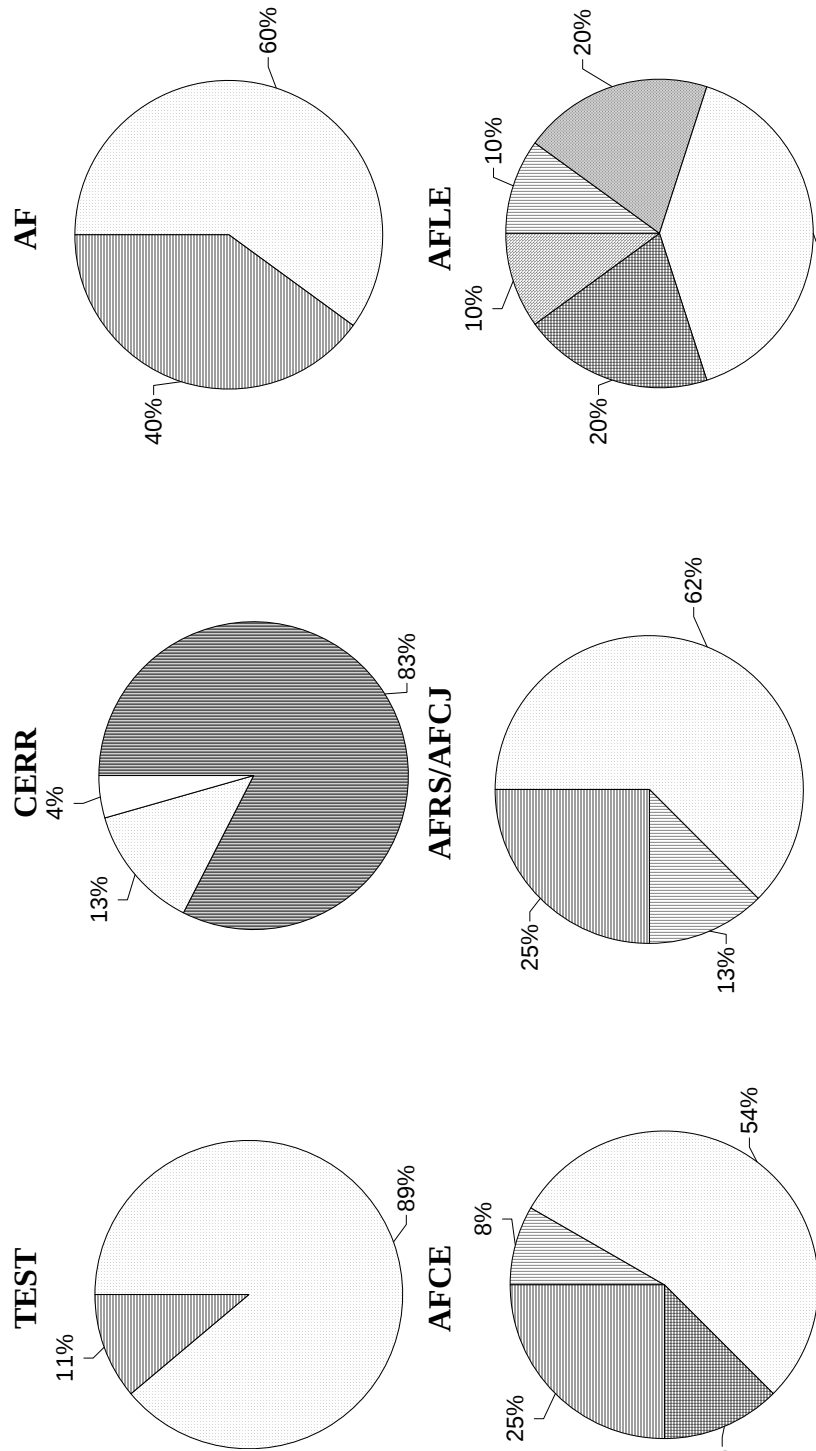
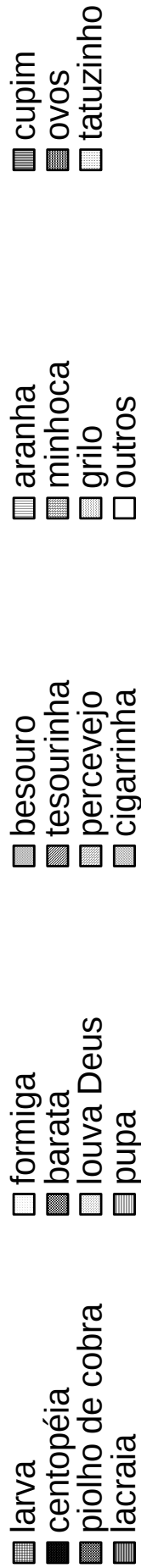


Figura 30. Representação percentual dos macroorganismos do solo nos tratamentos estudados na camada de 0,05-0,10 m, janeiro/2007, Selvíria, MS.



Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronum fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCEJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Bracharia decumbens*+lodo de esgoto.

Figura 31. Representação percentual dos macroorganismos do solo nos tratamentos estudados na camada de 0,10-0,15 m, janeiro/2007, Selvíria, MS

Em 2006 o solo já apresentou alterações favoráveis ao incremento de macrorganismos (Tabela 20), sendo que, numa análise considerando o comportamento nas três camadas de solo estudadas, o tratamento com *Astronium fraxinifolium*+*Raphanus sativus* foi o que apresentou a menor população de macrorganismos.

Em 2007 (Tabela 21) a população de macrorganismos no tratamento com *Astronium fraxinifolium*+braquiária+lodo de esgoto superou, em números de indivíduos, a área de cerrado em 23 % na camada de 0,00-0,05 m; 242 % na camada de 0,05-0,10 e 147 % na camada de 0,10-0,15 m. Os demais tratamentos também apresentaram a maior população de macrorganismos do que os anos anteriores. A maior diversidade de espécies e maior número de indivíduos encontradas a cada ano nas parcelas estudadas confere com o encontrado por Oliveira, Castilho e Serrano (2005) (Tabelas 19 a 21). Os resultados mostram o aumento do número de indivíduos, sugerindo a capacidade da macrofauna em colonizar as áreas degradadas, ou seja, este novo ambiente que está se desenvolvendo. Esse aumento da densidade de população significa o estabelecimento dos grupos e, conseqüentemente, o crescimento e reprodução das espécies.

