

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**“Atributos Físicos e Químicos de um Solo Degradado
Cultivado com Eucalipto e Braquiária após Reaplicação de
Biossólido”**

EDGAR BORTOLI DOS SANTOS

Orientador: Prof. Dr. Marlene Cristina Alves

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

Especialidade: Sistemas de Produção

Ilha Solteira – SP

DEZEMBRO/2009

FICHA CATALOGRÁFICA

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

- S237a Santos, Edgar Bortoli dos.
Atributos físicos e químicos de um solo degradado cultivado com eucalipto e braquiária após reaplicação de biossólido / Edgar Bortoli dos Santos. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2009.
69 f. : il.
- Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2009
- Orientador: Marlene Cristina Alves
Bibliografia: p. 61-69
1. Solos - Degradação. 2. Lodo de esgoto. 3. Físico-química do solo.
4. Condicionador de solo.



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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM SOLO DEGRADADO CULTIVADO COM EUCALIPTO E BRAQUIÁRIA APÓS REAPLICAÇÃO DE BIOSSÓLIDO

AUTOR: EDGAR BORTOLI DOS SANTOS

ORIENTADORA: Profa. Dra. MARLENE CRISTINA ALVES

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

Profa. Dra. MARLENE CRISTINA ALVES

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

Prof. Dr. HELIO RICARDO SILVA

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

Prof. Dr. CARLOS ROBERTO ESPINDOLA

Departamento de Engenharia Agrícola / Universidade Estadual de Campinas

Data da realização: 08 de dezembro de 2009.

Ofereço

A Deus, onipotente, sempre presente em minha vida, me dando perseverança e confiança, para execução dos trabalhos que me foram delegados no decorrer desta etapa.

Aos meus queridos

Pais, Raimundo e Dirce, pela amizade, amor fraternal, dedicação, simplicidade, honestidade e perseverança na educação dos Filhos.

Aos meus irmãos Erivelton e Márcia Aparecida, pelo apoio, amizade, solidariedade, confiança e dedicação.

À minha esposa Rosenilda e meu filho Gustavo, pelo amor, cumplicidade, fidelidade, confiança e apoio nos momentos de dificuldades.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Prof.^a Dr.^a Marlene Cristina Alves, pela orientação, compreensão, dedicação e confiança depositada.

Ao Prof. Dr. Hélio Ricardo Silva pela amizade, incentivo, apoio e confiança depositada.

À Empresa de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (SABESP), Sr. Erivelton Bortoli dos Santos (Gerente em Presidente Epitácio), pela doação do biossólido.

Aos técnicos de campo, Sr. Valdivino dos Santos e Jean Fernando dos Santos Sousa, pela amizade e pelo auxílio nas atividades de campo.

A todos os docentes da Faculdade de Engenharia (UNESP), Campus de Ilha Solteira que contribuíram para minha formação profissional.

Aos funcionários Ângela Maria Marcelino Kato e Domingos Pinto Carneiro, da Secretária do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, pela humildade, dedicação e eficiência na execução de suas atribuições.

Aos funcionários da Biblioteca e Seção de Pós-graduação da FE, Ilha Solteira, UNESP.

Aos meus amigos de pós-graduação: Ércio Proença, Lauro, Cleiton, Vagner, Carol, dentre outros.

A todos os docentes e discentes da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (Campus de Cassilândia), pela confiança depositada e apoio incondicional.

Enfim, a todos que contribuíram para a realização de mais um sonho, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	Páginas
1 INTRODUÇÃO.....	15
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 Disposição final do lodo de esgoto e reciclageagrícola.....	17
2.2 Riscos da utilização do bioossólido.....	19
2.2.1 Composição parasitológica do bioossólido.....	19
2.2.2 Contaminação por nitrato.....	21
2.2.3 Metais pesados ou elementos traços.....	22
2.3 Influência do bioossólido nos atributos físicos do solo.....	24
2.4 Influência do bioossólido nos atributos químicos do solo.....	26
2.5 A cultura do eucalipto e aplicação de bioossólido em culturas florestai.....	27
2.6 A cultura da braquiária e o papel das gramíneas na recuperação de solos degradados.....	29
 3 MATERIAL E MÉTODOS.....	 31
3.1 Localização do experimento.....	31
3.2 Caracterização da área antes da reaplicação do bioossólido.....	31
3.3 Histórico da área experimental (antes da reaplicação do bioossólido).....	33
3.4 Reaplicação do bioossólido (Experimentação em dezembro de 2008).....	33
3.5 Origem e caracterização do bioossólido reaplicado.....	35
3.6 Análise de agentes patogênicos.....	38
3.7 Cálculo da dose de bioossólido a ser aplicada.....	38
3.8 Forma de aplicação do bioossólido e da adubação mineral.....	39
3.9 Análise dos atributos físicos do solo.....	40
3.10 Análises químicas do solo.....	41

3.11 Análises das plantas de eucalipto e braquiária.....	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1 Efeito do biossólido nos atributos físicos do solo.....	43
4.2 Efeito do biossólido nos atributos químicos do solo.....	48
4.3 Efeito do biossólido na altura média do eucalipto.....	56
4.4 Efeito do biossólido no diâmetro altura do peito (DAP) do eucalipto.....	57
4.5 Efeito do biossólido na matéria fresca e seca da braquiária.....	58
5 CONCLUSÕES.....	60
6 REFERÊNCIAS.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabelas	Páginas
1. Limite máximo de concentração de agentes patogênicos no lodo de esgoto ou produto derivado, para aplicação agrícola.....	21
2. Limites máximos de concentração de substâncias inorgânicas nos lodos de esgoto ou produto derivado.....	24
3. Valores médios dos teores no solo de P, MO, pH, K, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC, e V%, antes da reaplicação de biossólido.....	34
4. Caracterização química do biossólido utilizado no experimento.....	37
5. Concentração de agentes patogênicos no biossólido utilizado no experimento.....	38
6. Teores de nutrientes disponibilizados pelo biossólido, no decorrer do ano, necessidade complementada com adubo mineral e excedente gerados pelo biossólido.....	39
7. Valores médios dos atributos físicos, teste F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS), obtida nas diferentes camadas de solo em relação aos tratamentos estudados, antes da reaplicação do biossólido (Tratamentos instalados há 6 anos).....	45
8. Valores médios dos atributos físicos, teste F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS), obtidos nas diferentes camadas de solo em relação aos tratamentos estudados, após a reaplicação do biossólido.....	46

9. Valores médios de teor de potássio P ,MO, pH, K, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC e V%, para os tratamentos estudados, nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, após a reaplicação do biossólido.....	50
10. Valores médios de teor de potássio P ,MO, pH, K, Ca, Mg, H+Al, SB,CTC e V%, para os tratamentos estudados, nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40m.....	52
11. Valores médios de altura do <i>Corymbia citriodora</i> , teste F, coeficiente de variação e (CV) e diferença mínima significativa (DMS) antes e após a reaplicação do biossólido.....	57
12. Valores do diâmetro altura do peito (DAP) de <i>Corymbia citriodora</i> , teste F, coeficiente de variação e (CV) e diferença mínima significativa (DMS) antes e após a reaplicação do biossólido.....	58
13. Valores médios de massa verde e seca de braquiária (kg ha^{-1}) na 1ª coleta (dezembro de 2008) e 2ª coleta (maio 2009), para os tratamentos estudados.....	59

LISTA DE FIGURAS

Figuras	Páginas
1. Imagem da área com localização do experimento, em destaque área degradada (área de empréstimo), no município de Selvíria, MS. Fonte: imagem adaptada do Google Earth (2008).....	31
2. Camada do perfil decaptado em área de empréstimo, em Selvíria, MS (2008).....	32
3 Tratamento com solo exposto na área de empréstimo, em Selvíria, MS. Fonte: Campos (2006).....	32
4. Área experimental e parcela experimental, em Selviria, MS. Fonte: imagem adaptado Google Earth (2008).....	35
5. Estação de tratamento de Esgoto (ETE), em Presidente Epitácio, SP (2008).....	35
6. Lodo verde (cru) em reservatório na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), em Presidente Epitácio-SP (2008).....	36
7. Lodo digerido (biossólido), após 90 dias de estabilização na Estação de tratamento de Esgoto (ETE), em Presidente Epitácio, SP (2008).....	36
8. . Distribuição manual do biossólido, Selvíria - MS (2008).....	40

9. Parcela com aplicação do $9,24 \text{ Mg ha}^{-1}$ (dobro da dose), sem incorporação, Selvíria, MS (2008).....40
10. Coleta amostras indeformadas, com anéis volumétricos (nas camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e de 0,20-0,40 m), Selvíria – MS (2008).....41

ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM SOLO DEGRADADO CULTIVADO COM EUCALIPTO E BRAQUIÁRIA APÓS REAPLICAÇÃO DE BIOSSÓLIDO

Autor: Edgar Bortoli dos Santos

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

RESUMO

O bioossólido é um composto passível de utilização agronômica, sendo fonte de nutrientes para as culturas e condicionador de solo. Neste sentido, desenvolveu-se um trabalho que teve por escopo estudar a influência da reaplicação de doses de bioossólido na recuperação de atributos físicos e químicos do solo e no desenvolvimento da cultura do eucalipto e da braquiária, num Latossolo Vermelho degradado. O estudo foi realizado cinco meses após a reaplicação do bioossólido, numa área em recuperação cultivada há seis anos com eucalipto e braquiária. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições, sendo: Solo cultivado com eucalipto e braquiária sem adição de insumos; Solo cultivado com eucalipto e braquiária com adubação mineral; Solo cultivado com eucalipto e braquiária com reaplicação de 4,64 Mg ha⁻¹ (base seca) de bioossólido; Solo cultivado com eucalipto e braquiária com reaplicação de 9,28 Mg ha⁻¹ (base seca) de bioossólido; Solo exposto (sem qualquer cultivo ou adubação); Solo com vegetação natural de Cerrado. Estudou-se nas camadas do solo de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e de 0,20-0,40 m, os atributos físicos: macroporosidade; microporosidade; porosidade total e a densidade do solo. Para os atributos químicos nas mesmas

camadas os teores de: P, MO, pH, K, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC e V%. Já para a cultura do eucalipto estudou-se a altura média de plantas e o diâmetro a altura do Peito (DAP) e na braquiária a massa fresca e seca. Verificou-se que a replicação do bio sólido está recuperando o solo tanto em relação aos atributos físicos como químicos, sobretudo nas camadas mais superficiais, e que a maior dose influencia no desenvolvimento do eucalipto. Não foi constatada diferença significativa entre médias dos tratamentos para recuperação do solo da matéria fresca e seca da braquiária, após a reaplicação do bio sólido.

Termos para indexação: Degradação do solo, lodo de esgoto, propriedades físicas do solo, propriedades químicas do solo, condicionador de solo.

PHYSICAL AND CHEMICAL ATTRIBUTES OF A DEGRADED SOIL UNDER EUCALYPTUS AND PASTURE AFTER BIOSOLIDS RE- APPLICATION

Author: Edgar Bortoli Santos

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

ABSTRACT

The sludge is a compound capable of agricultural use, a source of nutrients for crops and soil conditioner. In this sense, has developed a work which objective on studying the influence of reapplication of biosolids in the recovery of physical and chemical properties of soil and the development of culture of eucalyptus and grass in a degraded Oxisol. The work was conducted five months after the biosolids re-application in a recovery area cultivated for six years under eucalyptus and pasture. The experimental design was randomized blocks with six treatments and four replications, with: Solo under eucalyptus and pasture with no added inputs, soil under eucalyptus and pasture with mineral fertilization, soil under eucalyptus and pasture with re-application of 4.64 Mg ha⁻¹ (on dry basis) of sludge, soil under eucalyptus and pasture with re-application of 9.28 Mg ha⁻¹ (on dry basis) of sludge, soil exposed (without any cultivation or fertilization), soil with Savannah vegetation. Was studied in soil layers of 0.00-0.05, 0.05-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.40 m, the physical attributes: macroporosity, microporosity; porosity and soil bulk density. For the chemical in the same layers of levels: P, organic matter, pH, K, Ca, Mg, H+Al, SB, CEC and V%. As for the cultivation of eucalyptus studied the average plant height

and diameter at breast height (DBH) and the grass fresh and dry. It was found that replication of the sludge is regaining ground in relation to both physical and chemical properties, especially in the surface layers, and the highest dose influences the plantations development. There was no significant difference between treatment means for soil recovery of fresh and dry grass, after reapplication of biosolids.

Index terms: Soil degradation, sewage sludge, soil physical properties, chemical properties of soil, soil conditioner.

1. INTRODUÇÃO

Todo aglomerado populacional por menor que seja, leva a produção de resíduos que são descartados, ora são lançados diretamente nos cursos da água (diretamente no ambiente) ou em outros casos mais planejados são conduzidos a uma estação de tratamento de esgoto. Neste último caso, ocorrerá a produção do efluente e lodo de esgoto que são subprodutos obtidos ao final do tratamento dos esgotos domésticos (águas residuárias domiciliares).

O efluente é constituído pela parte sobrenadante com consistência líquida facilmente observada nas lagoas de estabilização das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) que findo período programado para diminuição de sua carga patogênica e poluente pode ser lançada em cursos da água não oferecendo riscos de contaminação aos mananciais. Já o lodo é constituído pela parte residual sedimentada em lagoas de tratamento de esgoto e que tem em sua composição alta carga patogênica e poluente oferecendo riscos nocivos à saúde humana e de contaminação do ambiente.

A disposição final do lodo de esgoto vem gerando enorme preocupação dos legisladores, uma vez que, representa 60% dos custos de operação de uma estação de tratamento no caso da opção pela disposição em aterros sanitários (Centro Nacional de Referência e Gestão Ambiental Urbana, 2001). Em países desenvolvidos, a reciclagem agrícola do lodo tem sido a principal forma de disposição final; esta forma aumenta sua importância à medida que as outras formas costumam sofrer pressões ambientais, restringindo sua utilização, como nos casos da disposição marítima, forma proibida já em grande parte da Europa e Estados Unidos, além da disposição em aterros sanitários, devido à necessidade de extensas áreas e altos investimentos. A incineração, como forma de eliminação dos resíduos, apresenta custo muito elevado, sendo utilizada apenas para resíduos com alto poder impactante sobre o ambiente (COLODRO, 2005).

O uso do lodo de esgoto como fertilizante e condicionador do solo na recuperação de solos degradados é considerado hoje como a alternativa mais promissora de disposição final desse resíduo, pois além do baixo custo deste adubo orgânico, apresenta em sua composição macro, micronutrientes e matéria orgânica, resultando na melhoria da fertilidade do solo. A aplicação destes resíduos orgânicos pode resultar no aumento de matéria orgânica no solo. Com incremento do teor de matéria orgânica, a agregação do solo aumenta e, como consequência, seus atributos físicos podem ser alterados.

A aplicação do lodo de esgoto em reflorestamento, sobretudo na cultura do eucalipto, vem sendo considerado uma alternativa viável, levando-se em consideração o isolamento

destes plantios em relação aos núcleos urbanos, bem como a consumo destes produtos não estarem relacionados à alimentação humana.

Na década de 60, com o crescimento vertiginoso dos aglomerados populacionais e das atividades industriais no Brasil, foram acompanhadas com as instalações de inúmeras usinas hidrelétricas, que no ímpeto de atenderem ao aumento da demanda de energia elétrica, levaram a criação de inúmeras áreas degradadas (áreas de empréstimo), de onde foram retiradas significativas camadas do solo para construção e terraplanagem destas usinas. Particularmente, no Estado de São Paulo, foi construída a Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, no Rio Paraná. Durante sua construção foram retiradas grandes quantidades de solo levando a criação de significativa área degradada, constituindo-se num passivo ambiental, com extensão superior a 700 hectares nos municípios de Ilha Solteira (SP) e Selvíria, (MS), ambos margeando o Rio Paraná.