O acompanhamento por um período de três anos permitiu verificar a evolução da diversidade de grupos anualmente, com incremento na maioria no tratamento com lodo de esgoto. Como indicadores da qualidade do solo, verificou-se que Formicidae aparece como os primeiros colonizadores do solo em recuperação (Figuras 23 a 31). Essa colonização pode sugerir que, esse grupo, é um indicador de estresse, porque coloniza as áreas quando estas não apresentam condições adequadas de sobrevivência, sobretudo cobertura de serapilheira. Enquanto Haplodaxia (minhoca) indica qualidade do solo, porque esses indivíduos são encontrados em grande quantidade no cerrado diferente da área degradada, ocorrendo apenas no tratamento com lodo de esgoto+braquiária, onde as condições do solo começam a aproximar da mata nativa, exemplificando-se a cobertura pela braquiária e conseqüentemente como oferta de alimento e baixa temperatura. As minhocas ingerem, de maneira seletiva, uma grande quantidade de material orgânico e mineral e sua atividade conduz a produção de estruturas que influem, diretamente, em propriedades físicas do solo como o aumento da porosidade e a aeração, melhorando a estabilidade estrutural que inclui a formação de macroagregados e microagregados (URBANEK; DOLEZAL, 1992).

Estudando a capacidade da macrofauna de colonizar áreas revegetadas de exploração de gás, Oliveira (2005) encontrou a maior diversidade de grupos na jazida revegetada com gramíneas e forrageira, enquanto a menor diversidade foi no plantio de espécies arbóreas.

Enquanto nas jazidas havia uma importante cobertura do solo, no plantio com espécies arbóreas o solo estava descoberto em quase sua totalidade. Essa situação favoreceu as duas áreas de jazidas, permitindo a colonização pela macrofauna e maior diversidade de grupos. No presente estudo, pode-se observar que o tratamento com a presença da braquiária, como cobertura do solo, também apresentou o melhor desempenho na recuperação da macrofauna se comparado com os tratamentos em que apenas foi plantado o gonçalo-alves.

Observando as Tabelas 19 a 21, é possível verificar que, de todos os tratamentos, a maioria dos indivíduos foram artrópodes, estando de acordo com Gabriel et al. (2006). Predominaram os insetos das ordens Hymenoptera e Isoptera. Na ordem Hymenoptera, representadas pelas formigas, foram as mais abundantes e, na ordem Isoptera, destacaram-se os cupins como representantes, concordando com Merlin et al. (2005) que encontrou 80% da fauna de formigas sob cobertura de grama batatais.

Além do número de indivíduos, a diversidade e equitabilidade são características da população de macrorganismos que também devem ser analisadas. Nas Tabelas 19 a 21 pode-se observar os números totais de indivíduos e os números totais de espécies, por tratamento. O tratamento que mais se aproximou das condições do cerrado foi o tratamento com *Astronium fraxinifolium*+Braquiária+lodo de esgoto, em todos os anos e camadas de solo analisados (Figuras 23 a 31). No tratamento com *Astronium fraxinifolium*+braquiária+lodo de esgoto, a diferença foi devido à presença de larvas, formigas e besouros, o que significa que está sendo melhor na recuperação da macrofauna do solo. Isso pode ser explicado pela presença de larva (coró ou pão-de-galinha), pois segundo Uzêda (1999) a presença da *Brachiaria decumbens* favorece a diminuição da temperatura do solo, manutenção de sua umidade e é fonte de alimento para a macrofauna do solo. Correia e Andrade (2005) mencionam que, quanto mais diversa for a cobertura vegetal, maior será a diversidade das comunidades de fauna. Conseqüentemente, segundo Moço et al. (2005) surgirá uma colonização de várias espécies de fauna do solo com estratégias diferentes de sobrevivência.

A camada de 0,00-0,05 m, em todos os anos, foi a que apresentou sempre o maior número de indivíduos, o mesmo foi encontrado por Baretta, Santos e Mafra (2006) em um estudo também com metodologia de catação manual, evidenciando maior densidade e diversidade de animais da macrofauna na camada superficial de 0,00-0,10m de profundidade e mostrando uma metodologia apropriada para estudos que envolvem a distribuição dos animais no perfil.

No tratamento com *Astronium fraxinifolium*+braquiária+lodo de esgoto, a cobertura proporcionada pela braquiária está favorecendo o aparecimento de maior número de organismos, bem como também de diferentes grupos. As coberturas vegetais geralmente formam uma camada espessa de folhas mortas, com vários estratos de matéria fresca e em decomposição, capaz de abrigar uma fauna mais diversificada (CANTO, 2000).

Por outro lado, a testemunha (área degradada sem manejo para recuperação) foi o tratamento que apresentou menor diversidade. Nesse tratamento, o solo se encontra desprotegido, com baixa ocorrência de vegetação espontânea, baixa infiltração de água, alta densidade do solo e baixa porosidade. No sistema do solo, as coberturas substituem o litter original, sendo um misto de alimento e habitat. Um aumento na disponibilidade de energia associada à existência de novos habitats favoráveis à colonização contribui para um aumento da densidade e diversidade de todos os grupos da fauna de solo (TAKEDA, 1995). O contrário ocorre quando o solo não dispõe de condições favoráveis aos organismos.

Na Tabela 22 pode-se observar os índices de diversidade de Shannon e os índices de equitabilidade de Pielou. Quanto maior o índice de Shannon, maior a diversidade da população de macrorganismos e o índice de Pielou quanto mais próximo de 1 maior a equitabilidade da população. No ano de 2005, na camada de 0,00-0,05 m, o índice de Shannon foi maior no tratamento AFRS/AFCJ e também foi o que mais se aproximou de 1 (índice de Pielou). Isso significa maior diversidade e equitabilidade. Observando-se a Tabela 19, nota-se que o total de indivíduos foi pequeno nesse tratamento, mas, o total de espécies foi igual ao tratamento *Astronium fraxinifolium*+braquiária+lodo de esgoto e semelhante ao solo de cerrado. De forma geral, a testemunha foi o tratamento que apresentou os menores índices, o tratamento AFCE em profundidade no solo mostrou ter a população de macrorganismos mais diversificada e equitativa e o tratamento AFLE nos três anos de estudos foi o mais estável quanto à população de macrorganismos, tanto em diversidade quanto em equitabilidade (Tabela 22).

Em uma área de baixa fertilidade natural e consorciada com capim, Dias et al. (2006) encontraram valores de diversidade de 1,10 para orelha-de-negro, 1,05 para Jacarandá e 0,81 para angico-canjiquinha e equitabilidade 0,30, 0,28 e 0,19 respectivamente. Valores bem próximos dos encontrados para a espécie arbórea estudada *Astronium fraxinifolium*, representado também pela maioria Formicidae. Baretta, Santos e Mafra (2006), para uma área com pastagem de grama, encontraram H de 1,57 e o índice de Pielou de 1,64.

Tabela 22. Índices de diversidade de Shannon (H) e índice de equitabilidade de Pielou (E) aplicado aos tratamentos em cada camada de solo em três anos consecutivos, Selvíria, MS.

Época 2005	Camada (m)					
	0,00-0,05		0,05-0,10		0,10-0,15	
Tratamento	H	E	H	E	H	E
TEST	0,00	0,00	0,90	0,82	0,35	0,50
CERR	0,95	0,53	0,58	0,32	0,52	0,32
AF	1,09	0,79	0,00	0,00	0,67	0,34
AFCE	0,56	0,81	1,04	0,95	0,97	0,89
AFRS/AFCJ	1,52	0,95	0,64	0,92	0,90	0,82
AFLE	1,12	0,69	0,89	0,81	1,27	0,92
Época 2006	Camada (m)					
	0,00-0,05		0,05-0,10		0,10-0,15	
Tratamento	H	E	H	E	H	E
TEST	0,56	0,28	0,67	0,34	0,85	0,28
CERR	1,69	0,77	1,32	0,63	0,85	0,61
AF	1,11	0,62	1,19	0,74	0,79	0,72
AFCE	0,87	0,79	0,19	0,28	0,44	0,40
AFRS/AFCJ	0,60	0,86	0,64	0,92	0,60	0,86
AFLE	1,52	0,78	0,96	0,69	0,79	0,72
Época 2007	Camada (m)					
	0,00-0,05		0,05-0,10		0,10-0,15	
Tratamento	H	E	H	E	H	E
TEST	0,88	0,55	1,40	0,87	0,68	0,62
CERR	0,73	0,33	2,06	0,86	1,44	0,60
AF	1,26	0,65	1,22	0,76	1,25	0,90
AFCE	1,24	0,77	1,40	0,72	1,60	0,89
AFRS/AFCJ	1,50	0,93	1,23	0,89	1,16	0,84
AFLE	1,50	0,63	1,22	0,59	0,62	0,45

Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

4.4. Propriedades das plantas

4.4.1. Altura e diâmetro das plantas de gonçalo-alves

Observou-se diferença significativa entre os dados de altura e diâmetro de plantas de *Astronium fraxinifolium* obtidos nos diferentes tratamentos (Tabelas 23 e 24). Houve interação significativa entre tratamentos e épocas de avaliação. Quanto à altura de plantas, somente o tratamento AFLE é que continua ao longo do tempo, favorecendo o desenvolvimento das plantas, enquanto os demais tratamentos a partir de 14 meses de idade

Tabela 23. Valores médios de altura de plantas de gonçalo-alves nos tratamentos estudados, em diferentes épocas após o plantio.

Tratamento	Época (meses)				
	3	8	14	23	35
	Altura (cm)				
AF	16,2 bB	16,8 bB	36,2 aB	40,2 aC	41,8 aB
AFRS/AFCJ	18,2 bB	20,0 bB	42,4 aB	53,8 aB	52,0 aB
AFCE	16,0 bB	17,0 bB	43,0 aB	52,0 aBC	54,2 aB
AFLE	23,4 dA	27,2 dA	100,4 cA	135,4 bA	163,4 aA
Teste F ⁽¹⁾	Tratamento = 208,19*		Época = 358,38*	Época x trat= 75,63*	
CV (%)	21,53 (trat)		14,41 (época)		

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey no nível de 5 %.

Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

Tabela 24. Valores médios de diâmetro das plantas de gonçalo-alves nos tratamentos estudados, em diferentes épocas após o plantio.

Tratamento	Época (meses)				
	3	8	14	23	35
	Diâmetro (cm)				
AF	0,40 bA	0,64 bA	1,32 aB	1,57 aB	1,60 aB
AFRS/AFCJ	0,44 cA	0,66 bcA	1,20 abB	1,66 aB	1,76 aB
AFCE	0,40 cA	0,60 cA	1,18 bB	1,56 abB	1,80 aB
AFLE	0,52 dA	0,84 dA	2,24 cA	3,80 bA	4,60 aA
Teste F ⁽¹⁾	Tratamento = 56,95*		Época = 161,95*	Época x trat = 22,74*	
CV (%)	33,33 (trat)		22,35 (época)		

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey no nível de 5 %.

Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

das plantas até a avaliação de 35 meses não apresentou diferenças no crescimento. Colodro e Espíndola (2006) mencionam que a vantagem do uso de lodo de esgoto, em relação aos fertilizantes minerais, consiste em proporcionar, de forma contínua, a liberação de nutrientes para o solo (principalmente P e N) e para o sistema radicular das árvores ao longo de vários anos, garantindo a manutenção do teor desse elemento nas folhas, com reflexo positivo na produtividade, concordando com Zabowski e Henry (1994).

Do ponto de vista químico, com relação ao fornecimento de nutrientes essenciais aos vegetais, os maiores benefícios do lodo esgoto estão no fornecimento de N, P e Ca. Nos primeiros cultivos a eficiência do lodo de esgoto, como fonte de P, em comparação com o adubo fosfatado solúvel em água, varia de 20 a 80 % dependendo do tipo de solo, clima e cultura, acrescentando que o P do lodo de esgoto, com baixa relação C/P, possui maior efeito residual quando comparado aos superfosfatos (MELO; MARQUES, 2000).

Desde a primeira avaliação, aos três meses após o plantio, a altura de plantas foi maior no tratamento AFLE, estando aos 35 meses após o plantio 121,6 cm maior do que as plantas no tratamento testemunha (Tabela 23). Para o diâmetro das plantas não houve diferença entre os tratamentos até oito meses de idade, a partir desta idade o tratamento AFLE se destacou, estando aos 35 meses após o plantio, com diâmetro 3,0 cm maior do que o diâmetro das plantas do tratamento testemunha. Entre os demais tratamentos não houve diferença significativa. Esses resultados concordam com os obtidos por Colodro (2005) e Campos (2006), pois 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). Também Rocha, Gonçalves e Moura (2004) corroboram com os resultados encontrados nesta pesquisa, pois a adição do lodo de esgoto, dose de 12 t ha⁻¹, influenciou positivamente a nutrição das plantas, gerando produção de madeira semelhante à obtida no tratamento que só recebeu adubação mineral.

Até os oito meses não houve diferença estatística entre as épocas tanto para altura como para diâmetro em todos os tratamentos (Tabelas 23 e 24), sendo a maior taxa de crescimento obtida, foi com as árvores atingindo até 180 cm. A distribuição dos diâmetros de cada tratamento ao longo dos 39 meses também indica a influência da presença do lodo de esgoto sobre o diâmetro das árvores. A taxa de crescimento das plantas durante o período estudado no tratamento com lodo de esgoto foi maior que os 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.