Neste sentido, desenvolveu-se o presente trabalho que teve como objetivo estudar a influência da reaplicação de diferentes doses de biossólido na recuperação dos atributos físicos e químicos e no desenvolvimento da cultura do eucalipto e braquiária, num Latossolo Vermelho degradado. A avaliação foi realizada cinco meses após a reaplicação do biossólido, numa área em recuperação cultivada há cinco anos com eucalipto (*Corymbia citriodora* Hill Johnson) e braquiária (*Brachiaria decumbens* Staff).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Disposição final do lodo de esgoto e reciclagem agrícola

A implementação da legislação ambiental contemporânea vem gerando a necessidade de adequação dos municípios, provocando a mudança de paradigmas, pois a maior parte das atividades econômicas está vinculada à geração de subprodutos, com riscos de contaminação para o ambiente, que no passado eram negligenciadas em prol do desenvolvimento econômico. Neste sentido, o tratamento das águas residuárias domiciliares nas ETE leva a produção do lodo de esgoto, e este resíduo devido aos riscos eminentes de contaminação do ambiente devem ter direcionamento adequado na sua disposição final ou mesmo ser utilizado em um processo alternativo de reciclagem agrícola.

Harris-Pierce et al. (1995) relataram que os métodos de disposição mais comuns para o lodo foram: incineração, aterro, disposição no oceano, recuperação de terrenos de mineração, digestão em lagoas e uso agrícola.

Tsutiya (2001) mencionou que a utilização e aproveitamento do lodo de esgoto como a formação de agregados leves para a construção civil, fabricação de tijolos e cerâmicas, fonte de energia para produção de cimento e conversão do lodo em óleo combustível. Ainda elencou que aplicação de lodo de esgoto em solos agrícolas, como fertilizante orgânico ou condicionador do solo, deve crescer substancialmente nos próximos anos no Brasil, seguindo uma tendência mundial e acompanhando a demanda gerada por um acentuado crescimento no volume de esgoto tratado no País.

Segundo Bettiol e Camargo (2000) as possibilidades mais usuais para aproveitamento ou disposição final desse resíduo são: disposição em aterro sanitário (aterro exclusivo ou em co-disposição com resíduos sólidos urbanos); reutilização industrial (produção de agregado leve, fabricação de cerâmica e produção de cimento); incineração exclusiva e co-incineração com resíduos sólidos urbanos; conversão em óleo comestível; disposição oceânica; recuperação de solos (recuperação de áreas degradadas e de mineração) e uso agrícola e florestal.

Galdos et al. (2004) salientaram em seu trabalho a preocupação da sociedade civil para maior valorização dos recursos hídricos, e também a questão do acentuado crescimento no volume de esgoto tratado no País e os problemas advindos com os resíduos gerados no processo. Novas ETEs (Estações de Tratamento de Esgoto) estão surgindo e as existentes estão expandindo sua capacidade. O tratamento de esgotos gera, além de águas residuais com baixa carga poluidora, um resíduo chamado de lodo de esgoto ou biossólido, composto por matéria orgânica, nutrientes e alguns elementos potencialmente tóxicos. A disposição adequada deste resíduo é um dos principais desafios a ser enfrentado pelos gestores

ambientais. Afirmaram ainda que a aplicação deste resíduo em terras agrícolas tem-se tornado cada vez mais atraente, pelos altos custos e impactos ambientais relacionados com os demais métodos de disposição, pela presença de nutrientes e matéria orgânica no lodo e pela necessidade de redução de custos na agricultura.

De acordo com Vaz e Gonçalves (2002), o lodo de esgoto doméstico que tenha passado pelo processo de decomposição microbiológica parcial e que seja passível de utilização, sem criar qualquer impacto negativo para o meio, é designado pela comunidade científica brasileira como bioestabilizado.

Segundo Boeira et al. (2007), nas últimas décadas, a prática mundial de coleta e tratamento de esgoto vem-se tornando sistemática, inclusive no Brasil, com a conseqüente necessidade de adequado gerenciamento quanto à disposição final do resíduo gerado (lodo de esgoto). Pelas características do lodo de esgoto e partindo-se do conhecimento de alguns de seus efeitos benéficos sobre as propriedades do solo, acredita-se que o seu aproveitamento em solos agrícolas se constitua numa oportunidade de reciclagem dos nutrientes neles contidos e, ao mesmo tempo, em solução do problema de sua acumulação em alta escala nas estações de tratamento.

Guedes et al. (2006) relataram sobre a utilização de lodo de esgoto como bioestabilizado, aproveitando seu potencial fertilizante e condicionador de solos para promover o crescimento de plantas, representa a possibilidade de associar ganhos para o produtor, por meio do aumento da produtividade das culturas e redução do uso de fertilizantes minerais, com ganhos para os geradores de lodo, pela efetivação de métodos adequados e mais econômicos de disposição final desse resíduo.

Freier et al. (2007) salientaram que o manejo dos resíduos urbanos encontra-se entre as questões mais importantes para a manutenção da qualidade do ambiente para alcançar um desenvolvimento sustentável e ambientalmente saudável. Em relação à produção de lodo oriundo das estações de tratamento de esgoto doméstico (bioestabilizado), seu uso agrícola tem apresentado especial destaque. No entanto, restrições vinculadas à qualidade do resíduo limitam o uso irrestrito em cultivo de produtos alimentícios, fato de menor relevância em ecossistemas florestais.

Aleixo e Malavasi (2004) relataram que na grande maioria dos casos, os bioestabilizados são descartados ou utilizados de maneira indisciplinada, tendo como resultado a produção de um grande agente poluidor dos lençóis freáticos, devido à presença significativa de metais pesados. A dispersão de bioestabilizados em povoamentos florestais tem a conveniência de não estarem voltados para alimentação humana ou animal, diminuindo, portanto, os riscos de

contaminação do homem. Segundo estes pesquisadores as pesquisas silviculturais, com emprego de biofertilizante resultam em duas linhas: uma de caráter ambiental e ecológico que visa eliminar o assoreamento dos rios em virtude da deposição do lodo de esgoto produzido em larga escala nas grandes cidades, e outra agroflorestal que busca incrementar a produtividade das plantações florestais para produzir biomassa lenhosa, evitando, dessa forma, o desmatamento das florestas nativas, além de oferecer uma alternativa de insumos de baixo custo que apresentam um retorno direto para a atividade.

2.2 Riscos da utilização do biofertilizante

2.2.1 Composição parasitológica do biofertilizante

O esgoto antes de passar por qualquer tipo de tratamento de estabilização e de higienização contém macro e micronutrientes e microrganismos. Muitos destes últimos são saprófitos e geralmente participam dos processos aeróbio e anaeróbio de estabilização. Porém, o esgoto oriundo de população humana e animal pode apresentar patógenos como bactérias, vírus, ovos e larvas de helmintos e cistos de protozoários parasitos (PAULINO et al., 2001). Portanto, sua aplicação agrícola depende de análises prévias específicas e acompanhamento técnico especializado.

De acordo com Thomas Socol (2000) o lodo de esgoto, por ser oriundo de efluentes urbanos e industriais, pode conter de acordo com o tratamento que sofreu, e conforme as condições do local de coleta, níveis de infecção por organismos variáveis, que podem ser prejudiciais à saúde humana e dos animais, quando se pensa na sua reciclagem agrícola. Os microrganismos encontrados no lodo de esgoto podem ser saprófitos, comensais, simbioses, ou parasitos. Apenas a categoria de parasitos é patogênica e capaz de causar doenças no homem e nos animais. Dentre os patogênicos, cinco grupos podem estar presentes no lodo: helmintos, protozoários, fungos, vírus e bactérias. A origem desses agentes patogênicos pode ser de procedência humana, o que reflete diretamente o nível de saúde da população e as condições de saneamento básico de cada região. Pode ser também de procedência animal (fezes de cães, gatos, ou pela presença de animais na rede coletora de esgotos, principalmente roedores), ocasionando sérios riscos à saúde da comunidade.

Os riscos à saúde humana ocorrem devido aos fatores seguintes: alta frequência de parasitismo encontrado no lodo; sobrevivência longa no meio externo para os helmintos (ovos de *Ascaris* sp podem sobreviver até 7 anos); dose infectante (um ovo ou cisto de helmintos é suficiente para infectar o hospedeiro, no caso, o próprio homem). Os métodos de tratamento influenciam a concentração dos patógenos no lodo. Uma maior carga de organismos patogênicos

decorre principalmente, no momento do tratamento, de sua aderência às partículas sólidas dos sedimentos (THOMAS SOCCOL, 2000).

De acordo com Corrêa et al. (2007), há toda sorte de organismos em lodos de esgotos, tais como vírus, bactérias, protozoários e helmintos. Como resultado, questões relacionadas à saúde pública invariavelmente confrontam o aproveitamento desses resíduos.

O manuseio e o emprego de esgoto, para os mais variados fins, sem prévio tratamento de estabilização e sem tratamentos higienizantes possibilitam infecção do homem e dos animais. Em virtude disso, processos de tratamento de estabilização têm sido realizados em diversos países, inclusive no Brasil. Dentre os vários processos testados, os mais freqüentemente empregados para a estabilização de esgoto é a digestão aeróbia e anaeróbia (PAULINO, 2001).

Segundo Melo et al. (2000) diferenciaram conceitualmente o lodo de esgoto do biossólido, alegaram que o lodo de esgoto é o resíduo gerado no tratamento das águas servidas (esgotos) com a finalidade de torná-las as menos poluídas possíveis, de modo a permitir seu retorno ao ambiente sem que atuem como agentes de poluição. Quando devidamente higienizado, estabilizado e desidratado, o lodo de esgoto recebe o nome de biossólido.

O biossólido do esgoto é ainda dividido em duas classes de acordo com a sua contaminação por patógenos (Tabela 1). O de classe A é resultante de processos de efetiva redução de patógenos, podendo ser utilizado na horticultura sem restrições, e o de classe B é resultante de processos de redução moderada de patógenos, com uso mais restrito, devendo ser aplicado em grandes culturas, reflorestamentos e outras situações em que o risco de contaminação ambiental e humana pode ser mais controlado (CONAMA, 2006; DAVID, 2002).

Segundo David (2002) os biossólidos devem possuir características que permitam seu enquadramento dentro dos parâmetros determinados para cada classe. Para o lodo classe A, o número mais provável de coliformes fecais por grama de lodo seco deve ser inferior a 1000 e a contaminação parasitária deve ser menor que um ovo viável de helminto em quatro gramas do lodo seco e menor que um ovo por litro do efluente (FERNANDES, 2000).

Corrêa et al. (2007) elencaram que a coleta e o tratamento de esgotos no Distrito Federal, DF, superam 90 % da quantidade produzida por uma população de aproximadamente 2,2 milhões de habitantes, resultando na produção de 270 Mg por dia de lodo, que atingirá cerca de 400 Mg por dia nos próximos dois anos. Os lodos de esgoto produzidos no DF possuem potencial para uso agrícola, pois apresentam concentrações de metais aquém dos valores máximos estabelecidos pelo CONAM/DF (2006) e CONAMA (2006) (Tabela 2);

entretanto, excesso de umidade (86 a 88 %), rápida putrefação e a presença de significativas concentrações de helmintos e suas formas de resistência (4 a 13 ovos viáveis por grama de matéria seca) representam, atualmente, obstáculos para o aproveitamento agrícola de lodos de esgotos no Distrito Federal.

Tabela 1. Limite máximo de concentração de agentes patogênicos no lodo de esgoto ou produto derivado, para aplicação agrícola.

Tipo de lodo de esgoto ou produto derivado	Concentração de patógenos
A	Coliformes Termotolerantes <10³ NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo / g de ST Salmonella ausência em 10 g de ST
B	Coliformes Termotolerantes <10⁶ NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos / g de ST

ST: Sólidos Totais; NMP: Número Mais Provável

Fonte: CONAMA (2006)

2.2.2 Contaminação por nitrato

A aplicação do lodo de esgoto muitas vezes pode levar ao acúmulo de alguns íons e provocar riscos de contaminação do ambiente, dentre esses íons podem ser destacados os riscos inerentes ao seu uso inadequado, gerando a possibilidade de contaminação de lençóis freáticos e cursos de água com o nitrato. Quando presente em excesso, na água destinada ao uso doméstico, esse ânion pode causar problemas de saúde no homem e nos animais domésticos.

O nitrato é uma das formas inorgânicas do N no solo e, juntamente, com o amônio, constitui produto final da mineralização do N orgânico, contido em qualquer resíduo orgânico após adição ao solo. Por ser repelido pelas partículas do solo – que geralmente apresentam carga elétrica líquida negativa – esse ânion permanece livre na solução. Em consequência disso, a quantidade presente na camada arável do solo, que não é aproveitada pelas plantas, fica sujeita à lixiviação, podendo, ao longo do tempo, atingir o lençol freático e os corpos de água por ele alimentados (DYNIA et al., 2006).

Oliveira et al. (2001), em trabalhos desenvolvidos no Brasil, relataram que, dependendo das doses de lodo aplicadas, quantidades consideráveis de nitrato podem ser

lixiviadas da camada arável dos solos para além da zona de exploração das raízes das plantas. As normas para o uso agrícola do lodo de esgoto refletem a preocupação com essa questão, destacando, entre outros parâmetros utilizados na definição da dose a ser aplicada, a quantidade de N do lodo que ficará disponível durante a safra. Essa quantidade corresponde ao N na forma mineral (amônio + nitrato) originalmente contida no lodo, somada à fração do N orgânico que será mineralizada durante o ciclo da cultura (CETESB, 1999).

Dynia (2006) elencou que a aplicação de lodo, em doses correspondentes ao fornecimento de quatro e oito vezes o N disponível aplicado na forma de adubo mineral recomendado para a cultura, resulta em intensa lixiviação do ânion a partir dos primeiros cultivos; após cinco aplicações dessas doses, grande parte do nitrato lixiviado alcança a profundidade de 3 m.

Segundo Vieira (2000) foram observados elevados teores de nitrato em estudos da mineralização do N com aplicação de doses 8, 16, 32 e 64 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto num LATOSSOLO AMARELO textura arenosa, onde os teores de nitrato observados na camada de 0,0 a 0,20 m foram de 168,67 mg kg⁻¹ para o tratamento com dose máxima de lodo, estando esse valor muito acima do obtido na testemunha (3,3 mg kg⁻¹) e do limite máximo adotado pelo Ministério da Saúde (10,0 mg kg⁻¹). Segundo a autora, os dados foram obtidos num período de baixos índices pluviométricos, podendo se obter valores superiores nos períodos de chuvas, quando a taxa de mineralização se eleva, além de acentuar o risco com a lixiviação do excesso de nitrato.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) estabelece para a água potável uma concentração máxima aceitável de 10 mg L⁻¹, padrão também adotado no Brasil pela Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos do Ministério da Saúde (BRASIL, 1990).

2.2.3 Metais pesados ou elementos traços

O termo metal pesado tem sido utilizado para definir elementos presentes em baixas concentrações no ambiente, com teores menores do que 1,0 mg kg⁻¹, aplicado também para o ferro, o alumínio, e o titânio, que são elementos de ampla ocorrência na crosta terrestre. Concomitantemente a expressão elemento-traço vem sendo preferencialmente utilizada em relação ao termo metal pesado; uma vez presentes no ambiente, tais elementos podem adentrar a cadeia alimentar e, ao atingirem concentrações elevadas nas plantas, animais e no homem podem causar problemas de toxicidade (MELO et al., 2004).