A utilização de sistemas agroflorestais tem sido, nas últimas décadas, bastante difundida como alternativa para recuperação de áreas degradadas, atribuindo-se à combinação de espécies arbóreas com culturas agrícolas para a melhoria nas propriedades físico-químicas de solos degradados, bem como na atividade de macro e microrganismos, considerando a possibilidade de um grande número de fontes de MO (MENDONÇA; LEITE; FERREIRA NETO, 2001; REINERT, 1998). Esses sistemas, embora não restaurem aspectos importantes das comunidades florestais, como estrutura e biodiversidade, podem, se bem planejados, aproximar-se ecologicamente dessas comunidades, recuperando funções essenciais para a sustentabilidade, como a ciclagem de nutrientes, além de fornecerem alguma renda ou produção de subsistência ao produtor rural (MACDICKEN; VERGANA, 1990).

O gonçalo-alves possui grande importância econômica, pois produz madeira de excelente qualidade, muito usada na construção civil e naval (AGUIAR et al., 2002). Os resultados encontrados para o tratamento AFLE quanto ao desenvolvimento da planta de gonçalo-alves demonstra 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 MO e reciclagem de nutrientes.

4.4.2. Massa seca dos adubos verdes e da braquiária

A produtividade de massa seca dos adubos verdes e da braquiária (Tabelas 25 e 26) foi baixa em 2004 e 2005, principalmente para o feijão-de-porco em 2004, devido às condições de estiagem e do próprio solo degradado. Paulino, Beisman e Ferrari Junior (1995) verificaram por corte da *Brachiaria decumbens*, após 89 dias de cultivo, a produção de 5.000 kg ha⁻¹, enquanto Alves (2001), num solo em recuperação há sete anos, verificou produção de 7.000 kg ha⁻¹, porém sem haver corte da fitomassa no ano. Portanto, analisando os resultados referentes à massa seca, nos anos de estudo, para a braquiária, nota-se que o solo está respondendo às ações de recuperação. Da mesma forma, o feijão-de-porco, no segundo ano produziu 2,5 vezes mais massa seca do que no primeiro ano. Comparando as massas secas produzidas e que estão sendo adicionadas ao solo houve diferença entre os tratamentos e épocas de avaliação (Tabelas 25 e 26) sendo que a braquiária produziu mais massa seca do

que o feijão-de-porco. 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 (JORGE; LOURENÇÃO; ARANHA, 1990).

Em 2006 e 2007, o aporte de massa seca ao solo foi maior no tratamento com a braquiária (Tabela 26). Os adubos verdes, feijão-de-porco e crotalária produziram massa seca inferior à produtividade média que se tem obtido para solos em condições naturais. Suzuki e Alves (2006) verificaram produtividade de massa seca da crotalária, como planta de cobertura, em solo de cerrado de 9.800 kg ha⁻¹ e Jorge, Lourenção e Aranha (1990) mencionam que a mesma pode produzir de 10.000 a 15.000 kg ha⁻¹ de massa seca.

O tratamento com braquiária foi o que melhor respondeu apresentando melhor produtividade de massa seca comparado aos demais tratamentos de recuperação seja com nabo forrageiro, feijão de porco ou crotalária em todos os anos. Nesse sentido, Favaretto et al. (2000) em seu trabalho também concluiu que as gramíneas mostram grande potencial produtivo em solos degradados em processo de recuperação, no entanto aconselha a realização de correção de acidez e adubação NPK.

Tabela 25. Valores médios de produtividade de massa seca do adubo verde e braquiária em 2004 e 2005. Selvíria, MS.

Época	Tratamento	
	AFCE	AFLE
	Massa seca (kg ha ⁻¹)	
2004	352 bA	4.255 aA
2005	886 bA	8.065 aB
Teste F ⁽¹⁾	Tratamento = 1057,06 * Época = 28,19* Época x trat= 16,03*	
CV (%)	11,24 (trat) 26,99 (época)	

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey no nível de 5 %.

Legenda: AFCE= *Astronium fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*; AFLE= *Astronium fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

Tabela 26. Valores médios de produtividade de massa seca do adubo verde e braquiária em 2006 e 2007. Selvíria, MS.

Época	Tratamento		
	AFCE	AFRS/AFCJ	AFLE
	Massa seca (kg ha ⁻¹)		
2006	1.176 abA	711 bA	3.046 aB
2007	756 bA	550 bA	12.987 aA
Teste F ⁽¹⁾	Tratamento = 131,81* Época = 33, 65* Época x trat = 39,98*		
CV (%)	35,92 (trat) 46,20 (época)		

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey no nível de 5 %.

Legenda: AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE= *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

A associação entre o desenvolvimento vegetal e a atividade macro e microbiana é um fator importante na recuperação dos solos degradados. Outro fator positivo é presença de fungos micorrízicos arbusculares nativos, que contribuem significativamente para o estabelecimento de gramíneas nos solos de cerrado e de áreas degradadas (MARTINS; MIRANDA; MIRANDA, 1999). Importante para a recuperação do solo estudado os resultados obtidos com o tratamento AFLE, pois está havendo a interação entre o efeito do lodo de esgoto e a contribuição do sistema radicular, aporte de massa seca e presença de fungos arbusculares nativos, devido à braquiária.

O potencial de produtividade da *Brachiaria decumbens* é 1.200 até 19.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de massa seca, dependendo das condições climáticas a que é submetida (PIZARRO et al., 1996). A área em recuperação, do presente estudo, está com produtividade de massa seca de *Brachiaria decumbens* Stapf de 7.088 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (média dos 4 anos). Por se tratar de um subsolo exposto, esse resultado significa que o subsolo está recuperando as suas propriedades, adquirindo capacidade para o desenvolvimento de *Brachiaria decumbens*.

5. CONCLUSÕES

Após três anos de uso de adubos verdes e o emprego de uma aplicação de lodo de esgoto num Latossolo Vermelho degradado pela decapagem de 8,60 m, conclui-se que:

- as propriedades físicas do solo estão sendo recuperadas, ao longo do tempo, sendo que para a macroporosidade do solo, os tratamentos com o uso de adubo verde estão sendo mais eficientes, provavelmente por associarem a mobilização do solo e a adição de massa seca dos mesmos;
- o tratamento com *Astronium fraxinifolium*+*Canavalia ensiformes* em profundidade no solo mostrou ter a população de macrorganismos mais diversificada e equitativa e o tratamento *Astronium fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens* +lodo de esgoto nos três anos de estudos foi o mais estável quanto à população de macrorganismos, tanto em diversidade quanto em equitabilidade;
- as propriedades químicas do solo foram melhoradas e o tratamento com *Astronium fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto foi o melhor nos aumentos dos teores de P, MO, K e CTC do solo;
- a *Brachiaria decumbens* apresenta maior rendimento de massa seca comparada ao feijão-de-porco e a crotalária;
- a adubação orgânica com lodo de esgoto associada à braquiária é mais eficiente no desenvolvimento de plantas de *Astronium fraxinifolium* Schott no solo estudado e, em três anos de estudo, está com a taxa de crescimento anual significativa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, A. V., SILVA, A. M., MORAES, M. L. T., FREITAS, M. L. M., BORTOLOZZO, F. R., SILVA, F. F. Implantação de espécies nativas para recuperação de áreas degradadas em região de cerrado. **Revista Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v.11, n.1, p.43-51, 2002.
- ALBUQUERQUE, J. A., ARGENTON, J., BAYER, C., WILDNER, L. P., KUNTZE, A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.3, p.415-424, 2005.
- ALCÂNTARA, F. A., FURTINI NETO, A. E., PAULA, M. B., MESQUITA, H. A., MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um latossolo vermelho-escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.2, p.277-288, 2000.
- ALVES, M. C. **Recuperação do subsolo de um latossolo vermelho usado para terrapleno e fundação da usina hidrelétrica de Ilha Solteira - SP**. Ilha Solteira, 2001. 83 f. Tese (Livre docência em Agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.
- ALVES, M. C., SUZUKI, L. E. A. S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.26, n.1, p.27-34, 2004.
- ANDRADE, C. A., OLIVEIRA, C., CERRI, C. C. Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em latossolo tratado com biossólidos e cultivado com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.1, p.803-816, 2005.
- ANDREOLA, F., COSTA, L. M., OLSZEWSKI, N., JUCKSCH, I. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral influenciando a sucessão feijão/milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p.867-874, 2000.
- ANDREOLI, C. V., PEGORINI, E. S., FERNANDES, F. Disposição do lodo de esgoto no solo. In: ANDREOLI, C. V., VON SPERLING, M., FERNANDES, F. (Ed). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, SANEPAR, 2001. p.319-395.
- ANGERS, D. A., MEHUYS, G. R. Aggregate stability to water. In: CARTER, M. R. ed. **Soil sampling and methods of analysis**. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, 2000. p.529-539.
- ARATO, H. D., MARTINS, S. V., FERRARI, S. H. S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.5, p.715-721, 2003.
- ARAÚJO, M. A., TORMENA, C. A., SILVA, A. P. A. Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.337-345, 2004.

BARBOSA, L. M. **Manual para recuperação de áreas degradadas do estado de São Paulo**: Matas ciliares do interior paulista. São Paulo: Instituto de Botânica, 2006a. 128p.

BARBOSA, L. M. Recuperação florestal de áreas degradadas no Estado de São Paulo: Histórico, situação atual e projeções. In: BARBOSA, L. M. c. ed. **Manual para recuperação de áreas degradadas do estado de São Paulo**: Matas ciliares do interior paulista. São Paulo: Instituto de Botânica, 2006b. p.4-25.

BARETTA, D., SANTOS, J. C. P., MAFRA, A. L. Fauna edáfica avaliada por armadilhas e catação manual afetada pelo manejo do solo e região oeste catarinense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.11, p.1675-1679, 2006.

BARRETO, A. C., FERNANDES, M. F. Cultivo de *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* em alamedas visando a melhoria dos solos dos tabuleiros costeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.10, p.1287-1293, 2001.

BERTOL, I., AMARAL, A. J., VAZQUEZ, E. V. Relações da rugosidade superficial do solo com o volume de chuva e com a estabilidade de agregados em água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.3, p.543-553, 2006.

BORGES, M. R., COUTINHO, E. L. M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido: II - Disponibilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p.557-568, 2004.

CAMARGO, F. A. O., GIANELLO, C., TEDESCO, M. J., VIDOR, C. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G. d. A., CAMARGO, F. A. O. (Ed). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.117-137.

CAMARGO, O. A., CASTRO, O. M., VIEIRA, S. T., QUAGGIO, J. A. Alteração de atributos químicos do horizonte superficial de um latossolo e um podzólico com a calagem **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.54, p.1-2, 1997.

CAMILOTTI, F., ANDRIOLI, I., DIAS, F. L. F., CASAGRANDE, A. A., DA SILVA, A. R., MUTTON, M. A., CENTURION, J. F. Efeito prolongado de sistemas de preparo do solo com e sem cultivo de soqueira de cana crua em algumas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.189-198, 2005.

CAMPOS, F. S. **Uso do lodo de esgoto na reestruturação de um lassotolo vermelho degradado**. Ilha Solteira, 2006. 105 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Departamento de Engenharia Rural e Solos, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

CANTO, A. C. Alterações da mesofauna do solo causadas pelo uso de cobertura com plantas leguminosas na Amazônia Central. **Série Ciências Agrárias**, Manaus, v.4/5, n.1, p.79-94, 2000.

CARPANEZZI, A. A. Benefícios indiretos da floresta. In: GALVÃO, A. P. M. ed. **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais**. Colombo: EMBRAPA-Florestas, 2000. p.19-56.

CARPANEZZI, A. A., KAGEYAMA, C., CASTRO, C. F. A. Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas: observação de laboratório naturais. In: Congresso Florestal Brasileiro, 6, 1992, Campos de Jordão (SP). **Anais** Campos de Jordão (SP): Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1992. p.16-21.

CARPENEDO, V., MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, p.99-105, 1990.

CARVALHO, J. E. B., LOPES, L. C., ARAÚJO, A. M. A., SOUZA, L. S., CALDAS, R. C., DALTRO JR, C. A., CARVALHO, L. L., OLIVEIRA, A. A. R., SANTOS, R. C. Leguminosas e seus efeitos sobre as propriedades físicas do solo e produtividade do mamoeiro 'Tainung1'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.335-338, 2004.

CASTRO, O. M., MARIA, I. C., NASCIMENTO, P. C. Influência da cobertura morta do solo de plantas daninhas, temperatura e umidade do solo em diversos tipos de preparo. In: ENCONTRO PAULISTA DE PLANTIO DIRETO, 2, 1989, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ/ESALQ/USP, 1989. p.167.

CHIBA, M. K. **Uso de lodo de esgoto na cana-de-açúcar como fonte de nitrogênio e fósforo: parâmetros de fertilidade do solo, nutrição da planta e rendimentos da cultura**. Piracicaba, 2005. 142 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

CHUEIRI, W. A., SERRAT, B. M., BIELI, J., FAVARETTO, N. Lodo de esgoto e fertilizante mineral sobre parâmetros do solo e de plantas de trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.5, p.502-508, 2007.

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

COLODRO, G., ESPÍNDOLA, C. R. Alterações na fertilidade de um latossolo degradado em resposta à aplicação de lodo de esgoto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.28, n.1, p.1-15, 2006.

CÔRREA, R. S., CARDOSO, E. S. Espécies testadas na revegetação das áreas degradadas. In: Côrrea, R. S., Melo Filho, B. (Ed). **Ecologia e recuperação de áreas degradadas no cerrado**. Brasília, DF: Paralelo 15, 1998. p.101-107.

CORREIA, M. E. F., ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A., CAMARGO, F. A. O. (Ed). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, RS: Genesis, 2005. p.197-225.

D'ALTERIO, C. F. V., VALCARCEL, R. Medidas físicos biológicas de recuperação de áreas degradadas: avaliação das modificações edáficas e fitossociológicas. **Revista Floresta & Ambiente**, Seropédica, v.5, n.1, p.68-88, 1998.

DE MARIA, I. C., KOCSSI, M. A., DECHEN, S. C. F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.2, p.291-298, 2007.

DEMATTE, J. L. I. **Levantamento detalhado dos solos do Campus Experimental de Ilha Solteira**: Piracicaba: ESALQ-USP, 1980. 114p.

DIAS, L. E. Caracterização de substratos para fins de recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3, 1998, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas/UFV, 1998. p.44-57.

DIAS, L. E., GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, L. E., MELLO, J. W. V. (Ed). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa/Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p.1-7.

DIAS, P. F., SOUTO, S. M., CORREIA, M. E. F., ROCHA, G. P., MOREIRA, J. F., RODRIGUES, K. M., FRANCO, A. A. Árvores fixadoras de nitrogênio e macrofauna do solo em pastagem de híbrido de *Digitaria*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.6, p.1015-1021, 2006.

DUARTE, R. M. R., BUENO, M. S. G. Fundamentos ecológicos aplicados à RAD para matas ciliares do interior paulista **MANUAL PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS DO ESTADO DE SÃO PAULO: Matas Ciliares do Interior Paulista**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2006. p.30-41.

DUFRANC, G., DECHEN, S. C. F., FREITAS, S. S., CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no estado de São Paulo. **Revista Brasileira e Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p.505-517, 2004.

DURIGAN, G. Revegetação em áreas de cerrado. In: Simpósio IPEF – A reengenharia e seus impactos no desenvolvimento científico e tecnológico do setor florestal, 6, 1996, São Pedro, SP. **Anais...** São Pedro, SP, 1996. p.23-26.

DURIGAN, G., FRANCO, G. A. D. C., PASTORE, J. A., AGUIAR, O. T. Regeneração natural da vegetação de cerrado sob floresta de *Eucalyptus citriodora*. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.9, n.1, p.71-85, 1997.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**: 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**: Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa do Solo, 1999. 412p.

EMBRAPA. **Recuperação de Áreas Degradadas** Seropédica, RJ: 2007. Disponível em: <http://www.cnpab.embrapa.br/imprensa/releases/pauta_areas_degradadas.html>. Acesso em: 20/05 2007.

ENGEL, V. L., MASSOCA, P. E. S., PATRÍCIO, A. L., MUNHOZ, M. O. Implantação de espécies nativas em solos degradados a través de semeadura direta. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS – ÁGUA E BIODIVERSIDADE, 5, 2002, Belo Horizonte, MG. **Anais...** Belo Horizonte, MG: SOBRADE, 2002. p.407-409.

FAO. Forest Resouces Assessment 1990: Global Synthesis. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS: Roma: Paper, 1995. (Boletim, 124).

FAVARETTO, N., MORAES, A., MOTTA, A. C. V., PREVEDELLO, B. M. S. Efeito da revegetação e da adubação de área degradada na produção de matéria seca e na absorção de nutrientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.2, p.299-306, 2000.

FERNANDES, R. C. **Recuperação de propriedades físicas de um solo degradado usando adubo verde e lodo de esgoto**. Ilha Solteira, 2007. 55 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Departamento de Fitossanidade Engenharia Rural e Solos, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.

FERREIRA, W. C., BOTELHO, S. A., DAVID, A. C., FARIA, J. M. R. Avaliação do crescimento do estrato arbóreo de área degradada revegetada à margem do rio grande, na usina hidrelétrica de Camargos, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.1, p.177-185, 2007.

FRANCHI, J. G. **Aplicação de turfa na recuperação de solos degradados pela mineração de areia**. São Paulo, 2000. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Departamento de Engenharia de Minas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FRANCHINI, J. C. L., GONZALEZ-VILA, F. J., CABRERA, F., MIYAZAWA, M., PAVAN, M. A. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.231, n.1, p.55-63, 2001.

GABRIEL, D., SILOTO, R. C., MAZZEO, A. N., CAMPOS-FARINHA, A. E. C., IDE, S. Efeito do uso do lodo de esgoto sobre os artrópodes do solo em cultura de milho *Zea mays* L. In: REUNIÃO ANUAL DO INSTITUTO BIOLÓGICO, 19, 2006, São Paulo. **Anais...** São Paulo: O Biológico, 2006. p.228.

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

GEF. **Operational Program on Sustainable Land Mangement**. 2006. Disponível em: <http://gefweb.org/Operational_Policies/Operational_Programs/OP_15_English.pdf>. Acesso em: 1 jun 2006.

GOMES, S. B. V., NASCIMENTO, C. W. A., BIONDI, C. M., ACCIOLY, A. M. A. Alterações químicas em argissolo tratado com lodo de esgoto. **Caatinga**, Mossoró, v.18, n.3, p.185-194, 2005.

GUEDES, M. C., ANDRADE, C. A., POGGIANI, F., MATTIAZZO, M. E. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.1, p.267-280, 2006.

IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação** Brasília: MINTER/IBAMA, 1990. 96p.

JORGE, J. A., LOURENÇÃO, A. L., ARANHA, C. Instruções agrícolas para o estado de São Paulo. 5.ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1990. 23p. (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 lodo de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15, p.237-240, 1991.

KRONKA, F. J. N., NALON, M. A., MATSUKUMA, C. K., PAVÃO, M., GUILLAUMON, J. R., CAVALLI, A. C., GIANNOTTI, E., YWANE, M. S. S. I., LIMA, L. M. P. R., MONTES, J., CALI, I. H. D., HAAK, P. G. **Áreas de domínio de cerrado do Estado de São Paulo**: São Paulo: Secretaria do Estado do Meio Ambiente, 1998. 84p.

LARA, A. I., ANDREOLLI, C. V., PEGORINI, E. S. Avaliação dos impactos e monitoramento da disposição final do lodo. In: ANDREOLI, C. V., SPERLING, M. V., FERNANDES, F. (Ed). **Lodo de esgoto**: tratamento e disposição final, princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte, MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. p.462-482.

LEÃO, A. B., ANDRADE, A. R. S., CHAVES, L. H., CHAVES, I. B., GUERRA, H. O. C. Variabilidade espacial de fósforo em solo do perímetro irrigado Engenheiro Arcoverde, PB. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.38, n.1, p.1-6, 2007.