A composição do lodo esta diretamente relacionada com a origem das águas residuárias captadas no início do processo nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), isto é, devem-se identificar as atividades agroindustriais que predominam no município, pois uma característica intrínseca destas atividades é a geração de subprodutos que deveriam ser tratados adequadamente, antes de serem lançados diretamente em uma rede de esgoto, influenciando as características finais do lodo produzido. Desta forma, o lodo de esgoto pode apresentar em sua composição características indesejáveis sob o ponto de vista agrônomo, tais como: desbalanço entre nutrientes, presença de organismos patogênicos, elevadas concentrações de sais solúveis e metais pesados (ANDRADE, 2000). Estas características são completamente dependentes das principais atividades econômicas desenvolvidas no âmbito municipal, que levam a geração dos dejetos. Neste momento, será destacada a importância dos teores de metais pesados no lodo de esgoto, isso sendo fator restritivo na sua aplicação na agricultura.

O lodo de esgoto produzido a partir de águas residuárias de regiões de grande industrialização tem a tendência de apresentarem em sua constituição alto teor de metais pesados quando comparado com lodo produzido em regiões menos industrializadas. Isso está relacionado ao fato das atividades industriais empregarem em maior escala nos seus processos produtivos materiais que contenham algum tipo de metal pesado, e isso conseqüentemente acaba refletindo na composição final do lodo de esgoto.

Segundo Marques et al. (2001) a composição dos lodos de esgoto, em termos de metais pesados, varia com o nível sócio-econômico e cultural da população, grau de industrialização da região e do percentual que os esgotos industriais representam do total de esgotos gerados e tratados. Quando se utiliza o lodo de esgoto em solos cultivados, como fertilizantes ou condicionadores do solo, existe a possibilidade desses elementos, em suas formas mais perigosas, serem absorvidos pelas plantas e acumulados em tecidos que poderiam servir de alimentos para animais e humanos. Assim, esses elementos entrariam na cadeia alimentar, possibilitando a ocorrência de danos às plantas e aos animais que delas se alimentarem.

De acordo com Lopes et al. (2005) a aplicação do lodo de esgoto pode acarretar o aumento da disponibilidade e dos riscos de contaminação do solo com metais pesados. A preocupação ambiental em relação às áreas em que os metais pesados se acumulam, tem aumentado, agravando-se o problema quando eles entram na cadeia alimentar; neste contexto, o conhecimento das formas químicas dos metais do solo permite melhor avaliação sobre a biodisponibilidade e mobilidade desses metais e seus riscos ao meio ambiente (COLLIER et

al., 2004). Os limites máximos de concentração de substâncias inorgânicas (metais pesados) nos lodos de esgoto ou produto derivado, para aplicação agrícola foram disciplinados no ano de 2006, em legislação ambiental específica de acordo com a resolução nº 375 do CONAMA de 2006 (Tabela 2).

Tabela 2. Limites máximos de concentração de substâncias inorgânicas nos lodos de esgoto ou produto derivado.

Substâncias Inorgânicas	Concentração Máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg kg ⁻¹ , base seca)
Arsênio	41
Bário	1300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1500
Cromio	1000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

Fonte: CONAMA (2006)

Chang et al. (1992) afirmaram que a presença de metais pesados restringe sua aplicação no solo, à medida que o acúmulo desses elementos pode causar maior absorção pelas plantas e provocar sua entrada na cadeia alimentar. Portanto, torna-se necessário determinar as concentrações disponíveis desses elementos no solo.

2.3 Influência do biossólido nos atributos físicos do solo

O lodo de esgoto, geralmente, apresenta em sua composição macro, micronutrientes e matéria orgânica, o que lhes confere potencial de uso como fertilizante e condicionador do solo (PEGORINI ; ANDREOLI, 2006). A utilização agronômica apresenta grande potencial, e oferece a oportunidade de seu uso como fertilizante e condicionador de solos (SILVA et al., 2002).

Segundo Melo et al. (2001), o tratamento de esgoto urbano gera um resíduo orgânico pastoso denominado lodo de esgoto, material rico em nitrogênio. A aplicação de resíduos orgânicos pode resultar em aumento de matéria orgânica no solo. Com incremento do teor de matéria orgânica, a agregação do solo aumenta e, como consequência, seus atributos físicos podem ser alterados (BAYER ; MIELNICZUK, 1999).

Melo et al. (2004), em estudo com lodo de esgoto em um Latossolo Vermelho distrófico, textura média (LVd) e Latossolo Vermelho eutrófico argiloso (LVef), observaram que a densidade do solo diminuiu significativamente apenas na dose de 50,0 Mg ha⁻¹ de lodo no LVd, na camada de 0,00-0,10 m. Já no LVef não observaram alterações na densidade do solo com a adição de até 50,0 Mg ha⁻¹ de lodo, por causa da mineralogia oxídica que confere a esse solo uma melhor estrutura natural.

Marciano (1999) num experimento avaliando a influência na incorporação de doses de lodo de esgoto (0 - 33 - 66 e 99 Mg ha⁻¹ no primeiro ano e 0 - 37 - 74 e 112 Mg ha⁻¹ no segundo) nas propriedades físico hídricas de um Latossolo Vermelho Amarelo, verificou que com a aplicação de lodo de esgoto a densidade do solo diminuiu e conseqüentemente houve aumento da porosidade total na camada de 0 a 0,15 m no segundo ano de aplicação do mesmo.

De acordo com Boni et al. (1994) que trabalharam em uma área de empréstimo com cerca de 1,10 m de camada de solo retirada (Latosolo Roxo). Estes autores realizaram experimento de recuperação com o emprego de leguminosas (crotalária e guandu) e vegetação espontânea instalada (capim Napier). Após 5 anos (dois ciclos consecutivos, seguidos de três de pousio), os autores verificaram que as camadas compactadas tiveram redução de densidade do solo (1,25 para 1,18, e 1,48 para 1,16 kg dm⁻³, respectivamente), elevação de porosidade (0,55 para 0,57, e 0,48 para 0,58 m³ m⁻³) e aumento nos valores de diâmetro médio ponderado. Essas alterações, segundo os autores, ocorreram em decorrência dos efeitos das vegetações que se instalaram, implementando a recuperação do solo degradado que hoje está incorporado às normais atividades agrícolas de um campo experimental.

Trannin et al. (2008) num experimento com solo tratado com biossólido industrial e cultivado com milho elencaram que a estabilidade de agregados, a porosidade total e a microporosidade do solo aumentaram e a densidade do solo diminuiu com o aumento das doses do biossólido.

Boeira e Souza (2007) num experimento verificando o pH e a densidade de um latossolo após três anos de aplicações de lodo de esgoto afirmaram que doses crescentes dos dois lodos causaram diminuição da densidade do solo.

O uso de do lodo de esgoto na recuperação de solos degradados tem sido investigado e de acordo com Campos e Alves (2008) a aplicação de lodo de esgoto influenciou as propriedades físico-hídricas e químicas de um Latossolo Vermelho degradado, que foi cultivado por três anos com eucalipto. Colodro et al. (2006); Alves et al. (2007) e Kitamura et al. (2008), também obtiveram sucessos em solos degradados utilizando lodo de esgoto em estudos de recuperação.

2.4 Influência do biossólido nos atributos químicos do solo

A utilização de lodo de esgoto como biossólido, aproveitando seu potencial fertilizante e condicionador de solos para promover o crescimento de plantas, representa a possibilidade de associar ganhos para o produtor, por meio do aumento da produtividade das culturas e redução do uso de fertilizantes minerais, com ganhos para os geradores de lodo, pela efetivação de métodos adequados e mais econômicos de disposição final desse resíduo. (GUEDES et al., 2006)

Tsutiya (2001) salientou que a aplicação de lodo de esgoto em solos agrícolas, como fertilizante orgânico ou condicionador do solo, deve crescer substancialmente nos próximos anos no Brasil, seguindo uma tendência mundial e acompanhando a demanda gerada por um acentuado crescimento no volume de esgoto tratado no País.

O lodo de esgoto aumenta a fertilidade do solo e teores de metais pesados, porém, os efeitos quanto à fertilidade perduram por apenas um ano agrícola e os teores de metais pesados permanecem aquém dos valores considerados perigosos ao ambiente (SILVA et al., 2001).

Oliveira et al. (2002) verificaram que doses elevadas de lodo da Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri (33.000, 66.000 e 99.000 kg ha⁻¹) promoveram a manutenção dos incrementos iniciais obtidos no teor de MO no interior do solo. Este aumento também ocorre com a reaplicação contínua de doses crescentes de lodo de esgoto numa mesma área agrícola podendo originar um processo acumulativo, com efeitos ainda pouco estudados nos solos tropicais.

De acordo com Silva et al. (2002) o lodo de esgoto tem composição variável de acordo com a origem e método de tratamento, tem sido usado como fertilizante orgânico, por conter alguns elementos essenciais às plantas, tais como: N, P, Ca, Mg, S e micronutrientes.

Simonete et al. (2003) estudando o efeito do lodo de esgoto em um Argissolo, verificaram que em virtude dos aumentos dos teores trocáveis de Ca, Mg e K, com aplicação de lodo de esgoto no solo, houve um aumento proporcional na soma de bases do solo, isto é, a

cada dose de lodo de esgoto aplicada houve aumento de 0,0071, 0,5881 e 0,1013 mmol_c dm⁻³ nos teores de K, Ca e Mg, respectivamente, proporcionando aumento aproximado de 0,7 mmol_c dm⁻³ na soma de bases, a cada dose aplicada do resíduo.

Marques (1997) observou, em cana-de-açúcar, que doses de lodo de esgoto até 60 Mg ha⁻¹ elevaram o teor de P-dispónivel do solo até 100 mg dm⁻³. A aplicação de lodo de esgoto ao solo causa aumento no teor de matéria orgânica, melhorando a fertilidade, promovendo aumento do pH, diminuição da acidez potencial, aumento gradual na disponibilidade de nutrientes como Ca, Mg e S.

Segundo Colodro (2005) num experimento no mesmo local com aplicação de lodo de esgoto afirmou que para o tipo e condição do solo utilizado e dentro do período de estudo de 360 dias, pode se afirmar que o lodo de esgoto promoveu um incremento na qualidade do solo, observado pelo aumento significativo de seus conteúdos de fósforo, potássio, magnésio, matéria orgânica e CTC.

2.5 A cultura do eucalipto e aplicação de biossólido em culturas florestais

O eucalipto (*Eucalyptus* spp.) é uma planta de origem australiana, sendo que apenas duas (*E. degluta* e *E. urophylla*) das seiscentas espécies conhecidas não ocorrem lá. Particularmente o *Eucalyptus citriodora* ocorre com maior intensidade nas regiões Norte e Sul de Queens land. Segundo Boland et al. (1994), citados por Vitti e Brito (1999), as áreas de maior concentração ao norte estão situadas entre as latitudes 16° 75' e 20° 50' S e altitudes compreendidas entre 450 a 1000 m, enquanto que, para a região sul, as coordenadas são 22° 7' e 26° 00' S e altitudes entre 70 a 700 m. No Brasil foi introduzido no Rio Grande do Sul, por volta de 1868 (LIMA, 1993).

De acordo com Aleixo e Malavasi (2004) o eucalipto é uma árvore de porte médio a grande, pertencente à família *Myrtaceae*. Sua madeira de alta densidade 0,9 kg dm⁻³ é destinada para usos múltiplos, tais como construções, postes, dormentes, lenha e carvão.

Kronka et al. (2003) realizando levantamentos pelo Instituto Florestal do Estado de São Paulo, concluíram que existe um total de 770.010 hectares de reflorestamento com *Pinus* e *Eucalyptus*, correspondendo a 3,1 % do total da área territorial do Estado de São Paulo, onde 611.516 ha correspondem às áreas com *Eucalyptus* (79,4 %) e 158.494 ha (20,6 %) com *Pinus*.

Poggiani e Benedetti (1999) salientaram que os povoamentos florestais podem constituir-se em áreas adequadas, não apenas para a produção de madeira visando a atender a

enorme demanda da sociedade, mas também para a fixação de CO₂, e ciclagem dos resíduos orgânicos provenientes dos centros urbanos.

De acordo com a Klabin (KLABIN FLORESTAL, 2004), o Brasil possuía cerca de 5 milhões de hectares florestados com eucaliptos (65 %) e com pinus (35 %). A grande maioria dos solos usados para este fim apresenta avançado estágio de intemperização, sendo de baixa fertilidade.

Freier (2007) destacou a importância da aplicação do lodo oriundo das estações de tratamento de esgoto doméstico (biossólido), em ecossistemas florestais, uma vez que, a qualidade do resíduo limita o uso irrestrito em cultivo de produtos alimentícios.

Lima (2005) salientou que a adubação química e/ou orgânica é eficiente em plantações florestais com espécies particularmente do gênero *Eucalyptus*, e o uso do lodo de esgoto (biossólido) representa alternativa promissora, como tem demonstrado em plantações florestais no Brasil.

Segundo Guedes e Poggiani (2003) uma das alternativas mais promissoras para que as estações de tratamento de esgoto possam dar uma disposição final adequada a lodo gerado é sua utilização como biossólido em áreas florestais, aproveitando seu potencial como fertilizante e condicionador de solos para melhorar o desenvolvimento de árvores. No Brasil, a pesquisa sobre a utilização de biossólido na agricultura já acontece desde o início da década de oitenta, mas a pesquisa em silvicultura ainda é fato recente. Os produtos das culturas florestais normalmente não são comestíveis, diminuindo o risco em relação aos cultivos de plantas alimentícias, quanto à chegada de possíveis contaminantes ao homem. As florestas respondem à aplicação de biossólido com significativos aumentos de biomassa e nutrientes no ecossistema. O ciclo das culturas florestais é mais longo e a acumulação de biomassa durante esse período é uma maneira de armazenar certos elementos químicos eventualmente perigosos, que podem ser retirados do local com a colheita da madeira.

Os solos florestais são geralmente pobres, resultando em melhor aproveitamento e menores perdas dos nutrientes. As florestas oferecem menor oportunidade de contato humano com biossólido recém aplicado. Além disso, o ciclo longo das culturas florestais permite maiores intervalos e uma maior dinâmica entre aplicações do que as culturas anuais, aumentando a eficiência de absorção do sistema radicular perene, profundo e bem distribuído das árvores (GUEDES ; POGGIANI, 2003).

2.6 A cultura da braquiária e o papel das gramíneas na recuperação de solos degradados

A *Brachiaria decumbens* é uma espécie perene, que ocorre de forma nativa no leste tropical da África em altitudes acima de 800 m, sob clima moderadamente úmido, em pastagens abertas ou em áreas com arbustos esporádicos e em solos férteis (CARVALHO et al., 1991).

No Brasil, a aplicação de gramíneas do gênero *Brachiaria* na Forragicultura, ocorre desde a década de 1950. Entretanto, a verdadeira expansão desse gênero ocorreu no cerrado, nas décadas de 70 e 80, principalmente nas regiões de clima mais quente, e provavelmente ocupava mais de 50 % da área de pastagens cultivadas no Brasil tropical (ZIMMER et al., 1994).

De acordo com Alves (2007), a recuperação de áreas degradadas é possível, porém trata-se de um processo lento e difícil, sendo necessária a escolha de plantas com boa capacidade de crescimento e desenvolvimento nesses ambientes degradados, bem como o uso de práticas de manejo do solo que favoreçam sua recuperação. Também a adição de várias fontes de MO tem sido utilizada, com o objetivo de melhorar as propriedades do solo.

Segundo Silva e Mielniczuk (1997) as gramíneas perenes, por apresentarem maior densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular no solo, favorecem as ligações dos pontos de contato entre partículas minerais e agregadas, contribuindo para sua formação e estabilidade, e podem ser usadas como plantas recuperadoras da estrutura do solo em áreas degradadas. Porém, a consorciação de gramíneas e leguminosas é mais eficiente na reagregação do que somente leguminosas ou somente gramíneas.