LEITE, L. L., MARTIN, C. R., HARIDASAN, M. Propriedades físico-hídricas do solo de uma cascalheira e de áreas adjacentes com vegetação nativa de campo sujo e cerrado no Parque Nacional de Brasília. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2, 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Universidade Federal do Paraná e Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1992. p.392-399.

LEITE, L. L., MARTINS, C. R., HARIDASAN, M. Efeito da descompactação e adubação do solo na revegetação espontânea de uma cascalheira no Parque Nacional de Brasília. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2, 1994, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1994. p.527-534.

LINDSAY, B. J., LOGAN, T. J. Field response of soil physical properties to sewage sludge. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.27, n.3, p.534-542, 1998.

LOTT, C. P. M., BESSA, G. D., VILELA, O. Reabilitação de áreas e fechamento de minas. **Revista Brasil Mineral**, São Paulo, v.228, p.26-40, 2004.

MACDICKEN, K. G., VERGANA, N. T. Introduction to agroforestry. In: MACDICKEN, K. G., VERGANA, N. T. (Ed). **Agroforestry**: classification and management. New York: John Wiley and Sons, 1990. p.1-30.

MANTOVANI, W. Recuperação e monitoramento de ecossistemas: escalas de abordagem. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, 4, 1998, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1998. p.288-294.

MARTINS, C. R., MIRANDA, J. C. C., MIRANDA, L. N. Contribuição de fungos micorrízicos arbusculares nativos no estabelecimento de *Aristida seti folia* Kunth em áreas degradadas do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.4, p.665-674, 1999.

MARTINS, C. R., LEITE, L. L., HARIDASAN, M. Capim-gordura (*Melinis minutiflora* P. Beauv.), uma gramínea exótica que compromete a recuperação de áreas degradadas em unidades de conservação. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.5, p.739-747, 2004.

MELO, J. W. V., MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W., CAMARGO, O. A. (Ed). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.245-258.

MELO, J. W. V., MARQUES, M. O., SANTIAGO, G., CHELLI, R. A., LEITE, S. A. S. 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 de Ciência de Solo**, Viçosa, v.18, p.449-455, 1994.

MELO, V. P., BEUTLER, A. N., SOUZA, Z. M., CENTURION, J. F., MELO, W. J. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.1, p.67-72, 2004.

MELO, W. J., TSUTYIA, M. T., MARQUES, M. O., SOUZA, A. H. C. B. Nível de fertilidade em solos tratados com biossólido oriundo da Estação de Tratamento de Esgoto de Barueri, localizada na região metropolitana de São Paulo, e cultivados com milho. In: CONGRESSO IBEROMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2000.

MENDONÇA, E. S., LEITE, L. F. C., FERREIRA NETO, P. S. Cultivo de café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. **Revista Árvore**, Viçosa, v.25, n.3, p.375-383, 2001.

MERLIM, A. O., GUERRA, J. G. M., JUNQUEIRA, R. M., AQUINO, A. M. Soil macrofauna in cover of crops of figs grown under organic management. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.62, n.1, p.57-61, 2005.

MIRANDA, L. N., DE MIRANDA, J. C. C., REIN, T. A., GOMES, A. C. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.6, p.563-572, 2005.

MOÇO, M. K. S., GAMA-RODRIGUES, E. F., GAMA-RODRIGUES, A. C., CORREIA, M. E. F. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.555-564, 2005.

MORRETES, B. L. Potencialidades e restrições da regeneração natural na recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1, 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1992. p.8-16.

MOTTA NETO, J. A. **Avaliação do uso de forrageiras e de adubações na recuperação de propriedades químicas e físicas de um solo degradado pela mineração de xisto**. Londrina, 1995. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Solos, Universidade Federal do Paraná, Londrina, 1995.

MURAISHI, C. T. **Modificações de propriedades químicas e agregação de um latossolo de cerrado sob sistemas de cultivo e adubações orgânica e/ou mineral**. Ilha Solteira, 2006. 94 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

NASCIMENTO, C. W. A., BARROS, D. A. S., MELO, E. E. C. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.2, p.385-392, 2004.

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. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p.457-462, 2003.

NOFFS, P. S., GALLI, L. F., GONÇALVES, J. C. **Recuperação de áreas degradadas da Mata Atlântica: uma experiência da CESP**. 2.ed. São Paulo: Companhia Energética de São Paulo, 2000. 48p.

OLIVEIRA, E. P. Biodiversidade da macrofauna do solo em áreas de exploração da Petrobrás, na bacia do rio Urucu, Coari-AM. In: SIMPÓSIO NACIONAL E CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 6, 2005, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 2005. p.445-446.

OLIVEIRA, E. P., CASTILHO, A., SERRANO, M. B. Em busca de grupos da mesofauna do solo como bioindicadores de áreas reflorestadas com árvores nativas da Mineração Rio do Norte. In: SIMPÓSIO NACIONAL E CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 6, 2005, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 2005. p.452-453.

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

PAULINO, V. T., BEISMAN, D. A., FERRARI JUNIOR, E. Fontes de nitrogênio na recuperação de pastagens de *Brachiaria decumbens* durante o período da seca. **Pasturas Tropicais**, Cali, v.17, n.2, p.20-24, 1995.

PERECIN JUNIOR, H. **Propriedades físicas e químicas de um latossolo vermelho tratado com lodo de esgoto e cultivado com sorgo**. Ilha Solteira, 2005. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

PIELOU, E. C. **An introduction to mathematical ecology**: New York: Wiley-Interscience, 1969. 286p.

PIELOU, E. C. **Ecological diversity**: New York: Wiley-Interscience, 1975. 165p.

PINHEIRO, C. A. A. Avaliação dos processos erosivos de microbacias em áreas de empréstimo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E ÁGUA, 13, 2000, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: Monferrer Produções Ltda, 2000. p.222-223.

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., QUAGGIO, J. A. **Métodos de análises de solo para fins de fertilidade**: Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 31, (Boletim técnico)p.

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-Fundação IAC, 1997. p.30-35 (Boletim Técnico, 100).

REICHERT, J. M., REINERT, D. J., BRAIDA, J. A. Qualidade do Solo e Sustentabilidade: de Sistemas Agrícolas. **Revista Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v.27, n.1, p.29-48, 2003.

REINERT, D. J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris. In: DIAS, L. E., MELLO, J. W. V. (Ed). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: Sociedade brasileira de recuperação de áreas degradadas, Universidade Federal de Viçosa, 1998. p.163-176.

REIS, L. L. **Monitoramento da recuperação ambiental de áreas de mineração de bauxita na floresta Nacional de Saracá-Taquera, Porto Trombetas (PA)**. Seropédica, RJ, 2006. 159 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2006.

RESENDE, R. U. Programa de matas ciliares da secretaria do meio ambiente do estado de São Paulo **Manual para recuperação de áreas degradadas do estado de São Paulo**: matas ciliares do interior paulista. São Paulo: Instituto de Botânica, 2006. p.128.

ROCHA, G. N. **Monitoramento da fertilidade do solo, nutrição mineral e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido**. Piracicaba, 2002. 48 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

ROCHA, G. N., GONÇALVES, J. L. M., MOURA, I. M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalytus grandis* fertilizado com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.4, p.623-630, 2004.

RODRIGUES, G. B., MALTONI, K. L., CASSIOLATO, A. M. R. Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.1, p.73-80, 2007.

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: Sociedade brasileira de recuperação de áreas degradadas, 2002. p.202-204.

RODRIGUES, R. R. Restauração de áreas degradadas no estado de São Paulo: iniciativas com base nos processos ecológicos. In: REUNIÃO ANUAL DE PESQUISA AMBIENTAL, 5, 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2002. p.33-35.

RODRIGUES, R. R., GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R. R., LEITÃO FILHO, H. F. (Ed). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2001. p.235-258.

SAS INSTITUTE **Procedures guide for computers**: 6^a.ed. Cary NC: Institute SAS Inc., 1999. 373p.

SILVA, F. C., BOARETTO, A. E., BERTON, R. S., ZOTELLI, H. B., PEIXE, C. A. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: nutrientes, metais pesados e produtividade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.1, p.1-8, 1998.

SILVA, F. C., BOARETTO, A. E., BERTON, R. S., ZOTELLI, H. B., PEIXE, C. A., BERNARDES, E. M. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.5, p.831-840, 2001.

SILVA, I. F., MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilidade de agregação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.1, p.113-117, 1997.

SILVA, J. A. A., VITTI, G. C., STUCHI, E. S., SEMPIONATO, O. R. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranja-pêra. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.225-230, 2002.

SILVA JUNIOR, A. **Propriedades físico-químicas de um latossolo vermelho de cerrado sob adubações orgânica e mineral após 20 anos de pastagem**. Ilha Solteira, 2005. 77 f. Trabalho de Graduação (Monografia em Agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

SILVEIRA NETO, A. N., SILVEIRA, P. M., STONE, L. F., OLIVEIRA, L. F. C. Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.36, n.1, p.29-35, 2006.

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

SOARES, M. T. S. **Taxas de mineralização e de lixiviação do nitrogênio, e alterações da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo degradado e outro não-degradado fertilizados com biossólido e florestados com *Eucalyptus grandis***. Piracicaba, 2003. 142 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SOPPER, W. E. **Municipal sludge use in land reclamation**: New York: Lewis, 1993. 176p.

SORREANO, M. C. M. **Avaliação da exigência nutricional na fase inicial do crescimento de espécies florestais nativas**. Piracicaba, SP, 2006. 269 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) - Centro de Energia Nuclear, Universidade Paulista, Piracicaba, SP, 2006.

STOCKING, M., MURNAGHAN, N. **Land Degradation - Guidelines for field Assessment**. Norwich, UK: 2000. Disponível em: < www.unu.edu/env/plec >. Acesso em: maio 2007.

SUZUKI, L. E. A. S., ALVES, M. C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.1, p.121-127, 2006.

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

TAKEDA, H. Templates for the organization of collembola communities. In: EDWARDS, C. A., ABE, T., STRIGANOVA, B. R. (Ed). **Structure and function of soil communities**. Kyoto: Kyoto University, 1995. p.5-20.

TAMANINI, C. R. **Recuperação de áreas degradadas com a utilização de bio sólidos e gramínea forrageira**. Londrina, 2004. 181 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Departamento de Ciências agrárias, Universidade Estadual do Paraná, Londrina, 2004.

TEIXEIRA, S. T., MELO, W. J., SILVA, E. T. Aplicação de lodo da estação de tratamento de água em solo degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.1, p.91-94, 2005.

TOMÉ JÚNIOR, B. **Manual para interpretação de análise de solo**: Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.

TSUTUYA, M. T., COMPARINI, J. B., SOBRINHO, A. P., HESPANHOL, I., CARVALHO, P. C. T., MELFI, A. J. **Bio sólidos na agricultura**: São Paulo: SABESP, 2001. 89-131p.

UFRRJ. **Plano de recuperação de áreas de empréstimo**: Serviço de Engenharia Rodoviária S. A. Itaguaí, 1993. 87p.

URBANEK, J., DOLEZAL, F. Review of some case studies on the abundance and hydraulic efficiency of earthworm channels in Czechoslovak soils, with reference to the subsurface pipe drainage. **Soil Biology Biochemistry**, United Kingdom, v.24, n.12, p.1563-1571, 1992.

UZÊDA, M. C. **Parâmetros de solo como indicadores de sustentabilidade em um agroecossistema com morango (Fragaria x Anassa Duch), em São Roque**. Campinas, 1999. 105 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Departamento de Água e Solo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

VALCARCEL, R. Medidas físico-biológicas de recuperação de áreas degradadas: avaliação das modificações edáficas e fitossociológicas. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.5, n.1, p.68-88, 1998.

VALCARCEL, R., SILVA, Z. S. Eficiência conservacionista de medidas de recuperação de áreas degradadas: proposta metodológica. **Revista Floresta**, Curitiba, v.27, n.1/2, p.101-104, 2000.

VALLE, C. B., EUCLIDES, V. P. B., MACEDO, M. C. M. Características das plantas forrageiras do gênero Brachiaria. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 17, 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 2000. p.65-108.

VAZ, L. M. S., GONÇALVES, J. L. M. Uso de bio sólidos em povoamento de eucalipto, efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.3, p.747-758, 2002.

VIDAL, V. E., ALVES, M. C. Estudios de la macrofauna de un suelo tropical. In: BIENAL DE LA REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE HISTORIA NATURAL, 15, 2003, La Coruña. **Anais...** La Coruña: Real Sociedad Española de Historia Natural, 2003. p.44.

WANG, M. C., YANG, C. H. Type of fertilizer applied to a paddy-upland rotation affects selected soil quality attributes. **Geoderma**, Amsterdam, v.114, n.1-2, p.93-108, 2003.

ZABOWSKI, D., HENRY, C. L. Soil and foliar nitrogen after fertiliser treatment of *Pinus ponderosa*. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Washington, v.24, n.2/3, p.333-343, 1994.

ZHANG, M., FANG, L. Effect of tillage, fertilizer and green manure cropping on soil quality at an abandoned brick making site. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.93, n.1, p.87-93, 2004.