Favero et al. (2000) avaliaram o papel das forrageiras na recuperação de solos degradados, encontrando resultados positivos quanto à capacidade de cobertura e descompactação, aumento da retenção e infiltração de água e restauração da fertilidade.

Zimmer et al. (1994) mencionaram que a *Brachiaria decumbens* é adaptada a muitos tipos de solo, e requer boa drenagem, condições de boa fertilidade, embora tolere condições de acidez. A mesma não produz quantidades satisfatórias de forragem em solos com teores baixos de fósforo e potássio. No entanto, tem demonstrado respostas acentuadas a níveis mais altos de P e K no solo e N em cobertura.

Gijsman e Thomas (1996) constataram que o uso da braquiária proporciona melhoria na atividade biológica favorecendo a reciclagem de nutrientes, a resistência à penetração, a estabilidade dos agregados do solo, a redução na densidade do solo e conseqüentemente, a redução da compactação superficial, favorecendo a infiltração e o armazenamento da água das chuvas no perfil.

Rodrigues et al. (2006) realizando trabalho numa área de empréstimo, num experimento estudando regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado, concluíram que a braquiária e a regeneração apresentaram resultados melhores e se aproximaram mais do cerrado natural.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

O presente experimento foi instalado no município de Selvíria, MS, à margem direita do Rio Paraná, com as coordenadas de 51° 22' de longitude a oeste e 20° 22' de latitude sul, com altitude média de 327 metros (Figura 1). A área faz parte da Fazenda de Ensino e Pesquisa e Extensão (FEPE), pertencente à Faculdade de Engenharia (FEI), Campus de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP).



Figura 1. Imagem da área com localização do experimento, em destaque área degradada (área de empréstimo), no município de Selvíria, MS. Fonte: imagem adaptada do Google Earth (2008).

3.2 Caracterização da área antes da reaplicação do biossólido

A área em estudo apresenta médias anuais de: precipitação 1370 mm, temperatura 23,5° C e umidade relativa do ar entre 70 e 80 %. O tipo climático segundo Köppen é Aw. A vegetação natural da área de estudo era o cerrado. O solo original de acordo com a nomenclatura do Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 2006), é um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, textura franco argilo arenosa, (274 g kg⁻¹ de argila, 526 de areia e 200 de silte), profundo e muito intemperizado, relevo suave a plano. O local de instalação da pesquisa é uma área degradada, onde foi retirada uma camada de solo de 8,60 m de espessura (Figura 2) para utilização fundação e construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, SP. Neste local a mais de quarenta anos, permanece imensa área degradada,

constituindo significativo passivo ambiental, constituindo um ecossistema primário, com baixa capacidade de resiliência (Figura 3).

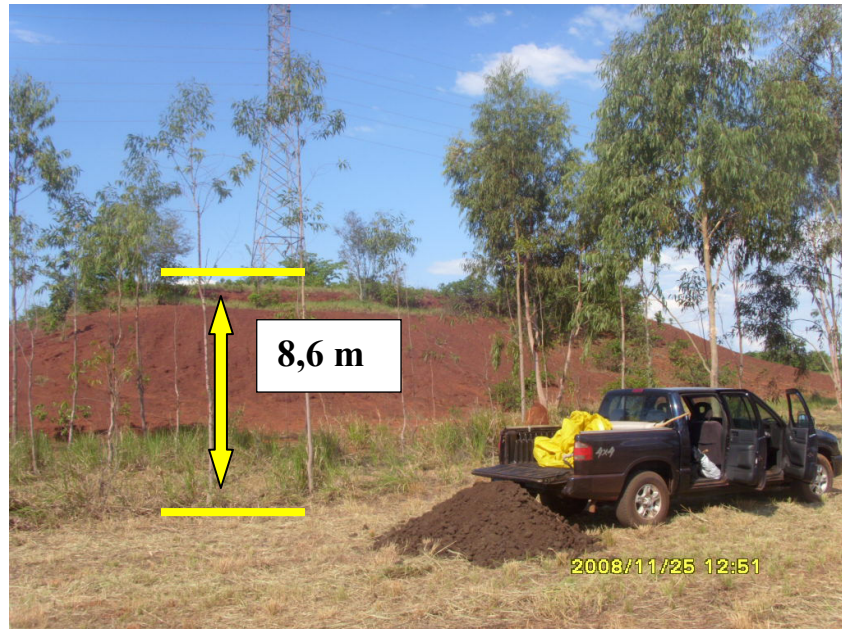


Figura 2. Camada do perfil decapitado em área de empréstimo, em Selvíria, MS (2008).



Figura 3. Tratamento com solo exposto na área de empréstimo, em Selvíria, MS. Fonte: Campos (2006).

3.3 Histórico da área experimental (antes da reaplicação do biofósforo).

Antes da reaplicação do biofósforo já havia sido implantado em 2003, nesta mesma área experimental, um experimento onde foram testados diferentes tratamentos e aplicação de lodo de esgoto visando estudar a recuperação desta área degradada. O delineamento experimental utilizado na época foi em blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições sendo eles: vegetação natural de Cerrado; solo exposto (sem tratamento para recuperação); solo cultivado com eucalipto (*Corymbia citriodora* Hill Johnson) e braquiária (*Brachiaria decumbens* Staff), sem aplicação de biofósforo e adubo mineral; solo cultivado com eucalipto e braquiária, com adubação mineral de acordo com a necessidade da cultura e a análise do solo; solo cultivado com eucalipto e braquiária com uso de 30 Mg ha⁻¹ de biofósforo (base seca); e solo cultivado com eucalipto e braquiária com uso de 60 Mg ha⁻¹ de biofósforo (base seca).

A cultura do eucalipto foi implantada no espaçamento 2,0 m x 1,5 m e a braquiária foi semeada a lanço, nas entre linhas. Cada parcela ocupando uma área de 120 m² (12 m x 10 m), com 40 plantas por parcela perfazendo 640 plantas no experimento.

3.4 Reaplicação do biofósforo (Experimentação em dezembro de 2008)

Depois de cinco anos (em dezembro de 2008), dando continuidade ao estudo de recuperação do solo, foram realizadas coletas para análises de solo visando fornecer subsídios para recomendação das doses de biofósforo e adubação mineral. Foi considerada a necessidade nutricional da cultura do eucalipto para aplicação da dose do biofósforo, sendo de 30 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O e, para a aplicação da recomendação da adubação mineral, em conformidade com a análise química do solo, de 30 kg ha⁻¹ de N, 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O (BELLOTE, 2008) (Tabela 3). Também foram realizadas avaliações da altura e diâmetro na altura do peito do eucalipto (DAP), coleta da matéria fresca e seca da braquiaria, tendo por objetivo estudar o desenvolvimento da cultura do eucalipto e da braquiaria, após a reaplicação do biofósforo.

Desta forma, o delineamento experimental para este experimento foi em blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições, sendo: T₁ - Solo cultivado com eucalipto e braquiária sem adição de insumos; T₂ - Solo cultivado com eucalipto e braquiária com adubação mineral; T₃ - Solo cultivado com eucalipto e braquiária com reaplicação de 4,64 Mg ha⁻¹ de biofósforo; T₄ - Solo cultivado com eucalipto e braquiária com reaplicação de 9,28 Mg ha⁻¹ de biofósforo; T₅ - Solo exposto (sem qualquer cultivo ou adubação); T₆ - Solo com vegetação natural de Cerrado. A implantação destes tratamentos ocorreu em dezembro 2008,

na área cultivada com eucalipto e braquiária, que já estava cultivada neste local desde 2003 (Figura 4).

Tabela 3. Valores médios dos teores no solo de P, MO, pH, K, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC, e V%, antes da reaplicação de biofósforo.

Tratamento	Prof. (m)	P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V%
Testemunha (sem adubação)	0-0,05	1	11	5,4	0,7	06	07	13	0	13,70	26,70	51
	0,05-0,10	1	08	5,7	0,5	07	07	12	0	14,10	26,10	54
	0,10-0,20	1	05	6,6	0,4	08	07	10	0	15,40	25,40	61
	0,20-0,40	1	03	5,6	0,2	05	05	11	0	09,80	20,80	47
Adubação mineral	0-0,05	46	09	5,3	0,7	06	08	15	0	15,10	30,10	50
	0,05-0,10	15	05	6,0	0,5	06	07	11	0	14,10	25,10	56
	0,10-0,20	3	04	5,9	0,3	07	04	11	0	11,30	22,30	51
	0,20-0,40	4	03	4,5	0,1	03	01	14	2	03,90	17,90	22
30 Mg ha ⁻¹ de biofósforo	0-0,05	60	17	5,0	0,8	09	13	18	1	22,80	40,80	56
	0,05-0,10	53	11	4,8	0,6	07	08	18	1	15,80	33,80	47
	0,10-0,20	4	07	5,0	0,3	05	03	13	0	08,30	21,30	39
	0,20-0,40	3	03	4,6	0,1	04	02	13	1	05,90	18,90	31
60 Mg ha ⁻¹ de biofósforo	0-0,05	91	15	5,2	0,7	13	15	18	0	28,70	46,70	61
	0,05-0,10	96	11	5,5	0,6	11	14	15	0	25,60	40,60	63
	0,10-0,20	36	05	6,1	0,2	10	11	11	0	21,00	32,00	66
	0,20-0,40	3	03	6,0	0,1	07	06	10	0	12,90	22,90	56
Solo exposto	0-0,05	2	03	4,4	0,3	02	01	13	3	02,70	15,70	17
	0,05-0,10	2	01	4,4	0,3	01	01	15	3	02,10	17,10	12
	0,10-0,20	2	01	4,3	0,3	01	01	15	3	01,50	16,50	09
	0,20-0,40	2	01	4,3	0,2	00	00	15	4	01,00	16,00	06
Cerrado	0-0,05	6	31	4,6	1,6	10	07	31	3	18,20	49,20	37
	0,05-0,10	4	18	4,3	1,3	03	04	31	6	07,90	38,90	20
	0,10-0,20	2	11	4,1	0,7	01	02	22	7	03,10	25,10	12
	0,20-0,40	2	11	4,0	0,5	00	01	22	8	01,90	23,90	08

Onde:

Unidades dos elementos: P em mg dm⁻³ ; K, Ca, Mg, H+Al, SB e CTC em mmol_c dm⁻³ e MO em g dm⁻³ .



Figura 4. Área experimental e parcela experimental, em Selviria, MS. Fonte: imagem adaptado Google Earth (2008).

3.5 Origem e caracterização do biossólido reaplicado

O biossólido utilizado foi fornecido pela Estação de Tratamento de Esgoto – ETE da Empresa de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (SABESP), do município de Presidente Epitácio, SP (Figura 5).



Figura 5. Estação de tratamento de Esgoto (ETE), em Presidente Epitácio, SP (2008).

Nesta, utiliza-se o tratamento em lagoa com sedimentação, permanecendo no sistema por tempo suficiente para favorecer sua digestão anaeróbia em condições controladas (Figura 6). Findo este período, o lodo é conduzido aos reservatórios onde fica expostos a radiação solar por aproximadamente 90 dias, formando assim o biossólido digerido (Figura 7), que de acordo com Nogueira (2003) é aquele que sofreu estabilização biológica.



Figura 6. Lodo verde (cru) em reservatório na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), em Presidente Epitácio-SP (2008).



Figura 7. Lodo digerido (biossólido), após 90 dias de estabilização na Estação de tratamento de Esgoto (ETE), em Presidente Epitácio, SP (2008).

O biossólido apresentando a seguinte caracterização química: pH (in natura)=5,5; umidade 0,09 m³ m⁻³; carbono orgânico 280,5 g kg⁻¹; N amoniacal 2899 mg kg⁻¹; N nitrato-nitrito 381 mg kg⁻¹; N total 38681 mg kg⁻¹ e baixo teores de metais pesados (Tabela 4).

Tabela 4. Caracterização química do biossólido utilizado no experimento.

Propriedade química	Unidade ⁽¹⁾	Teor	CETESB ⁽²⁾ (1999) P 4.230	CONAMA (2006) ⁽³⁾
pH	-----	5,5	-----	-----
Umidade (60 - 65°C)	%(m m⁻¹)	8,6	-----	-----
Carbono orgânico	mg kg⁻¹	280500	-----	-----
N Kjeldahl	mg kg⁻¹	38300	-----	-----
N amoniacal	mg kg⁻¹	2899	-----	-----
N nitrato-nitrito	mg kg⁻¹	381	-----	-----
Alumínio	mg kg⁻¹	207	-----	-----
Arsênio	mg kg⁻¹	-----	75	41
Boro	mg kg⁻¹	11,2	-----	-----
Cádmio	mg kg⁻¹	1,8	85	39
Cálcio	mg kg⁻¹	11000	-----	-----
Chumbo	mg kg⁻¹	81,8	840	300
Cobre	mg kg⁻¹	171,0	4300	1500
Cromo	mg kg⁻¹	37,2	-----	1000
Enxofre	mg kg⁻¹	12300	-----	-----
Ferro	mg kg⁻¹	23900	-----	-----
Fósforo	mg kg⁻¹	5500	-----	-----
Magnésio	mg kg⁻¹	2200	-----	-----
Manganês	mg kg⁻¹	142,2	-----	-----
Mercurio	mg kg⁻¹	-----	57	17
Molibdênio	mg kg⁻¹	2,1	75	50
Níquel	mg kg⁻¹	23,2	420	420
Potássio	mg kg⁻¹	600	-----	-----
Sódio	mg kg⁻¹	197	-----	-----
Zinco	mg kg⁻¹	889,0	7500	2800

Determinações realizadas segundo métodos descritos em “de Andrade, J.C.; de Abreu, M.F. (editores), Análise Química de resíduos Sólidos para Monitoramento e Estudos Agroambientais, Editora IAC, Campinas, 2006, 178p.” (1) Resultados expressos na amostra em base seca. (2) Concentração Máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg kg⁻¹, base seca) pela CETESB (1999), (3) Concentração Máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg kg⁻¹, base seca) pela resolução CONAMA (2006).

3.6 Análise de agentes patogênicos

A análise de agentes patogênicos do lodo (biossólido) foi realizada pela Universidade Federal do Paraná e pelos resultados obtidos foi classificado como tipo B, apresentando 0,02 de ovos de helmintos, 0,03 de protozoários e $1,8 \cdot 10^2$ de coliformes fecais por grama de sólidos totais, sendo, portanto considerado passível de utilização agrícola (CETESB, 1999). Salienta-se ainda, que aplicação no eucalipto (silvicultura) atendeu preceito pré-estabelecido na resolução CONAMA (2006), que proíbe a utilização de qualquer classe de lodo de esgoto ou produto derivado em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo.

Tabela 5. Concentração de agentes patogênicos no biossólido utilizado no experimento.

Classificação Microbiológica	Unidade ⁽¹⁾	Nº de organismos	CETESB (1999) P 4.230
Coliformes Fecais	NMP / g de ST	$1,8 \cdot 10^2$	$2,0 \cdot 10^6$
Helmintos	nº de ovos / g de ST	0,02	0,25
Protozoários	nº de ovos / g de ST	0,03	0,25

(1) Dados à base seca; (2) Analisado pelo CEPPA/Universidade Federal do Paraná; NMP – Número mais provável; Valores considerados limites pela CETESB (1999); ST – Sólidos Totais

3.7 Cálculo da dose de biossólido a ser aplicada

Os teores para N, P, K contidas no biossólido foram respectivamente de 0,03868, 0,0055 e 0,0006 kg kg⁻¹, na forma elementar, foram ajustados para a forma N, P₂O₅ e K₂O, com valores de 0,03868; 0,012597 e 0,000723 kg kg⁻¹ de MS, respectivamente. Foram determinadas as quantidades de nutrientes disponíveis às plantas no decorrer do ano, em que se considerou a mineralização de 30 % do N orgânico e a volatilização de 30 % do N amoniacal, segundo Andreoli et al. (2001). Quanto ao fósforo, foi considerada uma disponibilidade de 70 % (RAIJ et al., 1997). Para o potássio foi considerada disposição integral para a cultura, mesmo porque os valores fornecidos ao solo pelo lodo foram irrisórios, necessitando de significativa dose complementar para atender a necessidade da cultura. Na Tabela 6 estão relacionados a quantidade fornecida de nutrientes pelas diferente doses do biossólido, a necessidade da cultura, valor necessário de complementação com adubação mineral em virtude do desbalanço nutricional do biossólido e os excedentes para a cultura eucalipto que poderão ser disponibilizados para a braquiária.

O nitrogênio disponível (N_{disponível}) foi calculado com os dados em kg de N kg⁻¹ de matéria seca (Tabela 4), aplicados na equação abaixo:

$$N_{\text{disponível}} = (N_{\text{orgânico}} \times 0,3) + (N_{\text{amoniacal}} \times 0,7) + N_{\text{nitrato-nitrico}}$$

Onde:

$N_{\text{disponível}}$ = Quantidade de Nitrogênio fornecido com a aplicação do biossólido (kg de N kg⁻¹ de MS).

$N_{\text{orgânico}}$, N_{amoniaco} e $N_{\text{nitrato-nitrico}}$ - Valores obtidos da Tabela 4.

Desta forma, o nitrogênio disponível foi assim determinado:

$$N_{\text{disponível}} = 0,03540 \times 0,3 + 0,002899 \times 0,7 + 0,00038 = 0,013029 \text{ kg de N kg}^{-1} \text{ de MS}$$

Dessa forma, para as doses de 4,64 e 9,28 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto (em base seca), foram aplicados, respectivamente, 60,46 e 120,92 kg ha⁻¹ de nitrogênio prontamente disponível às plantas. Esses valores atendem as necessidades da cultura (Tabela 6).

Tabela 6. Teores de nutrientes disponibilizados pelo biossólido, no decorrer do ano, necessidade complementada com adubo mineral e excedente gerados pelo biossólido.

Nutriente	Nitrogênio (N)		Fósforo (P ₂ O ₅)		Potássio (K ₂ O)	
Dose (Mg ha ⁻¹)	4,64	9,28	4,64	9,28	4,64	9,28
Quantidade aplicada (kg ha ⁻¹)	60,46	120,92	37,39	74,77	3,06	6,22
Necessidade da cultura (kg ha ⁻¹)	30	30	60	60	60	60
Complementação com adubo mineral	-----	-----	22,61	-----	56,94	53,78

Portanto, de acordo com as considerações da necessidade da cultura do eucalipto, os tratamentos com a aplicação do biossólido foram assim distribuídos: Solo cultivado com eucalipto e braquiária com reaplicação da dose de 4,64 Mg ha⁻¹ de biossólido; Solo cultivado com eucalipto e braquiária com reaplicação da dose de 9,28 Mg ha⁻¹ de biossólido.

3.8 Forma de aplicação do biossólido e da adubação mineral

O biossólido foi aplicado com emprego de carrinho de mão, pás e manualmente com recipientes com capacidade de 5 litros (Figura 8), superficialmente sem incorporação (Figura 9), empregando-se duas vezes a medida para o dobro da dose em uma área de 3,0 m². O adubo químico e o calcário foram distribuídos a lanço, em cobertura.



Figura 8. Distribuição manual do biossólido, Selvíria - MS (2008).



Figura 9. Parcela com aplicação do $9,24 \text{ Mg ha}^{-1}$ (dobro da dose), sem incorporação, Selvíria - MS (2008).

3.9 Análise dos atributos físicos do solo

Para a análise dos atributos físicos, as amostras indeformadas foram retiradas com anéis volumétricos, que foram utilizados para a determinação da densidade do solo, porosidade total e microporosidade (EMBRAPA, 1997). A densidade do solo foi analisada pelo método do anel volumétrico. A porosidade total foi obtida pela diferença entre a massa do solo saturado e a massa do solo seco em estufa a 110°C , durante 24 h. A microporosidade

foi determinada pelo método da mesa de tensão, com uma coluna de água de 0,60 m de altura. Pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade, obteve-se a macroporosidade. Estas amostras foram retiradas em dezembro de 2008, cinco anos após a instalação do experimento, e depois da reaplicação do biossólido, em maio de 2009, em quatro camadas de solo: 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e de 0,20-0,40 m e, em três pontos por parcela (Figura 10).

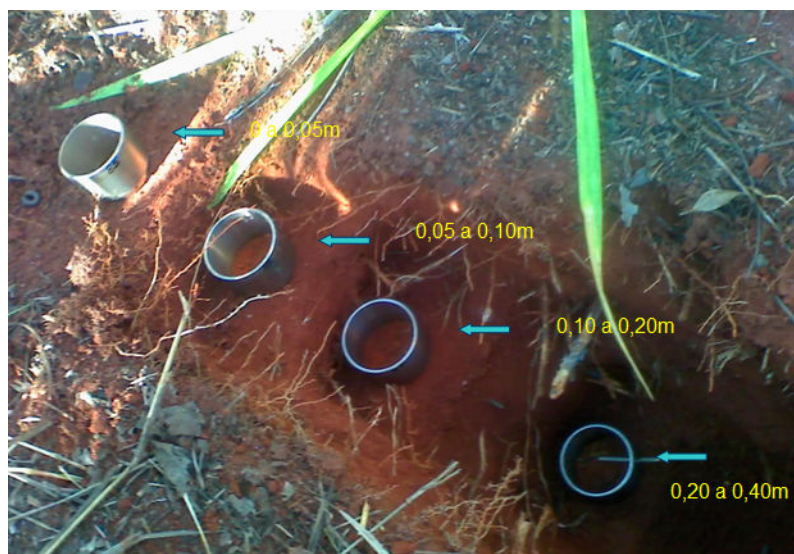


Figura 10. Coleta amostras indeformadas, com anéis volumétricos (nas camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e de 0,20-0,40 m), Selvíria - MS (2008).

3.10 Análises químicas do solo

As amostras foram coletadas nas camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. Para a determinação das análises químicas, foram avaliados os teores de fósforo, potássio, magnésio e cálcio pelo método de extração com resina trocadora de íons. 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 ($CTC + SB + (H + Al)$) e saturação por bases ($V\% = (100 \times SB) / CTC$). As análises foram realizadas de acordo com a metodologia descrita em Raij e Quaggio (1983).

Estas amostras foram retiradas em dezembro de 2008, cinco anos após a instalação do experimento, e depois da reaplicação do biossólido, em maio de 2009, em quatro camadas de solo: 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e de 0,20-0,40 m, uniformizando-se amostras que foram coletas em três pontos de cada parcela, por camada.

3.11 Análises das plantas de eucalipto e braquiária

Foram avaliadas as seguintes características das plantas de eucalipto: altura média e diâmetro na altura do peito (DAP), em dezembro de 2008 e julho de 2009. Foi avaliada a produção de matéria verde e seca da braquiária em dezembro de 2008 e julho de 2009. Foram coletadas plantas contidas em 0,5 m², de três pontos de cada parcela. As massas de matérias verde e seca foram avaliadas por pesagem (estufa a 60–70° C até atingir massa constante). Os dados obtidos foram representados em kg ha⁻¹.

Para avaliação da altura média das plantas de eucalipto foi utilizado um aparelho Forestor Vertex, composto por um hipsômetro e um emissor (transponder) (CAMPOS ; LEITE, 2002).

Os resultados referentes aos atributos físicos do solo e a altura média do eucalipto foram analisados efetuando-se a análise de variância e teste de Tukey para as comparações de média no nível de 5 % de probabilidade. Foi usado o programa computacional SISVAR (FERREIRA, 2000), para a realização da análise estatística.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Efeito do biossólido nos atributos físicos do solo

Com base nos resultados obtidos (Tabelas 7 e 8) observou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos, para os atributos físicos do solo estudados e, em todas as camadas de solo, exceção para a microporosidade que não apresentou diferença significativa na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 7), mas apresentou diferença significativa na camada de 0,10-0,20 m de profundidade e, para a porosidade total que não apresentou diferença significativa entre os tratamentos na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 8).

De forma geral, tanto antes da reaplicação do biossólido (Tabela 7) como após a reaplicação (Tabela 8), verificou-se que o solo estudado está recuperando as suas propriedades físicas e as diferenças entre os tratamentos usados para recuperação do solo, o solo degradado (sem intervenções para a sua recuperação) ficam mais evidenciadas após a reaplicação do biossólido (Tabela 8). Ressaltam-se também as maiores semelhanças entre as propriedades físicas do solo com a maior dose de biossólido e as propriedades físicas do solo sob vegetação natural de Cerrado (Tabela 8). Tendo em vista que o objetivo do trabalho foi estudar a influência da reaplicação do biossólido nas propriedades físicas do solo e desenvolvimento das plantas de eucalipto, as discussões serão enfocadas neste âmbito.

O valor da densidade do solo está sendo influenciado pelos tratamentos tanto na menor como na maior dose de biossólido, na camada de 0-0,05 m (Tabela 8), não diferindo estatisticamente do tratamento com vegetação natural do cerrado. Isso é um indicativo da recuperação deste atributo físico, uma vez que as médias para estes tratamentos se aproximaram da média da vegetação de cerrado. Todos os valores médios da densidade do solo para a referida camada, exceção feita ao tratamento solo exposto, foram inferiores a $1,55 \text{ kg dm}^{-3}$ que foi um valor considerado como densidade crítica, para o bom desenvolvimento do sistema radicular em solos com textura média (REICHERT et al., 2003). Alves et al. (2007) num experimento avaliando a densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação afirmaram que ocorreram melhorias na qualidade do solo com o seu preparo e adição de lodo de esgoto e adubos verdes, e os indicadores utilizados (densidade e infiltração de água do solo) foram adequados para a avaliação dessas melhorias.

Na camada de 0,05-0,10 m, com relação a densidade do solo foi observado comportamento similar ao ocorrido na camada de 0-0,05 m não havendo diferença significativa entre o tratamento Cerrado, e os tratamentos onde foi aplicado o biossólido (Tabela 8). No entanto, os tratamentos onde foi aplicado o biossólido não obtiveram melhor

desempenho que os tratamentos com adubação mineral e testemunha. Já para o tratamento com solo exposto observou-se diferença estatística entre as médias e os demais tratamentos demonstrando melhoria dos atributos físicos do solo para esta camada de solo. De acordo com Kitamura et al. (2008) num experimento visando à recuperação de um solo degradado com adubos verdes e aplicação de lodo a densidade do solo foi o atributo físico mais sensível para detectar alterações na recuperação do solo estudado.

Em relação à camada de 0,10-0,20 m (Tabela 8) observou-se que os demais tratamentos apresentaram melhor desempenho que o tratamento com solo exposto para o atributo densidade do solo com médias estatisticamente inferiores, evidenciando melhorias neste atributo e recuperação do solo degradado. Segundo Campos e Alves (2008), num experimento realizado no mesmo local com diferentes doses de lodo de esgoto e adubação mineral, a densidade do solo e a porosidade total foram os melhores indicadores da recuperação do solo. Salienta-se ainda que os demais tratamentos não diferiram estatisticamente entre si para este atributo na referida camada de solo estudada.

Na camada de 0,20-0,40 m não foi observado diferença estatística entre as médias dos tratamentos para densidade do solo, exceção feita ao tratamento com vegetação de Cerrado (Tabela 8). Isto podendo ser indicativo que o biossólido teve pouca influência na recuperação do solo degradado nesta camada, em virtude da aplicação superficial sem incorporação. Ainda na referida camada, não foi observado diferença entre o tratamento dobro da dose e o tratamento vegetação natural de Cerrado, havendo, portanto, influência do biossólido na recuperação deste atributo até a camada de 0,40 m de profundidade no solo.

Para o atributo macroporosidade na camada de 0-0,05 m foi observado que as médias dos tratamentos com adubação mineral, com diferentes doses de biossólidos e o Cerrado, não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 8), indicando recuperação para este atributo em relação ao solo degradado. Também sendo ainda estatisticamente superior aos tratamentos com solo exposto e testemunha, que não diferiram estatisticamente entre si. Melo et al. (2004) num experimento com a aplicação de diferentes doses de biossólido obtiveram resultados positivos com a macroporosidade, sendo superior na camada de 0-0,10 m, a partir de 47,5 Mg ha⁻¹ e 50,0 Mg ha⁻¹ de biossólido, num Latossolo Vermelho distrófico e Latossolo Vermelho eutrófico, respectivamente.

Tabela 7. Valores médios dos atributos físicos, teste F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS), obtidos nas diferentes camadas de solo em relação aos tratamentos estudados, antes da reaplicação do bio sólido (Tratamentos instalados há 6 anos).

Atributos Físicos	Tratamentos	Camada de solo (m)			
		0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
DENSIDADE DO SOLO (kg dm ⁻³)	Testemunha (sem adubação)	1,55c	1,55a	1,62ab	1,82b
	Adubação mineral	1,55c	1,51a	1,47a	1,73b
	30 Mg ha ⁻¹ de bio sólido	1,39b	1,54a	1,59ab	1,69ab
	60 Mg ha ⁻¹ de bio sólido	1,42bc	1,52a	1,68ab	1,67ab
	Solo exposto	1,77d	1,82b	1,80b	1,84b
	Cerrado	1,13a	1,40a	1,52ab	1,40a
	F - 5 %	39,475*	13,741*	3,640*	4,991*
	CV- %	4,43	4,85	7,70	8,46
	DMS - 5 %	0,153	0,173	0,286	0,329
MACROPOROSIDADE (m ³ m ⁻³)	Testemunha	0,06a	0,06a	0,06a	0,06a
	Adubação mineral	0,08a	0,09ab	0,11ab	0,06a
	30 Mg ha ⁻¹ de bio sólido	0,13ab	0,07a	0,07a	0,07a
	60 Mg ha ⁻¹ de bio sólido	0,13ab	0,11ab	0,06a	0,06a
	Solo exposto	0,06a	0,06a	0,06a	0,05a
	Cerrado	0,22b	0,15b	0,13b	0,16b
	F - 5 %	6,182*	5,745*	7,757*	19,066*
	CV- %	42,24	32,93	26,45	24,66
	DMS - 5 %	0,104	0,068	0,050	0,044
MICROPOROSIDADE (m ³ m ⁻³)	Testemunha	0,32b	0,31b	0,30a	0,29ab
	Adubação mineral	0,32b	0,32b	0,30a	0,29ab
	30 Mg ha ⁻¹ de bio sólido	0,29ab	0,30b	0,28a	0,29b
	60 Mg ha ⁻¹ de bio sólido	0,32b	0,29ab	0,28a	0,28ab
	Solo exposto	0,25a	0,25a	0,24a	0,24ab
	Cerrado	0,26a	0,28ab	0,24a	0,24a
	F - 5 %	9,130*	7,370*	4,181 ^{ns}	4,205*
	CV- %	7,01	6,19	8,89	8,82
	DMS - 5 %	0,047	0,041	0,056	0,055
POROSIDADE TOTAL (m ³ m ⁻³)	Testemunha	0,38ab	0,37ab	0,36ab	0,34ab
	Adubação mineral	0,40abc	0,41b	0,41b	0,35ab
	30 Mg ha ⁻¹ de bio sólido	0,42bc	0,37ab	0,35ab	0,36b
	60 Mg ha ⁻¹ de bio sólido	0,45bc	0,40b	0,35ab	0,34ab
	Solo exposto	0,32a	0,30a	0,28a	0,28a
	Cerrado	0,42c	0,43b	0,37b	0,32b
	F - 5 %	9,094*	7,976*	4,326*	4,852*
	CV- %	9,42	8,45	11,28	9,99
	DMS - 5 %	0,087	0,073	0,092	0,079

* Médias seguidas da mesma letra na coluna não apresentam diferenças estatísticas no nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 8. Valores médios dos atributos físicos, teste F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS), obtidos nas diferentes camadas de solo em relação aos tratamentos estudados, após a reaplicação do bioossólido.

Atributos Físicos	Tratamentos	Camada de solo (m)			
		0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
DENSIDADE DO SOLO (kg dm ⁻³)	Testemunha (sem adubação)	1,54 c	1,57 b	1,56 a	1,86 b
	Adubação mineral	1,48 bc	1,58 b	1,61 ab	1,82 b
	4,64 Mg ha ⁻¹ de bioossólido	1,40 abc	1,54 ab	1,64 ab	1,84 b
	9,28 Mg ha ⁻¹ de bioossólido	1,36 ab	1,48 ab	1,61 ab	1,69 ab
	Solo exposto	1,73 d	1,72 c	1,72 b	1,81 b
	Cerrado	1,27 a	1,45 a	1,53 a	1,40 a
	F - 5 %	25,799*	17,077*	5,879*	6,359*
	CV - %	4,33	2,96	3,51	8,04
	DMS - 5 %	0,145	0,105	0,130	0,321
MACROPOROSIDADE (m ³ m ⁻³)	Testemunha	0,10 ab	0,10 ab	0,12 c	0,06 a
	Adubação mineral	0,13 bc	0,12 bc	0,10 bc	0,06 a
	4,64 Mg ha ⁻¹ de bioossólido	0,18 cd	0,12 bc	0,09 b	0,06 a
	9,28 Mg ha ⁻¹ de bioossólido	0,21 d	0,15 c	0,10 bc	0,09 a
	Solo exposto	0,06 a	0,06 a	0,06 a	0,04 a
	Cerrado	0,18 cd	0,14 c	0,16 d	0,16 b
	F - 5 %	17,627*	14,261*	54,876*	15,206*
	CV - %	18,97	16,22	9,20	28,40
	DMS - 5 %	0,063	0,043	0,022	0,052
MICROPOROSIDADE (m ³ m ⁻³)	Testemunha	0,28 a	0,27 a	0,25 b	0,26 a
	Adubação mineral	0,28 a	0,26 a	0,26 b	0,25 a
	4,64 Mg ha ⁻¹ de bioossólido	0,25 a	0,25 a	0,24 ab	0,25 a
	9,28 Mg ha ⁻¹ de bioossólido	0,24 a	0,25 a	0,26 bc	0,25 a
	Solo exposto	0,31 a	0,29 a	0,29 c	0,28 a
	Cerrado	0,27 a	0,24 a	0,21 a	0,24 a
	F - 5 %	2,637 ^{ns}	2,461 ^{ns}	13,949*	1,081 ^{ns}
	CV - %	10,74	8,76	6,07	12,07
	DMS - 5 %	0,067	0,053	0,035	0,071
POROSIDADE TOTAL (m ³ m ⁻³)	Testemunha	0,39 a	0,37 ab	0,37 a	0,32 a
	Adubação mineral	0,41 ab	0,38 ab	0,36 a	0,32 ab
	4,64 Mg ha ⁻¹ de bioossólido	0,44 bc	0,37 ab	0,33 a	0,30 a
	9,28 Mg ha ⁻¹ de bioossólido	0,45 c	0,40 b	0,35 a	0,34 ab
	Solo exposto	0,37 a	0,35 a	0,35 a	0,33 ab
	Cerrado	0,45 c	0,39 ab	0,37 a	0,40 b
	F - 5 %	13,839*	4,242*	2,865 ^{ns}	3,648*
	CV - %	4,63	4,63	4,90	10,55
	DMS - 5 %	0,044	0,040	0,040	0,081

* Médias seguidas da mesma letra na coluna não apresentam diferenças estatísticas no nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na camada de 0,05-0,10 m o tratamento com o dobro da dose de biossólido teve comportamento similar ao do Cerrado, porém esta dose não conseguiu superar estatisticamente a dose menor e a com adubação mineral (Tabela 8). Não foi observada diferença entre o tratamento testemunha e solo exposto. Já para a camada de 0,10-0,20 m (Tabela 8) para este mesmo atributo observou-se que não ocorreu diferença estatística entre as médias dos tratamentos onde foram aplicadas as diferentes doses de biossólido e a adubação mineral ou mesmo o tratamento testemunha, porém estes diferiram estatisticamente do tratamento com solo exposto e vegetação de Cerrado. Houve melhoria do atributo físico estudado, porém os tratamentos estão agindo de forma semelhante para a referida camada de solo.

Em relação à camada de 0,20-0,40 m, para a macroporosidade (Tabela 8), não foi observado diferença significativa entre as médias dos tratamentos, exceção feita ao tratamento solo do Cerrado que diferiu estatisticamente dos demais tratamentos, isso indicando que os demais tratamentos não estão tendo influência na recuperação deste atributo na referida camada. Convém salientar que para todos os tratamentos estudados os valores de macroporosidade nesta camada estavam abaixo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, considerado crítico para um bom desenvolvimento do sistema radicular (GREENLAND, 1981).

Tratando-se do atributo microporosidade nas camadas de 0-0,05 m, 0,05-0,10 m e de 0,20-0,40 m (Tabela 8) não foram observadas diferenças significativa entre as médias dos tratamentos. Isto é, os tratamentos não estão tendo interferência na recuperação do solo degradado para o referido atributo. Comportamento análogo ao descrito anteriormente foi observado por Melo et al. (2004) que também não evidenciaram recuperação deste atributo, mencionando não haverem diferenças entre as camadas e as doses de biossólido aplicadas. Exceção foi observada na camada 0,10-0,20 m, onde o tratamento com menor dose de biossólido não diferiu do tratamento com vegetação de Cerrado, e este último não diferiu estatisticamente da maior dose de biossólido (Tabela 8). Observou-se aumento da microporosidade no solo degradado e em processo de recuperação comparando-se com a condição de vegetação natural de Cerrado, e que pode ser um indicativo de maior compactação nesta camada.

Baseando-se nas médias obtidas para o atributo porosidade total na camada de 0-0,05 m (Tabela 8) foi observado que o tratamento com vegetação natural de Cerrado não diferiu estatisticamente dos tratamentos onde ocorreu a aplicação das diferentes doses de biossólido, isso sendo um indicativo da recuperação do solo degradado. Mormente, para o referido atributo os tratamentos adubação mineral, solo exposto e testemunha não diferiram

estatisticamente entre si, indicando que estes tratamentos estão com menores efeitos na recuperação do solo degradado. No entanto os dois últimos diferiram do tratamento com vegetação natural do Cerrado e com diferentes doses de biossólido, reforçando os indícios elencados anteriormente. Navas et al. (1998) obtiveram incremento da porosidade total de $0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para $0,49 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, quando foram aplicados 320 Mg ha^{-1} de lodo de esgoto.

Na camada de 0,05-0,10 m, para a porosidade total (Tabela 8), foi observado que houve diferença entre o solo exposto (alto grau de degradação) e o tratamento com a maior dose de biossólido. Estes dois tratamentos não diferiram dos demais. Este comportamento concorda com os resultados obtidos por Jorge et al. (1991) que estudando um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, não observaram efeitos sobre a porosidade total determinada após quatro anos de aplicação de lodo de esgoto em doses de até 80 Mg ha^{-1} em forma parcelada ou em uma única vez. Resultados que corroboram com Melo et al. (2004), pois estes pesquisadores após a aplicação de até $50,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de biossólido, verificaram que a porosidade total e a microporosidade não alteraram em dois latossolos estudados.

Na Tabela 8, camada de 0,10-0,20 m pode-se verificar que não foi observada nenhuma diferença estatística entre os tratamentos para o atributo porosidade total do solo. Já na camada de 0,20-0,40 m embora tenha sido observado que o tratamento com vegetação natural do Cerrado obteve média estatisticamente superior ao tratamento com metade da dose de biossólido e a testemunha, o mesmo não diferiu do tratamento com solo exposto, dobro da dose de biossólido e com o tratamento adubação mineral. Furrer e Stauffer (1983) afirmaram que a adição de lodo de esgoto pode não alterar a porosidade total, independentemente da condição original do solo.

4.2 Efeito do biossólido nos atributos químicos do solo

Baseando-se nos resultados obtidos para o P após a reaplicação do biossólido foi observado que tanto na camada de 0-0,05 como de 0,05-0,10 m os tratamentos que receberam o biossólido não diferiram significativamente entre si (Tabela 9), porém o tratamento com o dobro da dose ($9,28 \text{ Mg ha}^{-1}$ de biossólido), diferiu significativamente dos demais, na camada de 0,05-0,10 m. Na camada de 0-0,05 m os tratamentos com lodo e adubação mineral apresentaram conteúdos de P semelhantes. As doses reaplicadas do biossólido basearam-se na necessidade de manutenção da cultura do eucalipto e, ainda no mesmo local foi realizado um experimento a seis anos onde foram aplicadas doses de lodo (30 e 60 Mg ha^{-1} de lodo), fornecendo cerca de 560 e $1127 \text{ kg de P ha}^{-1}$, valores acima dos recomendados para a cultura

(60 kg de P ha⁻¹). Estes resultados corroboram com Campos (2006) e Colodro (2005) que obtiveram resultados semelhantes estudando a recuperação de um solo degradado na mesma área da pesquisa e observaram que as doses de 30 e 60 Mg ha⁻¹ aumentaram o teor de P no solo.

Para as camadas de 0,10 a 0,20 m foi observado que o tratamento com o dobro da dose do biossólido diferiu significativamente dos tratamentos com solo exposto, testemunha (sem insumos) e com adubação mineral, porém não conseguindo a mesma diferença em relação a menor dosagem e o tratamento com vegetação natural do cerrado. Isso indica melhorias das características químicas do solo degradado. Já na camada de 0,20-0,40 m não foram observadas diferenças significativas entre as médias em qualquer um dos tratamentos (Tabela 10), isso evidenciando que o referido atributo não está sendo influenciado pelos tratamentos propostos neste experimento. Isso corrobora com Galdos et. al (2004) num experimento com aplicação de lodo de esgoto em milho salientaram que não houve efeito das doses de lodo sobre os teores de P no solo.

Com relação aos resultados obtidos para MO foi observado que os tratamentos que receberam biossólido tiveram comportamento similar ao comportamento do tratamento com vegetação natural do cerrado nas camadas de 0-0,05 e de 0,05-0,10 m (Tabela 9), isso evidenciando melhoria das propriedades químicas do solo para este atributo, uma vez que suas médias se aproximam das médias do Cerrado, e ainda divergiram dos demais tratamentos. Estes resultados estão de acordo com Souza et al. (2005) que observaram que a adição de lodo proporcionou incrementos significativos nos conteúdos de MO na camada superficial. Para os tratamentos testemunha (sem insumos), com adubação mineral e solo exposto foi observado que suas médias não diferiram significativamente, isso sendo forte indicativo que estes tratamentos não estão contribuindo para a recuperação do solo nesta camada.

Tabela 9. Valores médios de P, MO, pH, K, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC e V%, para os tratamentos estudados, nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m, após a reaplicação do biossólido.

Camadas (m)	Tratamentos	Composição química do solo										
		P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V%
0-0,05	Testemunha (sem adubação)	8,50 ab	12,00 ab	5,25 ab	1,00 a	5,75 a	9,25 abc	16,50 a	0,50 a	16,00 ab	32,50 ab	45,50 ab
	Adubação mineral	10,50 abc	9,50 ab	6,00 b	1,00 a	10,00 a	13,00 bc	14,50 a	0,50a	24,00 ab	38,50 ab	60,60 b
	4,64 Mg ha ⁻¹ de biossólido	22,75 bc	26,00 c	5,00 ab	1,00 a	15,00 a	20,75 c	24,00 a	0,75 ab	38,00 b	62,00 b	59,25 b
	9,28 Mg ha ⁻¹ de biossólido	27,00 c	22,75 c	4,75 a	1,25 a	10,75 a	14,00 bc	22,75 a	2,50 ab	26,00 ab	38,75 ab	50,00 ab
	Solo exposto	3,00 a	7,00 a	5,25 ab	1,00 a	2,50 a	3,00 a	14,75 a	0,75 ab	6,60 a	21,25 a	30,75 a
	Cerrado	4,75 a	16,75bc	5,75 ab	1,00 a	5,00 a	6,00 ab	23,00 a	3,00 b	12,00 a	35,00ab	34,00 ab
	F - 5 %	7,874*	13,51*	3,00*	0,27 ^{ns}	2,86 ^{ns}	6,0*	2,81 ^{ns}	4,27*	4,17*	4,27*	4,79*
	CV- %	30,63	26,21	10,08	36,06	38,60	25,24	10,72	40,14	27,99	16,56	12,60
	DMS - 5 %	2,27	9,43	1,23	0,75	2,33	1,81	1,07	0,97	2,72	2,34	1,94
0,05-0,10	Testemunha (sem adubação)	3,00 a	7,25 ab	5,50 cd	0,25 ab	3,25 a	5,25 ab	14,25 a	0,00 a	8,75 ab	23,00 ab	38,25 b
	Adubação mineral	3,00 a	6,25 a	5,75 d	0,50 a	3,75 a	6,50 b	14,00 a	0,25 a	10,75 b	24,75 abc	42,50 b
	4,64 Mg ha ⁻¹ de biossólido	18,25 bc	11,50 bc	4,25 ab	0,50 ab	1,75 a	4,75 ab	23,50 ab	4,50 bc	7,00 ab	30,50 bcd	23,25 ab
	9,28 Mg ha ⁻¹ de biossólido	30,25 c	13,50 c	4,50 abc	0,50 ab	2,25 a	5,50 ab	28,00 b	5,75 c	8,25 ab	36,25 d	23,75 ab
	Solo exposto	3,00 a	6,25 a	5,25 bcd	0,25 a	1,75 a	2,50 a	14,00 a	1,00 ab	4,50 a	18,50 a	24,25 ab
	Cerrado	6,00 ab	14,75 c	4,00 a	1,00 b	1,50 a	2,50 a	27,50 b	6,25 c	5,25 a	32,75 cd	15,75 a
	F - 5 %	13,11*	16,72*	8,21*	3,81 ^{ns}	2,82 ^{ns}	4,73*	10,24*	11,00*	5,02*	14,85*	5,42*
	CV- %	30,87	18,81	10,31	23,38	23,38	33,70	21,30	41,36	21,96	12,64	31,34
	DMS - 5 %	1,97	4,28	1,15	0,37	0,79	3,48	9,89	1,52	4,76	8,02	20,13

* Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Dados originais P, K, Ca, Mg, H+Al, Al, SB, CTC e V% foram transformados em $x^{1/2}$ para a camada 0-0,05 m. Dados originais P, K, Ca e Al, foram transformados em $x^{1/2}$ na camada de 0,05-0,10 m.

Onde:

Unidades dos elementos: P em mg dm⁻³ ; K, Ca, Mg, H+Al, SB e CTC em mmol_cdm⁻³ e MO em g dm⁻³ .

Na camada de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m o tratamento com vegetação natural do cerrado diferiu significativamente dos demais tratamentos e, ainda estes últimos não diferiram significativamente entre si (Tabela 10), demonstrando que os tratamentos não estão tendo efeito na recuperação do solo degradado para este atributo.

Baseando-se nos resultados obtidos para o atributo pH na camada 0-0,05 m foi observado que as médias dos tratamentos testemunha (sem insumos), adubação mineral, dose de $4,64 \text{ Mg ha}^{-1}$, solo exposto e vegetação natural do cerrado não diferiram significativamente entre si. Porém o tratamento com o dobro da dose apresentou diferença significativa em relação ao tratamento com adubação mineral. Este último apresentou valor de pH superior em relação à reaplicação do dobro da dose (Tabela 9). Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Nascimento et al. (2004) que num experimento com milho e feijão afirmaram que a aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto promoveram diminuição do pH, e divergem dos obtidos por Rezende (2005) e Campos (2006), que constataram que adição de lodo de esgoto diminuiu o valor do pH numa área cultivada com eucalipto.

Na camada 0,05-0,10 m foi observado que o tratamento solo com vegetação de cerrado divergiu significativamente do tratamento solo exposto, testemunha (sem adição de insumos) e adubação mineral, porém não diferindo significativamente dos tratamentos onde foram reaplicadas as doses de biossólido (Tabela 9). Equivocadamente poderia se evidenciar recuperação do solo degradado, no entanto deve-se ressaltar que as médias de pH para os estes últimos tratamentos foram muito baixas. Comportamento muito semelhante foi observado para as camadas de 0,10-0,20 m e de 0,20-0,40 m, onde o tratamento com vegetação natural de cerrado diferiu significativamente do tratamento solo exposto e testemunha (sem insumos), porém não diferiu significativamente dos tratamentos onde foram reaplicadas as diferentes doses de biossólido.

Tabela 10. Valores médios de teor de potássio P, MO, pH, K, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC e V%, para os tratamentos estudados, nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m.

Camadas (m)	Tratamentos	Composição química do solo										
		P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V%
0,10-0,20	Testemunha (sem adubação)	3,00 a	6,50 a	6,00 b	0,25 a	4,00 ab	4,75 ab	13,00 a	1,00 a	9,00 ab	22,00 ab	40,75 b
	Adubação mineral	3,00 a	5,00 a	6,00 b	0,00 a	5,00 b	6,75 b	12,50 a	1,00 a	11,75b	24,25 ab	40,75 b
	4,64 Mg ha ⁻¹ de biossólido	5,75 ab	5,75 a	5,00 ab	0,25 ab	2,50 ab	3,25 ab	17,00 a	1,25 ab	6,00 ab	23,00 ab	27,00 ab
	9,28 Mg ha ⁻¹ de biossólido	13,00 b	7,00 a	4,75 ab	0,00 a	2,75 ab	5,00 ab	18,50 ab	1,00 a	7,75 ab	26,25 ab	31,00 ab
	Solo exposto	3,00 a	5,25 a	5,25 ab	0,00 a	2,00 ab	1,75 a	14,50 a	1,75 bc	3,75 ab	18,25 a	21,25 ab
	Cerrado	4,00 ab	10,50 b	4,00 a	0,50 b	1,00 a	1,25 a	24,75 b	2,00 c	2,75 a	27,50 b	10,00 a
	F - 5 %	3,70*	10,02*	6,87*	3,62*	3,61*	4,59*	11,28*	9,86*	4,08*	3,48*	5,32*
	CV- %	32,35	19,17	11,36	20,68	27,49	28,02	16,28	20,92	24,60	14,99	38,12
	DMS - 5 %	1,59	2,94	1,35	0,25	1,01	1,18	6,25	0,64	1,42	8,11	25,55
	Testemunha (sem adubação)	3,00 a	3,50 a	5,50 b	0,00 a	2,50 ab	3,25 bc	13,75 a	1,25 a	5,75 ab	19,50 ab	29,75 bc
0,20-0,40	Adubação mineral	3,00 a	3,50 a	5,50 b	0,00 a	3,25 b	4,25 c	13,00 a	1,00 a	7,50 b	20,50 b	36,25 c
	4,64 Mg ha ⁻¹ de biossólido	3,00 a	4,50 a	5,00 ab	0,00 a	1,25 ab	1,50 ab	16,25 a	2,00 a	2,75 ab	19,00 ab	15,25 ab
	9,28 Mg ha ⁻¹ de biossólido	3,00 a	5,00 a	5,00 ab	0,00 a	2,00 ab	3,75 c	16,00 a	2,75 a	5,75 ab	21,75 b	27,75 bc
	Solo exposto	3,00 a	5,25 a	5,00 ab	0,00 a	1,00 a	1,00 a	14,75 a	1,25 a	2,00 a	16,75 a	13,50 ab
	Cerrado	3,00 a	8,50 b	4,00 a	0,00 a	1,00 a	1,00 a	23,75 b	3,00 a	2,25 a	26,00 c	9,00 a
	F - 5 %	0,00 ^{ns}	15,01*	3,18*	0,00 ^{ns}	5,04*	12,43*	20,95*	2,91 ^{ns}	5,88*	17,32*	7,32*
	CV- %	0,00	18,90	12,29	0,00	21,66	18,08	10,44	42,96	43,65	7,31	36,42
	DMS - 5 %	0,00	2,19	1,41	0,00	0,64	0,62	3,89	2,28	4,34	3,46	18,34

*Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Dados originais P, K, Ca, Mg e SB, foram transformados em $x^{1/2}$ na camada de 0,10-0,20 m. Dados originais Ca e Mg foram transformados em $x^{1/2}$ na camada de 0,20-0,40 m.

Onde:

Unidades dos elementos: P em mg dm⁻³ ; K, Ca, Mg, H+Al, SB e CTC em mmol_cdm⁻³ e MO em g dm⁻³ .

Em relação ao atributo K nas camadas de 0-0,05 m e de 0,20-0,40 m não foi observada diferença significativa entre os tratamentos empregados neste experimento (Tabela 10), com isso não se pode afirmar qualquer melhoria para o solo degradado, o que contraria o observado por Campos (2006) num experimento com aplicação de lodo de esgoto na mesma área onde foi constatado que os tratamentos estavam sendo eficientes na recuperação desse elemento no solo degradado, pois a aplicação de adubação mineral e lodo de esgoto aumentaram o teor de K no solo. Já na camada de 0,05-0,10 m verificou-se que o tratamento com vegetação natural do cerrado diferiu significativamente do tratamento com solo exposto, porém não conseguindo a mesma diferença entre os demais tratamentos, evidenciando recuperação do solo degradado (Tabela 9). No caso da camada 0,10-0,20 m foi observado que o tratamento com vegetação natural do cerrado diferenciou-se significativamente do tratamento com solo exposto, testemunha (sem aplicação de insumos), com adubação mineral e testemunha (sem insumo), porém não conseguindo a mesma diferenciação em relação a menor dose de lodo, evidenciando neste último caso recuperação do solo degradado (Tabela 10).

Com relação ao Ca nas camadas de 0-0,05 e de 0,05-0,10 m não foi observada diferença significativa entre os tratamentos empregados neste experimento (Tabela 10), com isso não se pode afirmar qualquer melhoria para o solo degradado, concordando com Chiba (2005) que não observou aumento nos teor de Ca em áreas adubadas com 14 e 16 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto cultivado com cana-de-açúcar. No caso da camada de 0,10-0,20 m o tratamento com adubação mineral diferiu significativamente dos demais tratamentos, exceção feita ao tratamento com vegetação natural do cerrado. Já para a camada de 0,20-0,40 m foi observado que o tratamento com adubação mineral diferiu significativamente do tratamento solo exposto, porém não obteve a mesma diferença em relação ao tratamento com vegetação natural de cerrado, ou mesmo nos quais ocorreu a reaplicação do biossólido.

Para o atributo Mg na camada de 0-0,05 m foi observado que com aplicação da dose de 4,64 Mg de biossólido ha⁻¹ ocorreu diferença significativa entre as médias do tratamento solo exposto e vegetação natural do cerrado (Tabela 9), porém o tratamento com a referida dose não foi significativo comparado com o tratamento onde foi aplicada o dobro da dose, testemunha (sem insumos) e com aplicação de adubação mineral. Comportamento que corrobora com Campos (2006) que num experimento na mesma área observou elevação do teor de Mg na referida camada.

Na camada de 0,05-0,10 m foi observado que o tratamento onde foi aplicada a adubação mineral obteve teor de Mg médio diferente significativamente do tratamento com solo exposto e vegetação natural do cerrado, porém não diferiu significativamente dos demais tratamentos (Tabela 9). Já na camada de 0,10-0,20 m foi observada diferença significativa entre o tratamento com adubação mineral em relação ao tratamento solo exposto e vegetação natural do cerrado, porém a mesma diferença não foi verificada em relação aos tratamentos testemunha (sem insumos) e nos quais foi empregado o biossólido (Tabela 10). Resultados que concordam os verificados por Chiba (2005), que não observou aumento nos teores de Mg em áreas adubadas com 14 e 16 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto cultivado com cana-de-açúcar.

Para a camada de 0,20-0,40 m foi observado que o tratamento com adubação mineral e com aplicação da maior dose conseguiu superar significativamente o tratamento com solo exposto e vegetação natural de cerrado, porém não conseguiu o mesmo desempenho em relação a reaplicação da menor dose e a testemunha, onde não ocorreu a aplicação de insumos (Tabela 10).

Com relação ao atributo H+Al na camada de 0-0,05 m não foi observado diferença significativa das médias entre tratamentos realizados. No entanto, na camada de 0,05-0,10 m ocorreu diferença significativa entre o tratamento com vegetação natural de cerrado, verificando-se maiores valores em relação ao tratamento com solo exposto, testemunha (sem insumos) e adubação mineral. Porém, essa diferença não ocorria quando se comparava com os tratamentos onde foi reaplicado o biossólido (Tabela 9). Isso diverge do que foi observado por Guedes et al. (2006) que num experimento verificando o efeito da aplicação de lodo de esgoto em eucalipto, salientou que o solo que recebeu biossólido apresentou menores valores de H + Al.

Nas camadas de 0,10-0,20 m e de 0,20-0,40 m foi observado que o tratamento com solo natural de cerrado diferiu significativamente dos demais tratamentos (Tabelas 9 e 10), com uma particularidade para a camada de 0,10-0,20 m, onde o tratamento com o dobro da dose de biossólido reaplicado não diferiu significativamente do tratamento com solo natural do cerrado (Tabela 10).

Com relação ao atributo Al na camada de 0-0,05 m foi constatado que o tratamento com vegetação natural de cerrado diferiu significativamente do tratamento testemunha (sem aplicação de insumos) e adubação mineral, apresentando maiores valores e, ainda não apresentou diferença significativa do tratamento solo exposto e onde foi replicado biossólido (Tabela 9). Resultados que diferem dos observados por Guedes et al.

(2006) que num experimento verificando o efeito da aplicação de lodo de esgoto em eucalipto, salientou que o solo que recebeu biossólido apresentou menores valores de Al^{3+} . Já na camada de 0,05-0,10 m não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos vegetação natural do cerrado e com aplicação do biossólido, porém os mesmos diferiram significativamente do tratamento com adubação mineral, testemunha (sem insumos) e solo exposto. Já para camada de 0,10-0,20 m foram observadas médias significativamente inferiores nos tratamentos: testemunha (sem insumos), adubação mineral nos quais foi empregado o biossólido em relação ao tratamento solo exposto e vegetação natural do cerrado, sendo indicativo que estes tratamentos estão influenciando na recuperação do solo degradado.

Na camada de 0,20-0,40 m foi constatado que o tratamento com vegetação natural de cerrado diferiu significativamente apresentando valores superiores aos demais tratamentos para recuperação do solo degradado (Tabela 10). Isso corrobora com Testa et al. (1992) que salientou que os solos ácidos brasileiros podem apresentar Al em teores que excedem a capacidade de tolerância da maioria das culturas e baixos níveis trocáveis de cátions básicos, características estas que podem ser corrigidos nos horizontes superficiais pela calagem.

Com relação ao atributo SB na camada de 0-0,05 m foi observado diferença significativa entre o tratamento que recebeu a menor dose de biossólido dos tratamentos com vegetação natural do cerrado e solo exposto, porém não diferiu significativamente do tratamento testemunha (sem aplicação de insumos), com adubação mineral e com reaplicação do dobro da dose de biossólido (Tabela 9).

Nas camadas de 0,05-0,10 e 0,20-0,40 m foi constatado que o tratamento com adubação mineral está elevando os teores deste atributo em relação ao tratamento solo com vegetação natural do cerrado e solo exposto (Tabelas 9 e 10), porém não foi constatada diferença significativa entre o tratamento adubação mineral e a testemunha ou onde ocorreu reaplicação de biossólido. Segundo Guedes (2006) num experimento com lodo e eucalipto afirmou que o solo que recebeu biossólido apresentou maiores valores de pH, Ca^{2+} , SB e V %.

Com relação à camada de 0,10-0,20 m foi observado que o tratamento vegetação natural do cerrado apresentou média significativamente inferior aos demais tratamentos para recuperação do solo degradado, isso evidenciando que embora os valores da SB estejam aumentando, estão fora dos padrões para este bioma em condições naturais não se podendo assim inferir melhoria em relação às condições naturais.

Para o atributo CTC na camada de 0-0,05 m foi constatado que a replicação da menor dose diferiu significativamente e apresentando maiores valores do tratamento solo exposto (Tabela 9), sendo indicativo das melhorias do solo degradado isso corrobora com Campos (2006) que num experimento na mesma área verificou resultados semelhantes para a SB, CTC e V %. Porém, o tratamento com a reaplicação da menor dose não diferiu significativamente do tratamento com o dobro da dose, testemunha (sem insumos adubação mineral e solo com vegetação natural do cerrado).

Na camada de 0,05-0,10 m foi observado que os tratamentos onde foi realizada a reaplicação do biofósforo e, vegetação natural de cerrado a SB, CTC e V% diferiu estatisticamente do tratamento solo exposto, porém não conseguiram diferenciação significativa do tratamento testemunha (sem insumos) e onde foi aplicada a adubação mineral (Tabela 9). Já para a camada de 0,10-0,20 m foi observado que o tratamento solo com vegetação do cerrado diferiu estatisticamente do tratamento solo exposto, com relação aos atributos químicos citados anteriormente, porém não conseguiu essa diferenciação dos demais tratamentos, sendo indicativo da melhoria do solo degradado (Tabela 10), pois estes estão semelhantes à condição natural do solo de cerrado.

Com relação à camada de 0,20-0,40 m foi constatado, para a SB, CTC e V% que o tratamento com vegetação natural de cerrado diferiu significativamente dos demais tratamentos, e estes não diferiram significativamente entre si (Tabela 10), portanto comportando-se analogamente ao do solo exposto, demonstrando que os tratamentos para recuperação do solo degradado não estão tendo interferência na referida camada.

4.3 Efeito do biofósforo na altura média do eucalipto

Com os resultados obtidos para a altura média das plantas de eucalipto (Tabela 11) constatou-se que antes da aplicação do biofósforo havia diferença significativa entre o tratamento que recebeu a maior dose de biofósforo quando comparado aos tratamentos com adubação mineral e testemunha, porém não diferindo entre os tratamentos que receberam biofósforo. Já posteriormente, com a reaplicação do biofósforo, foi observado melhor desempenho do tratamento que recebeu o dobro da dose, que acabou superando os demais tratamentos. Segundo Lopes (2005) num experimento estudando o uso de biofósforo em espécies florestais constataram que além das vantagens do uso do resíduo, garante maior condicionamento físico ao solo e aumenta em até 30 % a produtividade de madeira, sendo a sua utilização, melhor aceita que adubos minerais na cultura do eucalipto. Isso corrobora com Colodro (2005) e Campos e Alves (2008) que realizaram

um experimento com aplicação de lodo de esgoto no mesmo local e afirmaram que o lodo de esgoto promoveu maior desenvolvimento das plantas de eucalipto.

4.4 Efeito do biossólido no diâmetro na altura do peito (DAP) do eucalipto

Com base nos resultados obtidos para o diâmetro na altura do peito (DAP), foi observado que antes da reaplicação do biossólido o tratamento no qual fora aplicado o dobro da dose de biossólido, posteriormente (residual aplicação lodo 2003) obteve média significativamente superior às médias dos tratamentos com a menor dose de biossólido e a testemunha (onde não foi aplicado insumo). Porém, não conseguiu esta diferença em relação ao tratamento com adubação mineral. Cinco meses após a reaplicação do biossólido, foi observado comportamento similar, ou seja, os tratamentos se enquadravam nas mesmas categorias com as mesmas diferenças (Tabela 12). Demonstrado que para este atributo neste intervalo temporal não foi observada diferença em relação ao efeito residual (aplicado em 2003). Isso contraria o observado por Lira (2008) que salientaram que a aplicação do lodo de esgoto (resíduo) incrementa o desenvolvimento de árvores de *Eucalyptus grandis* e propicia aumentos no acúmulo de biomassa epígea, assim como nos estoques de C e N nessa biomassa aérea das árvores, sendo que os troncos respondem pela maior parte do aumento do estoque na vegetação.

Tabela 11. Valores médios de altura do *Corymbia citriodora*, teste F, coeficiente de variação e (CV) e diferença mínima significativa (DMS) antes e após a reaplicação do biossólido.

Tratamentos	Altura média de plantas (m)	
	Antes da reaplicação do biossólido	Após a reaplicação do biossólido
Testemunha	5,75 a	7,51 a
Adubação mineral	5,91 a	7,77 a
4,64 Mg ha ⁻¹ de biossólido	6,34 ab	8,07 a
9,28 Mg ha ⁻¹ de biossólido	8,03 b	11,21 b
F – 5 %	6,07*	7,39*
CV - %	13,04	2,80
DMS – 5 %	1,87	1,47

* Médias seguidas da mesma letra na coluna não apresentam diferenças estatísticas no nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

Tabela 12. Valores do diâmetro altura do peito (DAP) de *Corymbia citriodora*, teste F, coeficiente de variação e (CV) e diferença mínima significativa (DMS) antes e após a reaplicação do biossólido.

Tratamentos	DAP (cm)	
	Antes da reaplicação do biossólido	Após a reaplicação do biossólido
Testemunha	5,23 a	5,46 a
Adubação mineral	5,96 ab	6,34 ab
4,64 Mg ha ⁻¹ de biossólido	5,03 a	5,70 a
9,28 Mg ha ⁻¹ de biossólido	7,78 b	8,46 b
F – 5 %	5,62 *	6,03*
CV - %	17,62	17,03
DMS – 5 %	2,33	2,44

* Médias seguidas da mesma letra na coluna não apresentam diferenças estatísticas no nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

4.5 Efeito do biossólido na matéria fresca e seca da braquiária

Com relação à matéria fresca e seca foi observado que antes da reaplicação dos tratamentos para recuperação do solo, os tratamentos onde foi reaplicado o biossólido diferiam significativamente do tratamento testemunha (sem aplicação de insumos), porém não conseguindo manter esta diferença em relação ao tratamento onde foi empregada a adubação mineral (Tabela 13). Corroborando em parte com Nascimento et al. (2004) que afirmaram que o lodo de esgoto aumentou a produção de matéria seca do milho e do feijoeiro, embora abaixo da obtida pela fertilização mineral completa.

Com relação à matéria fresca e seca após a reaplicação do biossólido não foi observado diferença significativa entre os tratamentos para recuperação do solo degradado (Tabela 13), isso corrobora com Araújo et al. (2009) que num experimento com lodo de esgoto estudando a fertilidade do solo, na nutrição de *Brachiaria decumbens* e na atividade da desidrogenase, afirmaram que somente a maior dose de lodo avaliada (80 mg de N dm⁻³ de solo), equivalente a quatro vezes a exigência de N, proporcionou aumento na produção de biomassa seca e teores foliares de N de *Brachiaria decumbens*. Como no presente experimento foram testadas pequenas doses do biossólido isso concorda com o observado neste experimento.

Tabela 13. Valores médios de massa verde e seca de braquiária (kg ha^{-1}) na 1ª coleta (dezembro de 2008) e 2ª coleta (maio 2009), para os tratamentos estudados.

Tratamentos	1ª coleta		2ª coleta	
	Massa Verde	Massa seca	Massa Verde	Massa seca
Testemunha	9.512 a	5.757 a	14.900 a	7.080 a
Adubação mineral	13.320 ab	8.690 ab	28700 a	11.300 a
4,64 Mg ha^{-1} de biossólido	21.007 b	12.072 b	20.000 a	8.000 a
9,28 Mg ha^{-1} de biossólido	20.407 b	11.317 b	32.700 a	15.400 a
F	7,07*	7,74*	2,14 ^{ns}	1,53 ^{ns}
CV (%)	26,17	21,75	46,01	59,42
DMS – 5 %	9282,95	4543,01	24460	13.644,00

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

5. CONCLUSÕES

Baseando-se nos resultados obtidos no presente trabalho pode-se concluir que:

- A reaplicação de biossólido influencia positivamente a densidade do solo, macroporosidade e a porosidade total na camada superficial do solo (0-0,10 m);
- O atributo microporosidade não se apresenta como bom indicador das melhorias do solo degradado;
- A reaplicação do biossólido influencia positivamente os atributos químicos do solo, isto sendo evidenciado principalmente em relação aos teores de P, MO e CTC, na camada superficial do solo (0-0,10 m);
- A reaplicação da maior dose de biossólido ($9,28 \text{ Mg ha}^{-1}$) proporciona aumento do crescimento do eucalipto, embora isso não possa ser estendido ao diâmetro na altura do peito (DAP).
- A reaplicação do biossólido não inflenciou a matéria fresca e seca da braquiária.

REFERÊNCIAS

- ALEIXO V.; MALAVASI, U. C. O uso de biossólido como fertilizante em *Eucalyptus*. **Varia Scientia**, Cascavel, v. 04, n.08, p.149-154, 2004.
- ALVES, M.C.; SUZUKI, L. G.A.S.; SUZUKI L.E.A.S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.617-625, 2007.
- ANDRADE, C.A.; MATTIAZZO, M.E. Nitratos e metais pesados no solo e nas árvores após aplicação de biossólido (lodo de esgoto) em plantações florestais de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.58, p.59-72, 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. (Coord.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, SANEPAR. v.6, p.319-395, 2001.
- ARAUJO F.F., GIL F. C.; TIRITAN C.S. Lodo de esgoto na fertilidade do solo, na nutrição de *brachiaria decumbens* e na atividade da desidrogenase. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.39, n. 1, p. 1-6, 2009.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.9-26.
- BELLOTE, A. F. J. **Cultivo do eucalipto nutrição, adubação e calagem**. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto/05_06_recomendacao_adubacao.htm>. Acesso em: 5 ago.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000.. 312 p.

BOEIRA, R.C.; SOUZA, M.D. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio, pH e densidade de um latossolo após três aplicações de lodos de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.31, p.581-590, 2007.

BONI, N.R.; ESPINDOLA, C.R.; GUIMARÃES, E.C. Uso de leguminosas na recuperação de um solo decapitado. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO, 1, SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2, 1994, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1994. p.563-568.

BRASIL. Ministério da Saúde. Divisão Nacional de Vigilância Sanitária de Alimentos. Portaria nº 36 – SVS/MS, de 19 de janeiro de 1990. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA DE ALIMENTAÇÃO. **Compêndio de legislação de alimentos**. São Paulo: ABIA, 1990. p.711-777.

CAMPOS, F.S.; ALVES, M.C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.32, n.4, p.1389-1397, 2008.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal perguntas e respostas**. Viçosa: UFV, 2002. 407p.

CARVALHO, M.M.; MARTINS, C.E.; VERNEQUE, R. S.; SIQUEIRA, C. Resposta de uma espécie de Braquiária à fertilização com nitrogênio e potássio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p.195-200, 1991.

CHANG, A.C.; GRANATO, T.C. ; PAGE, A.L. A methodology for establishing phytotoxicity criteria for chromium, copper, nickel, and zinc in agricultural land application of municipal sewage sludges. **Journal Environmental Quality**, Madison, v.21, p.521-536, 1992.

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 rendimento da cultura**. 2005. 142 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

COLODRO, G. **Recuperação de solo de área de empréstimo com lodo de esgoto**. 2005. 82f Tese (Doutorado em Agronomia) – 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.1-5, 2006.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Aplicação de biossólidos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação: manual técnico**. São Paulo: CETESB, 1999. 33p.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº375/2006, de 29 de agosto de 2006**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano/>. Acesso em: 29 set. 2006.

COLLIER, L. S.; SOBRINHO, N. M. B. DO A.; MAZUR, N.; VELLOSO, A.C. X. Efeito do composto de resíduo sólido urbano no teor de metais pesados em solo e goiabeira. **Bragantia**, Campinas, v.63, n.3, p.567-574, 2004.

RODRIGO S. CORRÊA R.S.; FONSECA Y. M.F.; CORRÊA A.S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**. v.11, n.4, p.420–426, 2007.

DAVID, A.C. **Secagem térmica de lodos de esgoto. Determinação da umidade de equilíbrio**. 2002. 151f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

DYNIA, J. F., SOUZA M.D.; E BOEIRA R.B. Lixiviação de nitrato em Latossolo cultivado com milho após aplicações sucessivas de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.5, p.855-862, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306 p.

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

FAVERO, C.; SILVA, A.G. ; CASTRO, D.M.; DIAS, L.E. Produção de biomassa de raízes e de parte aérea de plantas espontâneas e de leguminosas submetidas a substrato compactado. In: SIMPÓSIO NACIONAL RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS “SILVICULTURA AMBIENTAL, 4, 2000, Blumenau. **Anais...** Blumenau: S.n., 2000. p.110-111.

FREIER, M.; MALAVASI, U.C.; MALAVASI, M.M. Efeitos da aplicação de biossólido no crescimento inicial de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.5, n.2, p.102-107, 2006

FERNANDES, F. Estabilização e higienização de biossólidos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.45-67.

FERREIRA, D. F. **Análise estatística por meio do SISVAR** (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FURRER, O.J.; STAUFFER, W. **Influence of sewage sludge application physical properties of soils and its contribution to the humus balance**. In: THE INFLUENCE of sewage sludge application on physical and biological properties of soils. Dordrecht: D. Reidel, 1983. p.65-74.

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

GILSMAN, A.J.; THOMAS, R.J. Evaluation of some physical properties of na oxisol after conversion of native savanna into legume-based ou pure grass pastures. **Tropical Grasslands**, Brisbane, v.30, p.237-248, 1996.

GREENLAND, D.J. Soil management and soil degradation. **Journal of Soil Science**, London, v.31, p.301-322, 1981.

GUEDES, M.C.; POGGIANI F. Variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com bio sólido. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.63, p.188-201, 2003.

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**, Campinas, v.30, p.267-280, 2006

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**, Campinas, n.15, p.237-240, 1991.

KITAMURA, E.C.; ALVES, M.C.; SUZUKI, L.G.A.S.; GONZALEZ, A.P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v32, p.405-416, 2008.

KRONKA, F.J.N. et al. Mapeamento e quantificação do reflorestamento no estado de São Paulo. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8, São Paulo, Benefícios, produtos e serviços da Floresta: oportunidades e desafios do século XXI. **Anais...** São Paulo, 2003. CDROOM.

LIMA, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1993. 301p.

LIRA, A. C. S.; GUEDES, M. C.; SCHALCH, V. Reciclagem de lodo de esgoto em plantação de eucalipto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.13, n. 2, p. 207-216, 2008.

LOPES, F.A.; SILVA, D.P.; GUERREIRO, J.C. O uso de biossólido em espécies florestais. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Piracicaba, v.3, n.6, 2005. Disponível em: <<http://www.revista.inf.br/florestal06/pages/resenhas/nota01.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2009.

LOPES, J. C.; RIBEIRO, L. G.; ARAÚJO, M. G.; BERALDO, M. R. B. S. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v.23, n.1, p.143-147, 2005.

MARCIANO, C.R. **Incorporação de resíduos urbanos e as propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho-Amarelo**. 1999. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

MARQUES, M.O.; MELO, W.J.; MARQUES, T.A. Metais pesados e o uso de biossólidos na agricultura. In: TSUTIYA, M.T. et al. (Ed.). **Bioossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. cap.12, p.365-403.

MARQUES, M.O. **Incorporação de lodo de esgoto em solo cultivado com cana-de-açúcar**. 1997. 111 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1997.

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

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; MELO, V.P. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALÉM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (Ed.). **Bioossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP. 2001. cap.11, p.289-363.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; MELO, V. P.; CINTRA, A. A. D. Uso de resíduos em hortaliças e impacto ambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 41, 2000, São Pedro. **Resumo...** São Pedro: SOB, 2000. p.32.

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

NAVAS, A.; BERMÚDEZ, F.; MACHÍN, J. Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of Gypsisols. **Geoderma**, Amsterdam, v.87, p.123-135, 1998.

NOGUEIRA, S. F. **Balanco de nutrientes e avaliação de parâmetros biogeoquímicos em áreas alagadas construídas para o tratamento de esgoto**. Piracicaba: Sandra Furlam Nogueira, 2003.

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

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; MORAES, S.O. Lixiviação de nitrato em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, p.171-180, 2001.

PAULINO, R.C.; CASTRO, E.A.; THOMAZ-SOCCOL, V. Tratamento anaeróbio de esgoto e sua eficiência na redução da viabilidade de ovos de helmintos. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, Rio de Janeiro, v.34, n.5, p. 421-428, 2001.

PEGORINI, E. S.; ANDREOLI, C. V. Introdução. In: ANDREOLI, C. V. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. cap.1, p.1-6.

POGGIANI, F.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade do lodo de esgoto urbano em plantações de eucaliptos. **Silvicultura**, Rio de Janeiro, v.80, p.48-51, 1999.

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

RAIJ, B. van.; QUAGGIO J.A. **Métodos de análises de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81).

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

REZENDE, C.I.O. **Influência da aplicação do lodo de esgoto (biossólido) sobre a concentração e o estoque de nutrientes na biomassa do sub-bosque, na serrapilheira e no solo de um talhão de *E.grandis***. 2005. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

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.

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

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, DF, v.38, n.10, p.1187-1195, 2003.

SOUZA, Z.M.; BEUTLER, A.N.; MELO, V.P.; MELO, W.J. Estabilidade de agregados e resistência à penetração em Latossolos adubados por cinco anos com biossólido. **Revista**

Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.29, p.1121-1126, 2005.

TESTA, U.M.; TEIXEIRA, L.A.J.; MIELNICZUCK, J. Características químicas de um Podzólico Vermelho-Escuro afetadas por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.107-114, 1992.

THOMAZ-SOCCOL V., PAULINO R.C., CASTRO E. A. Metodologia para análise parasitológica em lodo de esgoto. In: ANDREOLI; Bonnet. **Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto**. 2.ed. Curitiba: SANEPAR, 2000. p.28-41.

TRANNIN I. C. B., SIQUEIRA J. O.; MOREIRA F.M. S. Atributos químicos e físicos de um solo tratado com biossólido industrial e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.3, p.223–230, 2008.

TSUTIYA, M.T. Alternativas de disposição final de biossólidos. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J. ; MARQUES, M.O. (Ed.). **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. 468p.

VAZ, L M. S.; GONÇALVES, J. L. de M. Crescimento inicial e fertilidadedo solo em um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado combiossólido. **Revista Sitientibus**, Feira de3Santana, n.26, p.151-174, 2002.

VIEIRA, R.F. **Atividade microbiana e mineralização de nitrogênio em solo suplementado com lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa/CNPMA, 2000. p.1-2 .

VITTI, A. M. S.; BRITO, J. O. .Avaliação do rendimento e do teor de citronelal do óleo essencial de procedências e raças locais de *Eucalyptus citriodora*. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.56, p. 145-154, 1999.

